



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULUABAT GÖLÜ SU KALİTESİNİN İZLENMESİ

Aslıhan KATİP

DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULUABAT GÖLÜ SU KALİTESİNİN İZLENMESİ

Aslıhan KATİP
Doç. Dr. Feza KARAER
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULUABAT GÖLÜ SU KALİTESİNİN İZLENMESİ

Aslıhan KATİP

DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 14/04/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Feza KARAER Danışman Prof. Dr. Hüseyin S. BAŞKAYA Asıl Üye Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR Asıl Üye

Prof. Dr. Kemal Sulhi GÜNDOĞDU
Asıl Üye

Doç. Dr. Erdem Ahmet ALBEK
Asıl Üye

ÖZET

Bu çalışmada, ağır metallerin ve bazı iz elementlerin (As, B, Fe, Mn, Cu, Cr, Pb, Ni, Zn, Cd) Uluabat Gölü'nde, su kolonu, yüzey sedimenti, *Esox lucius* (Turna) ve *Cyprinus carpio* (Sazan) dokularındaki konsantrasyon seviyeleri 2008 Mayıs ile 2009 Mayıs tarihleri arasında aylık olarak incelenmiştir. Suda çözülmüş ve askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan formları, yüzey sedimentinde ise ağır metallerin ve bazı iz elementlerin toplam konsantrasyonları, mobil, kolay serbest hale geçebilen, Mn-oksitlere bağlı, organik maddeye bağlı ve kalıntı fraksiyonları incelenerek, sedimentten suya geçişleri ve balık dokularındaki birikimleri irdelenmiştir. Gölün farklı noktalarından, gölü besleyen ve boşalmasını yapan akarsulardan ve noktasal kirlilik kaynaklarından alınan örneklerde ağır metaller, bazı iz elementler ve diğer su ve sediment kalitesi parametreleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Coğrafik Bilgi Sistemi ile haritalandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Uluabat Gölü'nün su kalitesinin içme ve kullanma suyu açısından uygun olmadığı, sulama amaçlı olarak ihtiyatla kullanılabilceği, WHO ve EPA sınır değerlerine göre bazı metaller açısından toksik seviyede olduğu belirlenmiştir. İncelenen su ve sediment kalitesi parametrelerinin birbirleri ile ilişkili olduğu, hipertrofik seviyede olduğu belirlenen gölün iletkenlik, pH, sıcaklık ve %organik madde'nin, sedimentteki ağır metal ve iz element konsantrasyonlarını pozitif yönde etkilediği bulunmuştur. Noktasal kirlilik kaynaklarının ve meteorolojik parametrelerin etkilediği sıcaklık, AKM, NH₄-N, TP, Cu, Ni, Fe ve Mn parametrelerinin su kolonu boyunca olan, çözülmüş halde, askıda katı maddeye tutunmuş halde ve sedimentte bulunan birçok ağır metal, iz element ve diğer su ve sediment kalitesi parametrelerinin istasyonlara göre olan değişimlerinin önemli olduğu belirlenmiştir. Ağır metal ve iz elementlerin büyüklük sıralamaları çözülmüş halde bulunan metaller için B>Fe>Zn>Cr>Pb>Ni>As>Cu>Mn>Cd, askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metaller için Fe>Mn>B>Zn>Ni>Cr>Pb>Cu>Cd>As ve sedimenttekiler için Fe>Mn>Ni>B>Zn>Cr>Pb>Cu>As>Cd olarak belirlenmiştir. Sedimentteki fraksiyonlara göre yapılan değerlendirmelerde Cr ve Ni elementlerinin yüksek etki seviye sınırını aştığı, Mn, B ve Cu elementlerinin orta seviyede riskli olduğu belirlenmiştir. Suda çözülmüş halde bulunan As, Cd, Cu, Zn, Pb ve B'nin sedimentteki fraksiyonlarının biri ya da daha fazlası ile olan ilişkilerinin önemli ve pozitif bulunması bu metallerin suya daha kolay geçebileceklerini göstermiştir.

Balıktaki birikimlerin mevsimlere ve dokulara göre değiştiği, genel olarak en yüksek konsantrasyonların ciğerde olduğu belirlenmiştir. Balık dokuları ile sedimentteki fraksiyonların konsantrasyonları arasındaki ilişkiler önemli bulunmuştur. Çözünmüş halde bulunan ve sedimentte mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonların transfer katsayıları 1'den büyük bulunmuştur. Metallerin toksik etki sınır değerlerini aşmış olmaları nedeniyle balıkların tktlmelerinin sınırlı olması gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uluabat Gölü, ağır metal ve iz element fraksiyonları, su kalitesi, ötrofikasyon, sediment, *Esox lucius*, *Cyprinus carpio*, toksik etki seviyesi

ABSTRACT

In the present study, water, surface sediment of heavy metals and some trace elements (As, B, Fe, Mn, Cu, Cr, Pb, Ni, Zn, Cd) in Uluabat Lake, the concentration levels of *Esox lucius* (Pike) ve *Cyprinus carpio* (Carp) tissues were investigated monthly between 2008 May and 2009 May. Mobilizing the heavy metals from sediments to water and bioaccumulation in fish tissues were examined. In water, their dissolved and particulate forms, in surface sediments, total concentration and residual forms of heavy metals and some trace elements, fractions which are mobile and can be released easily, bounded to Mn-oxide and organic matter were analyzed.

The heavy metals taken from the samples of different parts of the lake, streams supporting and discharging the lake and point pollution sources, some trace elements and other water and sediment parameters were measured. The results of the measurement were mapped by Geographic Information System. According to the results obtained it was determined that the water quality of Uluabat Lake in terms of drinking and potable water was not appropriate, could be used cautiously as irrigation, was at toxic level in terms of certain metals according to WHO and EPA extreme value. It was found that examined water and sediment quality parameters were related each other, the lake determined at hypertrophic level affected conductivity, pH, heat and organic matter percentage, concentrations of heavy metal and trace elements in the sediment positively. It was stated that the change of heat, AKM, NH₄-N, TP, Cu, Ni, Fe and Mn parameters affected by the point pollution sources and meteorological parameters throughout the water column and the change of heavy metals, trace elements in the form of ÇH, AKMT and sediment and other water and sediment quality parameters according to the stations were important. The size orders of heavy metals and trace elements were determined as B>Fe>Zn>Cr>Pb>Ni>As>Cu>Mn>Cd for dissolved forms of metals, Fe>Mn>B>Zn>Ni>Cr>Pb>Cu>Cd>As for metals in the particulate forms, and Fe>Mn>Ni>B>Zn>Cr>Pb>Cu>As>Cd for those in sediments.

In the evaluation considering sediment fractions, it was found that Cr and Ni elements exceeded severe effect level, Mn, B and Cu elements were risky at medium level. The fact that the relationship between dissolved As, Cd, Cu, Zn, Pb and B and one of their fractions or more in the sediment was important and positive showed that these metals could be more permeable to the water. It was stated that bioaccumulations

in fish changed according to the seasons and tissues and generally the highest concentrations were in liver. It was found out that the relationships between fish tissues and the concentrations of fractions in sediments were important. It was also seen that transfer coefficients of fractions which are dissolved and which are mobile and can be released easily were higher than 1. It was determined that fish consumptions should be limited because the metals were exceeded the toxic effect extreme values.

Key Words: Uluabat Lake, heavy metal and trace element fractions, water quality, eutrophication, sediment, *Esox lucius*, *Cyprinus carpio*, toxic effect level.

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|-------|
| TEZ ONAY SAYFASI..... | II |
| ÖZET..... | III |
| ABSTRACT..... | V |
| İÇİNDEKİLER..... | VII |
| KISALTMALAR DİZİNİ..... | XI |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | XIII |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | XVII |
| SİMGELER DİZİNİ..... | XX |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ..... | 3 |
| 2. 1. Uluabat Gölü Konumu, Coğrafyası ve Hidrolojik Özellikleri | 3 |
| 2. 2. Uluabat Gölü Havzası Arazi Kullanım Durumu | 6 |
| 2. 3. Uluabat Gölünün Morfometrisi..... | 8 |
| 2. 4. Uluabat Gölü Meteorolojik Özellikleri..... | 10 |
| 2. 5. Uluabat Gölü Biyolojik Çeşitliliği..... | 12 |
| 2. 6. Noktasal ve Yayılı Kirlilik Kaynakları..... | 14 |
| 2. 7. Ağır Metaller ve Dünyada ve Ülkemizde Yapılan Çalışmalar..... | 16 |
| 2. 8. Ağır Metal ve İz Elementlerin Kaynakları..... | 19 |
| 2. 9. Yüzeysel Sularda Bulunan Ağır Metaller..... | 20 |
| 2.10. Ağır Metallerin Göllerdeki Döngüsü..... | 21 |
| 2. 11. Metallerin Yüzeysel Sulardaki Katı-Sıvı Ara Yüzeyi İlişkileri..... | 24 |
| 2. 12. Su-Sediment Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Reaksiyonlar..... | 25 |
| 2. 13. Metallerin Yüzeysel Sedimentine Bağlanmaları ve Mobil Hale Geçebilmeleri..... | 27 |
| 2.13.1. Sudaki Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonlarını Etkileyen Parametreler..... | 29 |
| 2. 14. Ağır Metallerin Davranışları..... | 32 |
| 2. 15. Ağır Metallerin Besin Zinciri İle Alımı..... | 41 |
| 2. 16. Göllerde Su Kalitesinin Değişimi..... | 43 |
| 2. 17. Hidrolojik ve Meteorolojik Parametrelerin Su Kalitesine Etkileri..... | 47 |
| 2. 18. Ötrofikasyon..... | 49 |
| 2.18.1. Ötrofikasyonun Göllerdeki Metal Konsantrasyonlarına Etkisi..... | 50 |
| 2. 19. Göllerde Su ve Sediment Kalitesi Arasındaki İlişkiler | 51 |
| 2.19.1. Azot..... | 51 |
| 2.19.2. Fosfor | 53 |
| 2. 20. Çevre Kirliliği ve Su Kalitesinin Değerlendirilmesinde Coğrafik Bilgi Sisteminin Kullanımı..... | 61 |

| | |
|---|-----|
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 64 |
| 3. 1. Örnekleme Programı..... | 64 |
| 3.1.1. Örnekleme Noktaları | 65 |
| 3.1.2. Örnekleme Metodu ve Örnekleyciler..... | 67 |
| 3. 2. Ağır Metal ve İz Elementlerin Analizi..... | 70 |
| 3. 2. 1. Örneklerin Analize Hazırlanması..... | 70 |
| 3.2.1.1. Suda Çözünmüş, Askıda Katı Maddelere Tutunmuş ve Sedimentteki Toplam Ağır Metal ve İz Elementlerin Analize Hazırlanması..... | 70 |
| 3.2.1.2. Sedimentte Bulunan Ağır Metal ve İz Element Fraksiyonlarının Analize Hazırlanması..... | 70 |
| 3.2.1.3. Balık Dokularında Bulunan Ağır Metal ve İz Elementlerin Analize Hazırlanması..... | 72 |
| 3. 2. 2. Ağır Metal ve İz Elementlerin Analizlerinde Kullanılan Yöntemler..... | 72 |
| 3. 2 2. 1. ICP-OES Cihazı Çalışma Prensibi..... | 73 |
| 3. 2. 3. Örneklerin ICP-OES ile Analizi..... | 75 |
| 3.3. Suda ve Sedimentteki Diğer Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerin Analizi..... | 77 |
| 3. 3. 1. Suda Ölçülen Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerin Analizi..... | 77 |
| 3. 3. 2. Sedimentte Ölçülen Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerin Analizi..... | 78 |
| 3. 4. Veri Değerlendirme Yöntemleri | 78 |
| 3. 4. 1. Coğrafik Bilgi Sistemi İle Su ve Sediment Kalitesi Parametrelerinin Haritalandırılması..... | 78 |
| 3. 4. 2. Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi..... | 80 |
| 3. 4. 3. Ölçüm Sonuçlarının Literatür İle Karşılaştırılması | 81 |
| 3. 4. 4. Uluabat Gölü Ötrofikasyon Seviyesinin Belirlenmesi | 81 |
| 3. 4. 5. Sedimentte ve Askıda Katı Maddede Bulunan Ağır Metal ve İz Elementlerin Dağılım Katsayıları İle Karşılaştırılması..... | 82 |
| 3. 4. 6. Su Kolonundan Sedimente Geçen Ağır Metal ve İz Element Akılarının Belirlenmesi..... | 83 |
| 3. 4. 7. Balıktaki Transfer Faktörlerinin Belirlenmesi..... | 84 |
| 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA..... | 85 |
| 4. 1. Uluabat Gölü Su Kalitesinin Derinliğe ve Mevsimlere Göre Değişimi..... | 85 |
| 4. 1. 1. Su Kalitesi Parametrelerinin Aylık Değişimlerinin İncelenmesi..... | 85 |
| 4. 1. 1. 1. Su ve Sediment Kalitesi Parametrelerinin İstatistiksel Analizi..... | 101 |
| 4. 1. 2. Su ve Sediment Kalitesinin Birlikte Değerlendirilmesi | 119 |
| 4. 2. Uluabat Gölü Trofik Seviyesinin Belirlenmesi..... | 120 |
| 4. 2. 1. Alg Biyokütlesi İçin Sınırlayıcı Faktör Olan Azot ve Fosfor..... | 128 |
| 4. 2. 2. Uluabat Gölü Trofik Seviyesinin Değerlendirilmesi..... | 133 |
| 4. 3. Uluabat Gölü Su ve Sediment Kalitesinin 2002-2003 ve 2008-2009 Yılları Arasında Değişimi..... | 135 |

| | |
|--|-----|
| 4. 3. 1. Uluabat Gölü Su Kalitesinin 2002-2003 ve 2008-2009 Yılları Arasında Değişimi..... | 135 |
| 4. 3. 2. Uluabat Gölü Sediment Kalitesi'nin 2002-2003 ve 2008-2009 Yılları Arasında Değişimi..... | 148 |
| 4. 3. 3. Uluabat Gölü Su ve Sediment Kalitesinin Yıllara Göre Değişiminin Değerlendirilmesi..... | 155 |
| 4. 4. Çözünmüş Halde, Askıda Katı Maddeye Tutunmuş Halde Bulunan ve Sedimentteki Toplam Ağır Metal ve İz Elementler | 158 |
| 4. 4. 1. Çözünmüş Halde Bulunan Ağır Metal ve İz Elementler..... | 158 |
| 4. 4. 2. Askıda Katı Maddelere Tutunmuş Halde Bulunan Metaller..... | 169 |
| 4. 4. 3. Sedimentte Bulunan Toplam Ağır Metal ve İz elementler..... | 179 |
| 4. 4. 4. Sedimentte ve Askıda Katı Maddede Bulunan Ağır Metal ve İz Elementlerin Dağılım Katsayıları İle Karşılaştırılması..... | 191 |
| 4. 4. 5. Su Kolonundan Sedimente Geçen Ağır Metal ve İz Element Akılarının Belirlenmesi..... | 205 |
| 4. 4. 6. Çözünmüş Halde, Askıda Katı Maddeye Tutunmuş Halde Bulunan ve Sedimentteki Toplam Ağır Metal ve İz Elementlerin Birlikte Değerlendirilmesi..... | 210 |
| 4. 5. Uluabat Gölü Noktasal Kirlenici Kaynakların Su ve Sediment Kalitesine Olan Etkileri..... | 213 |
| 4. 5. 1. Noktasal Kirlilik Kaynaklarının Debi Ölçümlerinin Değerlendirilmesi | 213 |
| 4. 5. 2. Noktasal Kirlenici Kaynaklarının Mevsimsel Yük Değişimlerinin Uluabat Gölü'ne Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi..... | 216 |
| 4. 5. 2. 1. BOİ, KOİ, AKM ve Besin Maddesi Yüklerinin Değerlendirilmesi..... | 216 |
| 4. 5. 2. 2. BOİ, KOİ, AKM ve Besin Maddesi Yüklerinin Su ve Sediment Kalitesine Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi..... | 225 |
| 4. 5. 2. 3. Ağır Metal ve İz Element Yüklerinin Değerlendirilmesi.. | 227 |
| 4. 5. 2. 4. Ağır Metal ve İz Element Yüklerinin Su ve Sediment Kalitesine Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi..... | 234 |
| 4. 6. Atmosferden Kaynaklanan Ağır Metal ve İz Element Miktarlarının Belirlenmesi..... | 240 |
| 4.7. Uluabat Gölü Sedimenti Ağır Metal ve İz Element Fraksiyonlarının Dağılımları ve Suya Geçebilme Risk Durumlarının Değerlendirmesi..... | 243 |
| 4. 7. 1.Sedimentte Bulunan Ağır Metal ve İz Element Fraksiyonlarının Suya Geçebilme Risk Durumlarının Değerlendirmesi..... | 243 |
| 4. 7. 2. Sudaki Ağır Metal, İz Element ve Fiziko-Kimyasal Kirlilik Parametreleri İle Sedimentteki Ağır Metal ve İz Element Fraksiyonları Arasındaki İlişkiler..... | 261 |
| 4. 7. 2. 1. Sedimentin Fiziko-Kimyasal Özellikleri | 261 |
| 4. 7. 2. 2. Sudaki Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonları ile Fizikokimyasal Parametrelerin İlişkisi..... | 262 |
| 4. 7. 2. 3. Sedimentteki Ağır Metal Fraksiyonlarının Suda Çözünmüş Halde Bulunan Metal Konsantrasyonları ile Olan İlişkileri..... | 263 |

| | |
|--|-----|
| 4. 8. Mobil ve Kolay Serbest Hale Geçebilir Fraksiyonlarının 2002-2003 ve 2008-2009 Yılları Arasındaki Değişimi..... | 267 |
| 4. 8. 1. Mobil Halde Bulunan Ağır Metal ve İz Elementlerin Değişimleri | 267 |
| 4. 8. 2. Mobil ve Kolay Serbest Hale Geçebilir Fraksiyonların Konsantrasyon Farklılıklarının Değerlendirilmesi..... | 273 |
| 4. 8. 3. Kolay Serbest Hale Geçebilen Ağır Metal ve İz Elementlerin Konsantrasyon Değişimleri..... | 274 |
| 4. 8. 4. Mobil ve Kolay Serbest Hale Geçebilir Fraksiyonlarının 2002-2003 ve 2008-2009 Yılları Arasındaki Değişimlerinin Birlikte Değerlendirmesi..... | 280 |
| 4. 9. Uluabat Gölü'nde Yaşayan Sazan (<i>Cyprinus carpio</i> L., 1758) ve Turna (<i>Esox lucius</i> , 1758) Balıklarının Bazı Organlarında Biriken Ağır Metal ve İz Element Seviyelerinin İzlenmesi..... | 281 |
| 4. 10. Ağır Metal ve İz elementlerin Suda ve Sedimentte Bulunan Fraksiyonlarının Balık Türlerinin Farklı Dokularındaki Birikime Olan Etkileri..... | 294 |
| 4. 10. 1. Balık Türlerindeki Ağır Metal ve İz Element Birikimlerinin Ulusal ve Uluslararası Sınır Değerler İle Karşılaştırılması..... | 294 |
| 4. 10. 2. Ağır Metal ve İz elementlerin Suda ve Sedimentte Bulunan Fraksiyonlarının Balık Türlerinin Farklı Dokularındaki Konsantrasyonları İle İlişkileri..... | 306 |
| 4. 10. 3. Transfer Faktörlerinin Değerlendirilmesi | 312 |
| 4. 10. 4. Ağır Metal ve İz elementlerin Suda ve Sedimentte Bulunan Fraksiyonlarının Balık Türlerinin Farklı Dokularındaki Birikime Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi..... | 319 |
| 5. SONUÇ..... | 324 |
| KAYNAKLAR..... | 337 |
| EK-1 | 361 |
| EK-2 | 364 |
| ÖZGEÇMİŞ | 368 |
| TEŞEKKÜR..... | 369 |

KISALTMALAR DİZİNİ

- AKMTH - Askıda Katı Maddeye Tutunmuş Halde Bulunan Metal ve İz Elementler
- APHA - Amerikan Halk Sağlığı Kuruluşu
- CBS - Coğrafik Bilgi Sistemi
- CC - *Cyprinus carpio*'nun Ciğer Dokusu
- CK - *Cyprinus carpio*'nun Kas Dokusu
- CS - *Cyprinus carpio*'nun Solungaç Dokusu
- ÇH - Çözünmüş Halde Bulunan Metal ve İz Elementler
- DIN - Çözünmüş İnorganik Azot
- DSİ - Devlet Su İşleri
- EC - Avrupa Birliği
- EC - *Esox lucius*'un Ciğer Dokusu
- EİE - Elektrik İşleri Etüt İdaresi
- EK - *Esox lucius*'un Kas Dokusu
- ERM - Etki Aralığı-Medyan
- ES - *Esox lucius*'un Solungaç Dokusu
- F1 - Sedimentte Mobil Halde Bulunan Ağır Metal İz Element Fraksiyonları
- F2 - Sedimentte Kolay Serbest Hale Geçebilir Halde Bulunan Ağır Metal ve İzElement Fraksiyonları
- F3 - Sedimentte Mn-Oksitlere Bağlı Olarak Bulunan Ağır Metal ve İz Element Fraksiyonları
- F4 - Sedimentte Organiklere Bağlı Olarak Bulunan Ağır Metal ve İz Element Fraksiyonları
- F5 - Sedimentte Kalıntı Halde Bulunan Ağır Metal ve İz Element Fraksiyonları
- FAO - Gıda ve Tarım Örgütü
- IAEA - Uluslararası Atomik Enerji Kuruluşu
- ICP-OES - İndüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometri
- IPCC - Uluslararası Hükümetler İklim Değişikliği Paneli
- JECFA - Gıda Maddeleri FAO/WHO Uzman Komitesi Dergileri
- LEL - Düşük Etki Seviyesi

| | | |
|----------|---|---|
| MKP ayı | - | Mustafakemalpaşa ayı |
| NKK | - | Noktasal Kirlilik Kaynakları |
| NOAA | - | ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi |
| NRC | - | ABD Ulusal Araştırma Kurulu |
| NYSDEC | - | New York Eyaleti evre Koruma Bölümü |
| OECD | - | Ekonomik İŐbirliĐi ve Kalkınma rgütü |
| PEL | - | Olası Etki Aralığı |
| PEL-HA28 | - | Hyalella azteca İçin GeliŐtirilen Olası Etki Seviyesi |
| RAC | - | Riski Değerlendirme Kriterleri |
| SEL | - | Şiddetli Etki Seviyesi |
| SKKY | - | Su Kirliliği Ve Kontrolü Yönetmeliği |
| SQV | - | Sediment Kalite Değerleri |
| ST | - | Sedimentteki Toplam Metal Konsantrasyonu |
| SÜY | - | Su Ürünleri Yönetmeliği |
| TET | - | Toksik Etki Sınırı |
| TF | - | F1, F2, F3 ve F4 Toplam Konsantrasyonları |
| Tf | - | Transfer Faktörü |
| TGK | - | Türk Gıda Koteksi |
| TS | - | Türk Standartları |
| TSI | - | Trofik Seviye İndeksi |
| USEPA | - | Birleşik Devletler evre Koruma Ajansı |
| WHO | - | Dünya Sağlık rgütü |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|---|-----|
| Çizelge 2. 1. Uluabat Gölü'nü besleyen giren sular | 6 |
| Çizelge 2. 2. Uluabat Gölü'nden çıkan sular..... | 6 |
| Çizelge 2. 3. MKP Çayı Havzası arazi kullanım alanları | 8 |
| Çizelge 2. 4. Bursa Meteoroloji İstasyonu 1975-2006 yılları ölçümleri uzun yıllarortalamaları..... | 10 |
| Çizelge 2. 5. Görükle ve Karacabey Meteoroloji İstasyonlarına ait ölçümlerin yıllık ve mevsimsel ortalama değerleri..... | 12 |
| Çizelge 2. 6. Çökelen partikül yapılarının iz element ve ağır metallerin çökelmelerindeki rolleri..... | 23 |
| Çizelge 3. 1. Örnek alma istasyonlarına ait koordinatlar..... | 66 |
| Çizelge 3. 2. Ölçümlerin kalite kontrol ve kalite güvenilirliği için yapılan okumalar... | 76 |
| Çizelge 3. 3. ICP-OES cihazı çalışma koşulları..... | 76 |
| Çizelge 3. 4. Elementlerin okumalarında kullanılan dalga boyları..... | 76 |
| Çizelge 4. 1. 1. Uluabat Gölü Su Kalitesi Parametreleri mevsimsel ortalama değerleri..... | 93 |
| Çizelge 4. 1. 2. Uluabat Gölü Su Kalitesi Parametreleri yıllık ortalama ve maksimum-minimum değerleri..... | 94 |
| Çizelge 4. 1. 3. Uluabat Gölü su kalitesi parametreleri yıllık ortalama değerleri ve farklı sığ göller | 95 |
| Çizelge 4. 1. 4. Uluabat Gölü su kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan sulama suyu, içme suyu ve alıcı ortam standartları..... | 99 |
| Çizelge 4. 1. 5. SKKY, Kıtaiçi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri | 100 |
| Çizelge 4. 1. 6. Sedimentteki kirlilik parametrelerinin birbirleriyle olan ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayısı değerleri..... | 103 |
| Çizelge 4. 1. 7. Su kalitesi parametrelerin birbirleriyle ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayısı değerleri | 105 |
| Çizelge 4. 1. 8. Sediment kalitesi parametreleri varyans analizi sonuçları..... | 107 |
| Çizelge 4. 1. 9. Su kalitesi parametreleri varyans analizi sonuçları..... | 108 |
| Çizelge 4. 1. 10. Su kalitesi parametreleri yüzey ve dip ortalama değerleri..... | 109 |
| Çizelge 4. 1. 11. Su kalitesi parametrelerinin istasyonlara göre ortalama değerleri.... | 115 |
| Çizelge 4. 1. 12. Sediment kalitesi parametrelerinin istasyonlara göre ortalama değerleri..... | 116 |
| Çizelge 4. 2. 1. Göl ortalaması alınarak belirlenen TSI_{SD} , TSI_{CHL} , TSI_{TP} ve TSI_{TN} değerlerinin aylık ortalamaları | 123 |
| Çizelge 4. 2. 2. 2008-2009 yılı Uluabat Gölü ölçüm istasyonlarına ait TP, TN, SD ve Klorofil-a parametrelerinin mevsimsel ve yıllık ortalama trofik seviye indeksleri.. | 124 |
| Çizelge 4. 2. 3. Göllerin, nütrient seviyesi, biyomas ve üretkenliklerine göre yapılan trofik sınıflandırma | 126 |
| Çizelge 4. 2. 4. OECD'nin trofik seviyenin belirlenmesi amacıyla hazırladığı standartlar tablosu..... | 126 |
| Çizelge 4. 2. 5. Uluabat Gölü için belirlenen trofik seviye sınıfları Uluabat Gölü için belirlenen trofik seviye sınıfları..... | 127 |
| Çizelge 4. 2. 6. Göl ortalamasına göre belirlenmiş DIN/SRP, TN/TP ve DIN/TP oranlarının aylık değerleri | 130 |
| Çizelge 4. 2. 7. Yıllık ortalama değerlere göre belirlenmiş DIN/SRP, TN/TP ve DIN/TP oranlarının istasyonlara göre değerleri..... | 130 |

| | |
|---|-----|
| Çizelge 4.2.8. TSI değerleri ile belirlenen ilişkiler ve nütrient sınırlaması..... | 132 |
| Çizelge 4.2.9. TSI değerlerinin mevsimsel ortalamaları..... | 133 |
| Çizelge 4.3.1. Su kalitesi parametrelerinin 2002-2003 ve 2008-2009 yılları arasındaki değişimini gösteren ANOVA tablosu | 136 |
| Çizelge 4. 3. 2. 2002-2003 yılı su kalitesi parametrelerinin istasyonlara göre ortalama değerleri..... | 145 |
| Çizelge 4. 3. 3. 2002-2003 yılı su kalitesi parametrelerinin aylık ortalama ve standart değerleri..... | 145 |
| Çizelge 4. 3. 4. Sediment kalitesi parametrelerinin 2002-2003 ve 2008-2009 yılları arasındaki değişimini gösteren ANOVA tablosu..... | 148 |
| Çizelge 4. 3. 5. 2002-2003 yılı sediment kalitesi parametreleri istasyonlara göre ortalama ve standart sapma değerleri..... | 149 |
| Çizelge 4. 3. 6. 2002-2003 yılı sediment kalitesi parametreleri aylık ortalama ve standart sapma değerleri..... | 149 |
| Çizelge 4. 4. 1. Uluabat Gölü ve diğer doğal göllerde çözülmüş halde bulunan Ağır metal ve iz element konsantrasyonları..... | 159 |
| Çizelge 4. 4. 2. Uluabat Gölü çözülmüş metal konsantrasyonları ortalamaları ve uluslararası standart değerler..... | 160 |
| Çizelge 4. 4. 3. Ağır metal ve iz elementlerin değerlendirilmesinde kullanılan ulusal sınırdeğerler..... | 161 |
| Çizelge 4. 4. 4. Ç. H'de bulunan ağır metal ve iz elementlerin varyans analizi sonuçları..... | 163 |
| Çizelge 4. 4. 5. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metal konsantrasyon değerleri | 169 |
| Çizelge 4. 4. 6. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metal ve iz element konsantrasyonlarının diğer su kaynakları ile karşılaştırılması..... | 175 |
| Çizelge 4. 4. 7. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metaller ile diğer parametrelerin ilişkilerini gösteren r korelasyon sayısı değerleri.... | 177 |
| Çizelge 4. 4. 8. Sedimentteki toplam metallerin yıllık ortalama değerleri ve değişim aralıkları..... | 180 |
| Çizelge 4. 4. 9. Uluslararası sediment kalite değerleri ve Uluabat Gölü Sediment konsantrasyonları..... | 180 |
| Çizelge 4. 4. 10. Diğer çalışılan su kaynaklarında bulunan değerler ile Uluabat Gölü Sedimenti konsantrasyonlarının karşılaştırılması..... | 183 |
| Çizelge 4. 4. 11. Su ve sediment kalitesi parametreleri ile sedimentteki toplam ağır metal ve iz element parametreleri arasındaki r korelasyon katsayıları | 189 |
| Çizelge 4. 4. 12. Karşılaştırmalarda kullanılan literatürden alınmış Log Kd (L/kg) değerleri..... | 192 |
| Çizelge 4. 4. 13. İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (Csed/Csu) değerlerinin mevsimsel ve yıllık ortalamaları..... | 195 |
| Çizelge 4. 4. 14. İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (Cakm/Csu) değerlerinin mevsimsel ve yıllık ortalamaları..... | 201 |
| Çizelge 4. 4. 15. Her tanecik boyutu ve ilkbahar mevsimi için hesaplanan akı değerleri..... | 208 |
| Çizelge 4. 4. 16. Her tanecik boyutu ve yaz mevsimi için hesaplanan akı değerleri..... | 208 |

| | |
|---|-----|
| Çizelge 4. 4. 17. Her tanecik boyutu ve sonbahar mevsimi için hesaplanan akı değerleri..... | 209 |
| Çizelge 4. 4. 18. Her tanecik boyutu ve kış mevsimi için hesaplanan akı değerleri..... | 209 |
| Çizelge 4. 4. 19. Uluabat Gölü sedimentine günlük çökelen ağır metal ve iz element miktarlarının mevsimsel ve yıllık ortalama değerleri..... | 210 |
| Çizelge 4. 5. 1. Noktasal kirletici kaynaklara ait yıllık ortalama debi, azot-fosfor fraksiyonları, BOİ, KOİ ve AKM yükleri..... | 217 |
| Çizelge 4. 5. 2. MKP Çayı'nın aylık kirletici yükleri ile su kalitesi parametrelerinin ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayısı değerleri..... | 221 |
| Çizelge 4. 5. 3. Noktasal kirlilik kaynaklarının sediment kalitesi parametreleri ile olan ilişkileri | 224 |
| Çizelge 4. 5. 4. Noktasal kirlilik kaynaklarının su kalitesi parametreleri ile olan ilişkileri..... | 225 |
| Çizelge 4. 5. 5. NKK'ların metal yükleri ile Ç H metal konsantrasyonları arasındaki ilişkileri..... | 237 |
| Çizelge 4. 5. 6. NKK'ların metal yükleri ile AKMTH bulunan metal konsantrasyonları arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon katsayıları..... | 237 |
| Çizelge 4. 5. 7. NKK'ların metal yükleri ile sedimentteki metal konsantrasyonları arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon katsayıları | 237 |
| Çizelge 4. 6. 1. Atmosferdeki ağır metal ve iz element konsantrasyonları, kuru çökme hızları, kuru çökme akıları ve Uluabat Gölü'ne günlük çökelen ağır metal ve iz element miktarları..... | 241 |
| Çizelge 4. 6. 2. Uluabat Gölü kirletici kaynaklarının toplam ağır metal ve iz element yükleri ve yüzde oranları..... | 242 |
| Çizelge 4. 7. 1. Çalışma sonuçlarına ait ağır metal ve iz element fraksiyonlarının konsantrasyonları ve diğer çalışmalar | 256 |
| Çizelge 4. 7. 2. Uluabat Gölü Sedimenti fiziko-kimyasal özelliklerinin yıllık ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimleri..... | 262 |
| Çizelge 4. 7. 3. Ağır metal ve iz elementlerin sudaki konsantrasyonları ile suyun fizikokimyasal özellikleri arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon katsayıları | 263 |
| Çizelge 4. 7. 4. Sudaki metal konsantrasyonları ile sedimentte bulunan metallerin farklı kimyasal fraksiyonları arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon katsayıları.... | 265 |
| Çizelge 4. 8. 1. Mobil halde bulunan fraksiyonların 2002-2003 ve 2008-2009 yılları arasındaki değişimini gösteren ANOVA tablosu..... | 267 |
| Çizelge 4. 8. 2. 2002-2003 yılındaki mobil halde bulunan ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının istasyonlara göre ortalama değerleri..... | 271 |
| Çizelge 4. 8. 3. 2002-2003 yılındaki mobil halde bulunan ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının aylara göre ortalama değerleri..... | 272 |
| Çizelge 4. 8. 4. F1 ve F2 konsantrasyon farklılıklarının yıllara göre değişimini gösteren ANOVA tablosu..... | 273 |
| Çizelge 4. 8. 5. Kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının 2002-2003 ve 2008-2009 yılları arasındaki değişimini gösteren ANOVA tablosu..... | 274 |
| Çizelge 4. 8. 6. 2002-2003 yılındaki kolay serbest hale geçebilir halde bulunan ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının istasyonlara göre ortalama değerleri.... | 278 |
| Çizelge 4. 8. 7. 2002-2003 yılındaki kolay serbest hale geçebilir halde bulunan ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının aylara göre ortalama değerleri..... | 279 |
| Çizelge 4. 9. 1. <i>E. lucius</i> ve <i>C. carpio</i> için oluşturulan ANOVA tablosu..... | 282 |

| | |
|---|-----|
| Çizelge 4. 9. 2. <i>E. lucius</i> ve <i>C. carpio</i> 'nun kas, solungaç ve ciğer dokularında bulunan ağır metal konsantrasyonlarının yıllık ortalama değerleri..... | 290 |
| Çizelge 4. 9. 3. <i>E. Lucius</i> ve <i>C. Carpio</i> 'da bulunan ağır metal konsantrasyonları yıllık ortalama değerleri..... | 291 |
| Çizelge 4. 10. 1. Tehlikeli ağır metal ve iz elementlerin balık ve balık ürünlerinde bulunabilecek sınır değerleri –FAO..... | 297 |
| Çizelge 4. 10. 2. Ağır metal ve iz elementlerin tüketilmeleri için verilmiş olan ulusal ve uluslararası sınır değerler | 298 |
| Çizelge 4. 10. 3. Balık dokularındaki ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının diğer çalışmalar ile karşılaştırmaları..... | 300 |
| Çizelge 4. 10. 4. <i>C. carpio</i> dokularındaki konsantrasyonlar ile ÇH, AKTH, sediment fraksiyonları ve ST konsantrasyonları arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon değerleri..... | 308 |
| Çizelge 4. 10. 5. <i>E. lucius</i> dokularındaki konsantrasyonlar ile ÇH, AKTH, sediment fraksiyonları ve ST konsantrasyonları arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon değerleri..... | 311 |
| Çizelge 4. 10. 6. Uluabat Gölü ekosisteminden kaynaklanan ağır metal ve iz elementlerin <i>Esox Lucius</i> ve <i>Cyprinus Carpio</i> türlerinin bünyelerinde meydana getirdikleri biyoakümülyasyonları temsil eden transfer faktörleri..... | 313 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|-----|
| Şekil 2. 1. Uluabat Gölü ve Havzası..... | 5 |
| Şekil 2. 2. Mustafakemalpaşa Çayı Havzası arazi kullanım haritası..... | 7 |
| Şekil 2. 3. Uluabat Gölü'nün 1997 yılına ait batimetrik haritası | 9 |
| Şekil 2. 4. Uluabat Gölü'nün 1995 yılına ait batimetrik haritası..... | 9 |
| Şekil 2. 5. 1999 ile 2010 yılları arası sıcaklık ve yağış miktarları değişimi..... | 11 |
| Şekil 2. 6. Doğal sulardaki çözünmüş ve askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metal türleri..... | 21 |
| Şekil 2. 7. Ağır metal ve iz elementlerin göllerdeki döngüleri..... | 22 |
| Şekil 2. 8. Sediment boşluk suyu ile göl suyu arasında çözünmüş iyonların akı yönleri..... | 26 |
| Şekil 2. 9. Kuru sedimentte yıllara ve sedimentin derinliğine göre Mn/Fe oranı..... | 28 |
| Şekil 2. 10. Yüzeysel sulardaki besin zinciri..... | 42 |
| Şekil 2. 11. Sığ göllerde sedimentin tekrar askıdaki hale geçmesinin su kalitesi parametrelerine olan potansiyel etkileri..... | 48 |
| Şekil 3. 1. Uluabat Gölü ve Havzası'ndaki noktasal kirletici kaynaklara ait örnek alma istasyonlarının yerleri..... | 66 |
| Şekil 3. 2. Kemmerer and Van Dorn örnekleyicinin çizimi ve kullanımı sırasında çekilen fotoğrafı..... | 67 |
| Şekil 3. 3. Ekman sediment örnekleyicisinin çizimi ve kullanımı sırasında çekilen fotoğrafı..... | 68 |
| Şekil 3. 4. Ardışık ekstraksiyon işlemleri..... | 71 |
| Şekil 3. 5. ICP-OES Cihazına ait şematik gösterim..... | 73 |
| Şekil 4. 1. 1. Alkalinite, sertlik, pH, azot ve fosfor formlarının aylara göre değişimi..... | 88 |
| Şekil 4. 1. 2. Sıcaklık, Klo-a, AKM, ÇO, BOİ ₅ ve KOİ parametrelerinin aylara göre değişimleri..... | 90 |
| Şekil 4. 1. 3. İletkenlik, tuzluluk, seki serinliği ve su seviyesinin aylara göre değişimleri..... | 92 |
| Şekil 4. 1. 4. Sedimentteki kirlilik parametrelerinin birbirleriyle olan ilişkilerini gösteren korelasyon grafikleri..... | 104 |
| Şekil 4. 1. 5. Su kalitesi parametrelerinin birbirleriyle ilişkilerini gösteren korelasyon grafikleri..... | 104 |
| Şekil 4. 1. 6. ÇO konsantrasyonları dağılım haritası..... | 111 |
| Şekil 4. 1. 7. BOİ konsantrasyonları dağılım haritası..... | 111 |
| Şekil 4. 1. 8. KOİ konsantrasyonları dağılım haritası..... | 112 |
| Şekil 4. 1. 9. Sudaki TN konsantrasyonları dağılım haritası..... | 112 |
| Şekil 4. 1. 10. Sudaki TP konsantrasyonları dağılım haritası..... | 113 |
| Şekil 4. 1. 11. Sudaki PO ₄ -P konsantrasyonları dağılım haritası..... | 113 |
| Şekil 4. 1. 12. Klorofil-a konsantrasyonları dağılım haritası..... | 114 |
| Şekil 4. 1. 13. Sedimentte bulunan organik madde % dağılımı haritası..... | 117 |
| Şekil 4. 1. 14. Sedimentteki TN konsantrasyonları dağılımı haritası..... | 117 |
| Şekil 4. 1. 15. Sedimentteki TP konsantrasyonları dağılımı haritası..... | 118 |
| Şekil 4. 1. 16. Sedimentteki PO ₄ -P konsantrasyonları dağılımı haritası..... | 118 |
| Şekil 4. 2. 1. Göldeki ölçüm istasyonlarının ortalamaları alınarak hesaplanan klorofil-a, seki derinliği, toplam fosfor ve toplam azot parametrelerinin aylık TSI değerleri değişimi..... | 122 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 4. 2. 2. DIN/SRP, TN/TP ve DIN/TP oranlarının göl ortalamalarının aylık değerleri ve DIN/SRP oranının yıllık ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi..... | 131 |
| Şekil 4. 3. 1. Su kalitesi parametrelerinin aylık konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi..... | 146 |
| Şekil 4. 3. 2. Sediment kalitesi parametrelerinin aylık ortalama konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi..... | 154 |
| Şekil 4. 4. 1. Suda çözülmüş halde bulunan Cu konsantrasyonu dağılım haritası..... | 163 |
| Şekil 4. 4. 2. Suda çözülmüş halde bulunan B konsantrasyonu dağılım haritası..... | 164 |
| Şekil 4. 4. 3. Suda çözülmüş halde bulunan Cd konsantrasyonu dağılım haritası..... | 164 |
| Şekil 4. 4. 4. Suda çözülmüş halde bulunan Cr konsantrasyonu dağılım haritası..... | 165 |
| Şekil 4. 4. 5. Suda çözülmüş halde bulunan Pb konsantrasyonu dağılım haritası..... | 165 |
| Şekil 4. 4. 6. Suda çözülmüş halde bulunan Ni konsantrasyonu dağılım haritası..... | 166 |
| Şekil 4. 4. 7. Ç. H. Bulunan Cr, Cd, Cu, Ni, B ve Pb konsantrasyonlarının istasyonlara göre değişimleri..... | 167 |
| Şekil 4. 4. 8. As, Cd, Cu, Ni, Zn, B ve Pb'nin çözülmüş halde bulunan konsantrasyonlarının aylara göre değişimleri..... | 168 |
| Şekil 4. 4. 9. Cr, Zn ve B'nin askıda katı maddeye tutunmuş formlarının istasyonlara göre konsantrasyon değişimleri..... | 170 |
| Şekil 4. 4. 10. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan Cr konsantrasyonları dağılım haritası..... | 171 |
| Şekil 4. 4. 11. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan Zn konsantrasyonları dağılım haritası..... | 171 |
| Şekil 4. 4. 12. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan B konsantrasyonları dağılım haritası..... | 172 |
| Şekil 4. 4. 13. Askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan metal ve iz elementlerin aylık konsantrasyon değişimleri..... | 174 |
| Şekil 4. 4. 14. Cu ve Fe'nin askıda katı maddeye tutunmuş formlarının yüzey ve dip konsantrasyon farklılıkları..... | 176 |
| Şekil 4. 4. 15. Bazı metaller ile AKM arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon grafikleri..... | 178 |
| Şekil 4. 4. 16. Sedimentteki As, Cr, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonlarının yıllık ortalama değerlerinin göl içi istasyonlara göre değişimleri..... | 184 |
| Şekil 4. 4. 17. Sedimentteki toplam As konsantrasyonları dağılım haritası..... | 185 |
| Şekil 4. 4. 18. Sedimentteki toplam Cr konsantrasyonları dağılım haritası..... | 185 |
| Şekil 4. 4. 19. Sedimentteki toplam Fe konsantrasyonları dağılım haritası..... | 186 |
| Şekil 4. 4. 20. Sedimentteki toplam Mn konsantrasyonları dağılım haritası..... | 186 |
| Şekil 4. 4. 21. Sedimentteki toplam Zn konsantrasyonları dağılım haritası..... | 187 |
| Şekil 4. 4. 22. Ağır metallerin sedimentte bulunan konsantrasyonlarının aylara göre meydana gelen değişimler..... | 188 |
| Şekil 4. 4. 23. % Organik maddenin ve sıcaklığın sedimentteki bazı metaller ile ilişkilerini gösteren korelasyon grafikleri..... | 190 |
| Şekil 4. 4. 24. İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (Csed/Csu) değerlerinin aylara göre değişimleri | 196 |
| Şekil 4. 4. 25. İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (Csed/Csu) değerlerinin istasyonlara göre değişimleri | 197 |
| Şekil 4. 4. 26. İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (Cakm/Csu) değerlerinin | |

| | |
|--|-----|
| aylara göre değişimleri | 202 |
| Şekil 4. 4. 27. İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (Cakm/Csu) değerlerinin istasyonlara göre değişimleri | 203 |
| Şekil 4. 5. 1. Elektrik İşleri Etüt İdaresi'ne ait MKP Çayı Akım Gözlem İstasyonu..... | 213 |
| Şekil 4. 5. 2. MKP Çayı aylık debi değişimleri..... | 214 |
| Şekil 4. 5. 3. Noktasal kirletici kaynaklara ait aylık debi değişimleri..... | 215 |
| Şekil 4. 5. 4. Gölyazı İstasyonu limnigraf ölçümleri aylık değişimi..... | 215 |
| Şekil 4. 5. 5. Göle deşarj olan toplam BOİ, KOİ, AKM ve besin maddesi yüklerinin mevsimsel değişimleri..... | 217 |
| Şekil 4. 5. 6. Su kalitesi parametreleri konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri..... | 218 |
| Şekil 4. 5. 7. Göle deşarj olan çözünmüş haldeki metallerin yıllık toplam yükleri..... | 227 |
| Şekil 4. 5. 8. Çözünmüş halde bulunan metal yüklerinin mevsimsel değişimleri..... | 228 |
| Şekil 4. 5. 9. Çözünmüş halde bulunan metal konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri..... | 230 |
| Şekil 4. 5. 10. Göle deşarj olan askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan metallerin yıllık toplam yükleri..... | 231 |
| Şekil 4. 5. 11. AKMTH Bulunan metal yüklerinin mevsimsel değişimleri..... | 232 |
| Şekil 4. 5. 12. AKMTH bulunan metal konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri..... | 233 |
| Şekil 4. 5. 13. As ve B'nin sedimentteki konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri..... | 236 |
| Şekil 4. 7. 1. Ağır metal ve iz element fraksiyonlarının LEL ve SEL'ye göre karşılaştırmalı grafikleri..... | 250 |
| Şekil 4. 7. 2. Cr elementi F1, F2, F3 ve F4 toplam konsantrasyonları dağılım haritası..... | 251 |
| Şekil 4. 7. 3. Ni elementi F1, F2, F3 ve F4 toplam konsantrasyonları dağılım haritası..... | 251 |
| Şekil 4. 7. 4. Metallerin değişebilir fraksiyonlarının yüzdeleri ve risk seviyeleri..... | 253 |
| Şekil 4. 7. 5. Mn elementi F1 ve F2 toplam konsantrasyonları dağılım haritası..... | 253 |
| Şekil 4. 7. 6. B elementi F1 ve F2 toplam konsantrasyonları dağılım haritası..... | 254 |
| Şekil 4. 7. 7. Cu elementi F1 ve F2 toplam konsantrasyonları dağılım haritası..... | 254 |
| Şekil 4. 8. 1. Fe ve Cd elementlerinin mobil halde bulunan fraksiyonlarının yıllar içindeki değişimlerinin aylara göre gösterimi..... | 270 |
| Şekil 4. 8. 2. Fe ve Cd elementlerinin kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının yıllar içindeki değişimlerinin aylara göre gösterimi..... | 277 |
| Şekil 4. 9. 1. <i>Esox lucius</i> 'un kas, solungaç ve ciğer dokularında bulunan As, Cd ve B elementleri konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri..... | 288 |
| Şekil 4. 9. 2. <i>Cyprinus Carpio</i> 'nun kas, solungaç ve ciğer dokularında bulunan Pb, Ni ve B elementleri konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri..... | 289 |
| Şekil 4. 10. 1. <i>Esox Lucius</i> (A) ve <i>Cyprinus Carpio</i> (B) için hesaplanan suda çözünmüş halde, askıda katı maddeye tutunmuş halde ve sedimentteki toplam ağır metal ve iz element miktarlarının transfer faktörleri | 314 |
| Şekil 4. 10. 2. <i>Esox Lucius</i> (A) ve <i>Cyprinus Carpio</i> (B) için hesaplanan sedimentteki ağır metal ve iz element fraksiyonlarının transfer faktörleri..... | 317 |

SİMGELER DİZİNİ

| | | |
|--------------------|---|----------------------------|
| AKM | - | Askıda Katı Madde |
| As | - | Arsenik |
| B | - | Bor |
| BOİ | - | Biyolojik Oksijen İhtiyacı |
| C | - | Karbon |
| CaCO ₃ | - | Kalsiyum Karbonat |
| Cd | - | Kadmiyum |
| Cr | - | Krom |
| Cu | - | Bakır |
| ÇO | - | Çözünmüş Oksijen |
| EC | - | Elektriksel İletkenlik |
| Fe | - | Demir. |
| J | - | Akı |
| K _d | - | Dağılım Katsayısı |
| KOİ | - | Kimyasal Oksijen İhtiyacı |
| Mn | - | Mangan |
| N | - | Azot |
| NH ₄ -N | - | Amonyum Azotu |
| Ni | - | Nikel |
| NO ₃ -N | - | Nitrat Azotu |
| Pb | - | Kurşun |
| PO ₄ -P | - | Fosfat Fosforu |
| r | - | Korelasyon Katsayısı |
| TDS | - | Toplam Çözünmüş Madde |
| TN | - | Toplam Azot |
| TP | - | Toplam Fosfor |
| Zn | - | Çinko |

1. GİRİŞ

Yüzeysel su kalitesinin belirlenmesi insanların, diğer canlıların sağlıklarının ve ekolojik dengenin korunması açısından çok kritik öneme sahiptir. İnsan aktiviteleri sonucunda suda meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimler su kalitesini değiştirmektedir. Su kalitesindeki değişimler suyun kullanım amacını da etkilemektedir (Din 1999).

Bataklık ya da sazlık olarak tanımlanan sulak alanlar özellikleri, yararları ve içerdikleri biyolojik çeşitlilik yönünden büyük bir öneme sahiptirler. Çok büyük ekolojik öneme sahip bu alanlar, ne yazık ki günümüzde çeşitli etkilerle zarar görüp alansal olarak azalmaya ve kirlenmeye karşı karşıya kalmaktadır (Tsanis ve Prescott 1997). Ramsar Sözleşmesi kapsamına alınan ve Türkiye'nin önemli bir sulak alanı olan Uluabat Gölü, nüfusun, ekonominin, ve endüstrinin hızlı geliştiği bir havza içerisinde yer almaktadır. Özellikle il sınırları içerisinde yer alan Bursa Şehri, Türkiye'nin endüstriyel ve tarımsal açıdan en önemli illerinden biridir. Bu nedenle de Uluabat Gölü uzun yıllardan beri evsel, endüstriyel sularla ve yağmur sularının neden olduğu yüzeysel akışlar ile kirlenmektedir. Uluabat Gölü'nde yapılan çalışmalarda gölün su kalitesinin azaldığı, ötrofikasyonun meydana geldiği (Akdeniz 2005), Ayrıca, askıda katı madde konsantrasyonunun artması sebebiyle ışık geçirgenliğinde, göl hacmi ve yüzey alanında sürekli bir düşüş gözlemlendiği (Aksoy ve Özsoy 2002) belirlenmiştir. Bunların haricinde, son yıllarda yapılan çalışmalar da göl suyunda ve sedimentinde ağır metal kirliliği belirlenmiştir (Anonim 2006, Barlas ve ark. 2005, Kurtoğlu 2006). Havzada Orhaneli Çayı üzerinde yapımı devam eden hidroelektrik güç üretimi ve taşkın kontrolü amaçlı, Çınarcık Barajı'nın etkisiyle gelecekteki su seviyesinde meydana gelebilecek farklılık nedeni ile göl sistemi hidrolojik olarak ve su kalitesi yönünden tehdit altındadır.

İnorganik kirleticilerden bir grup olan ağır metaller ve bazı iz elementler, insan ve çevre sağlığı için oldukça zararlı bileşikler olması dolayısıyla, bu tez çalışması kapsamında ağır metallerin ve bazı iz elementlerin Uluabat Gölü'nde, su, yüzey sedimenti ve balık dokularındaki konsantrasyon seviyeleri aylık ve yıllık olarak incelenmiştir. Suda çözülmüş ve askıdaki formları ölçülmüştür. Yüzey sedimentinde ise ağır metallerin ve bazı iz elementlerin toplam konsantrasyonları, mobil haldeki, kolay serbest hale geçebilen, mangan-oksitlere bağlı ve organik maddeye bağlı

fraksiyonları incelenerek, sedimentten suya olan geçişleri ve balık (*Cyprinus carpio* ve *Esox lucius*) dokularındaki birikimleri irdelenmiştir. Gölün farklı noktalarından, gölü besleyen ve boşalmasını yapan akarsulardan, noktasal kirlilik kaynaklarından alınan numunelerde ağır metaller, bazı iz elementler ve diğer su ve sediment kalitesi parametreleri de ölçülerek, Uluabat Gölü su ve sediment kalitesi değerlendirilmiştir. Ağır metal ve bazı iz elementlerin dışında suda ve sedimentte diğer fiziksel ve kimyasal parametrelerin ölçülmesi, göl su kalitesindeki değişimin, ağır metal ve iz elementlerin hareketlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Ayrıca, elde edilen veriler kullanılarak gölün su kolonu boyunca değişimi, trofik seviyesi, kirleticilerin davranışları, toksik etkileri, noktasal kirlilik yükleri, geçmiş yıllara göre su kalitesi değişimi belirlenmiştir. Tüm veriler Coğrafi Bilgi Sistemi yardımıyla da haritalandırılıp, analiz edilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

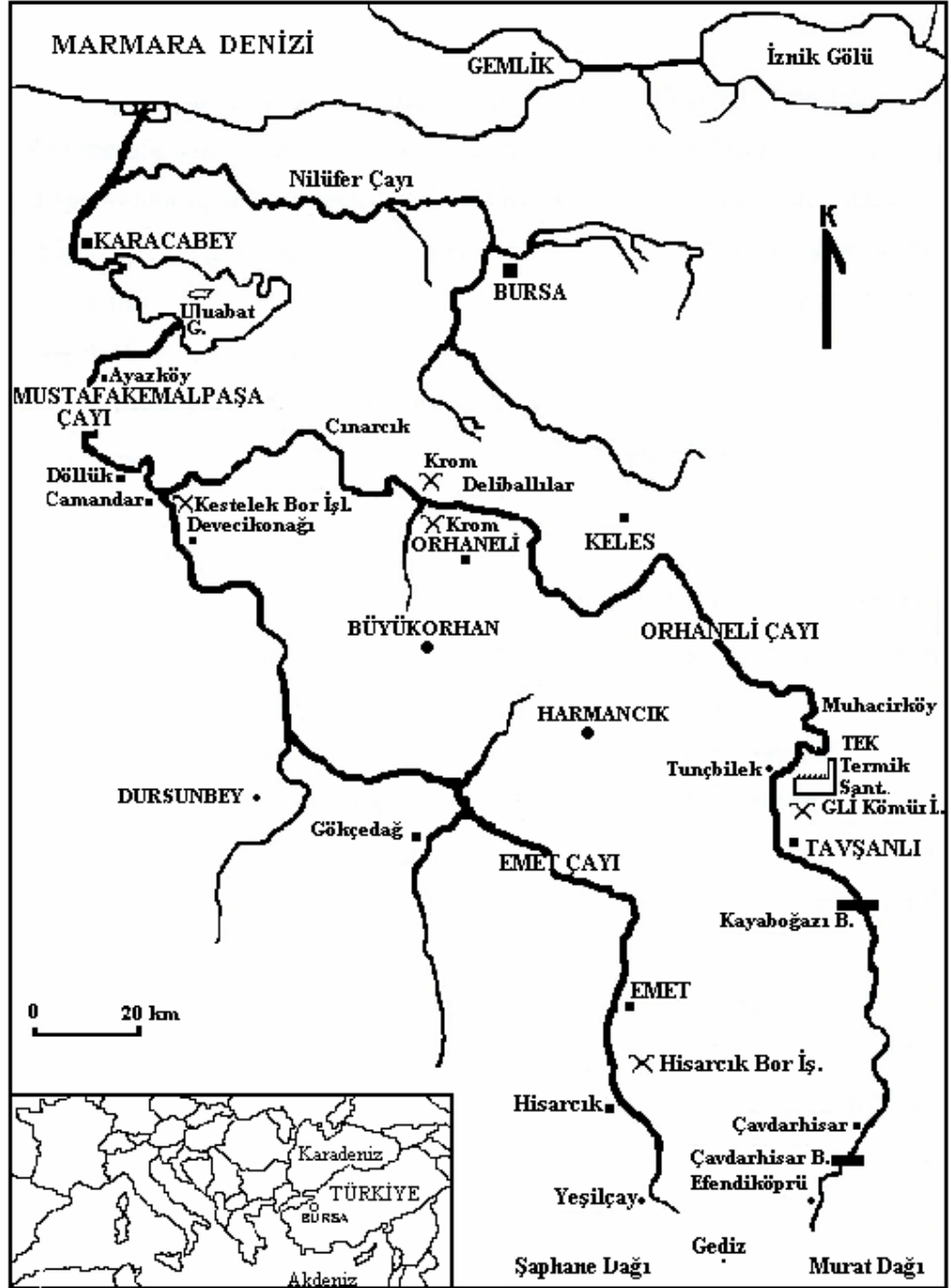
2. 1. Uluabat Gölü Konumu, Coğrafyası ve Hidrolojik Özellikleri

Uluabat (Apolyont) Gölü 40°12' Kuzey paraleli, 28°40' Doğu boylamında bulunmaktadır. Marmara Bölgesi'nde, Bursa il sınırları içerisinde bulunan Uluabat Gölü Bursa kent merkezinin 25 km batısında, Bursa-Balıkesir karayolunun güneyinde bulunmaktadır. Marmara Denizi'nin yaklaşık 20 km güneyinde, Manyas Kuş Gölü'nün yaklaşık 35 km doğusunda, Uludağ'ın (2543 m) yaklaşık 40 km batısında bulunan Uluabat Gölü'nün çevresindeki yerleşim merkezleri batıda Karacabey, güneybatıda Mustafakemalpaşa, güneyde Söğütalan ilçeleridir.

Susurluk Havzası'nın en önemli parçası olan Uluabat Gölü Havzası'nın sahip olduğu potansiyel su $2060 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ dir. Uluabat Gölü'nün Doğu-batı yönündeki uzunluğu 24 km, kuzey-güney yönündeki genişliği 12 km'dir. Deniz seviyesinden olan yüksekliği 9 m'dir. Gölün ortalama derinliği 3 m'dir. Gölün yüzey alanı, maksimum su seviyesinde 161 km^2 , minimum su seviyesinde 138 km^2 olarak belirlenmiştir (Aksoy ve ark. 2002). Gölün yüzey alanı yıllara ve mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Gölün yüzey alanı için bu güne kadar verilmiş en yüksek değer 240 km^2 , en düşük değer 120 km^2 olarak ölçülmüştür. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Uzaktan Algılama Merkezinin 1984 ve 1993 yıllarının haziran aylarına ait Landsat-5 TM uydusundan alınan görüntüler üzerinde yaptığı çalışma ile 1984 yılı için 133.1 km^2 1993 yılı için ise 120 km^2 olduğu tespit edilmiştir. 2008 Mayıs ile 2009 Mayıs tarihleri arasında yapılan tez çalışması kapsamında, gölün su seviyesi maksimum 4,5 m, minimum 0,7 m, ortalama 2,41 m olarak belirlenmiştir. Uluabat Gölü'nün güneybatı kısmında, Mustafakemalpaşa Çayı ağzı ve çevresinde Mustafakemalpaşa Çayı'ndan gelen sedimentin çökeli mi nedeniyle büyük ve geniş bir delta oluşmuştur. Su seviyesinin düştüğü aylarda, deltada yoğun bir tarımsal faaliyet gözlenmektedir. Göl içerisinde alanları 0,4 ha ile 231,34 ha arasında değişen büyüklüklerde 8 adet ada bulunmaktadır (Aksoy ve ark. 2002).

Mustafakemalpaşa Çayı, gölü besleyen en önemli akarsudur. Çayın debisi ve su kalitesi iklimsel koşullara (yağış miktarı) bağlı olarak değişiklik göstermekte, 1939 ile 1969 yılları arasında 30 yıllık ortalamaya göre taşıdığı su miktarı $500 \times 10^6 \text{ m}^3$ ile $4000 \times 10^6 \text{ m}^3$ arasında değişim göstermiştir (Dalkıran ve ark. 2006). Mustafakemalpaşa

Çayı Havzası drenaj alanı 10756 km² olup, gölün güneyindeki Emet Çayı ve güneydoğusundaki Orhaneli Çayı'nın Çamandar Köyü yakınlarında birleşmeleri ile meydana gelmektedir. Mustafakemalpaşa Çayı Havzası içerisinde Bursa'ya bağlı Mustafakemalpaşa, Orhaneli, Keles, Büyükorhan, Harmancık; Kütahya'ya bağlı Tavşanlı, Emet, Hisarcık, Domaniç, Çavdarhisar; Balıkesir'e bağlı Dursunbey ilçeleri bulunmaktadır. Orhaneli Çayı (eski adı Adranos) Kütahya'nın Gediz İlçesi'nin yaklaşık 8 km kuzey-kuzeydoğusunda Tavşan Dağı, Murat Dağı ve Koca Dağdan ortalama 1200 m kotundan üç kol halinde doğup kuzeybatıya doğru akarlar. Bu kollardan Bedir Deresi üzerindeki Çavdarhisar Barajı Çavdarhisar Ovası'nı, Barajı Dere üzerindeki İlcik Barajı ve üçüncü kol üzerindeki Kayaboğazı Barajı Örencik Ovası'nın bir kısmı ile Tavşanlı Ovası'nı sulamaktadırlar. Orhaneli Çayı Camandar Köyüne kadar 276 km uzunluğa sahiptir. Mustafakemalpaşa Çayı'nın diğer kolu Emet Çayı, yine Gediz İlçesi'nin kuzeybatısında yer alan Şaphane Dağı'nda Gediz'den yaklaşık 10 km uzakta ve 1100 m kotundan doğar. Emet Çayı'nın toplam uzunluğu 180 km'dir ve Çayçinge, Hisarcık, Emet'ten geçip kuzeye doğru akarak Camandar Köyüne ulaşır. Gölü drene eden başlıca akarsu Simav (Susurluk) Çayı ile birleşen Kocasu Çayı'dır. Şekil 2.1' de Uluabat Gölü ve Havzası görülmektedir (Dalkıran 2006). Kocasu Çayı'nın debisi kışları oldukça yüksektir. Bu nedenle Kocasu Çayı'ndan geriye doru akıntılar meydana gelmektedir. Geriye doğru meydana gelen akıntı gölün çıkışından sonra karışan ve Nilüfer Çayı'nın Simav Çayı ile birleşimi sonrasında karışan kirleticilerin göle taşınmasına neden olmaktadır (Dalkıran ve ark. 2006).



Şekil 2. 1. Uluabat Gölü ve Havzası (Dalkıran ve ark. 2006)

Göluyağı'ndan geri dönüş yapan sular, göl aynasına düşen yağış, göl aynasından buharlaşma ve sulama suları göz önüne alınarak oluşturulan su bütçesi çizelge 2. 1 ve çizelge 2. 2.'de özetlenmiştir.

Çizelge 2. 1. Uluabat Gölü'nü besleyen giren sular

| Kaynak | Minimum (10 ⁶ m ³ /yıl) | Maksimum (10 ⁶ m ³ /yıl) | Ortalama (10 ⁶ m ³ /yıl) | Yaklaşık Payı (%) |
|--------------------------|--|---|---|----------------------|
| Mustafakemalpaşa Çayı | 25,14 | 2413,45 | 1550,68 | 89 |
| Göl aynasına düşen yağış | 71,65 | 120,32 | 92,72 | 5 |
| Göl ayağından gelen | 24,14 | 227,31 | 97,58 | 5 |

Akdeniz, 2005. Uluabat Gölü Su Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Analizi, Yüksek Lisans Tezi

Çizelge 2. 2. Uluabat Gölü'nden çıkan sular

| Çıkış | Minimum (10 ⁶ m ³ /yıl) | Maksimum (10 ⁶ m ³ /yıl) | Ortalama (10 ⁶ m ³ /yıl) | Yaklaşık Payı (%) |
|------------------|--|---|---|----------------------|
| Göl Ayağı | 392,37 | 2531,8 | 1553,2 | 89 |
| Buharlaşıma | 162,56 | 195,48 | 176,2 | 10 |
| Uluabat Sulaması | 6,5 | 17,78 | 11,53 | 0,5 |

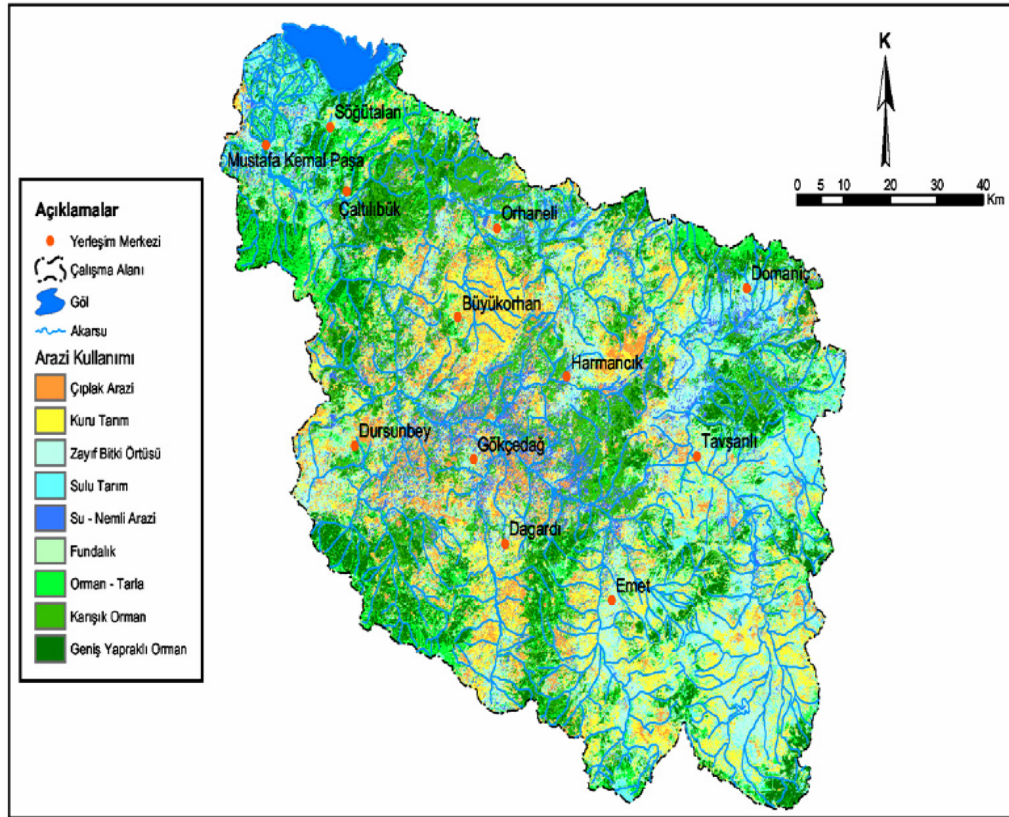
Akdeniz, 2005. Uluabat Gölü Su Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Analizi, Yüksek Lisans Tezi.

Göl suyunun yenilenme süresi göldeki konuma göre değişiklik göstermektedir. Gölün batı taraflarında su 2 ila 5 hafta içerisinde yenilenmekte iken, doğu taraflarında bu süre 6 aya kadar uzayabilmektedir (Akdeniz 2005).

2. 2. Uluabat Gölü Havzası Arazi Kullanım Durumu

Göl ve akarsu havzalarının arazi kullanım durumu, bu alanlardan kaynaklanabilecek yayılı kirlilik yüklerinin ve sediment taşınımının (erozyon) belirlenebilmesi açısından önem taşımaktadır. KHGM tarafından hazırlanmış 1/100000 ölçekli toprak haritalarının sınıflandırmasına dayandırılarak ve Mustafakemalpaşa Çayı Havzası'nın Landsat-5 uydu görüntüsü kullanılarak oluşturulan arazi kullanım haritası oluşturulmuştur (Anonim 2002). Arazi kullanım haritasında çıplak arazi, kuru tarım, zayıf bitki örtüsü, sulu tarım, su-nemli arazi, fundalık, orman-tarla, karışık orman ve geniş yapraklı orman olmak üzere 9 farklı sınıf tanımını içermektedir. Mustafakemalpaşa Çayı Havzası arazi kullanım haritası şekil 2.2'de verilmiştir. Mustafakemalpaşa Çayı Havzası arazi kullanım sınıflamasına ait alanlar ve toplam alan içindeki yüzdeleri çizelge 2. 3' te gösterilmiştir. Havza alanı genelindeki arazi kullanımı haritasından, havzanın büyük bir

kısının (genellikle topoğrafyanın yumuşak olduğu alanlar) tarımsal amaçlı olarak kullanıldığı görülmektedir. Havzadaki doğal bitki örtüsünün gözlemlendiği alanların büyük bir kısmını otlaklar, geri kalan kısmını ise ormanlık alanlar kaplamaktadır. Havza içinde önemli büyüklükte bir yerleşim alanı bulunmamaktadır. Emet Çayı alt havzasında tarımsal amaçlı arazi kullanımının Orhaneli Çayı alt havzasındakine oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Buna karşın Orhaneli Çayı drenaj alanındaki mera alanları Emet Çayı drenaj alanından daha fazladır. Doğal bitki örtüsünü oluşturan ormanlık alanların ise Emet Çayı drenaj alanında yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 2. 2. Mustafakemalpaşa Çayı Havzası arazi kullanım haritası (Anonim 2002)

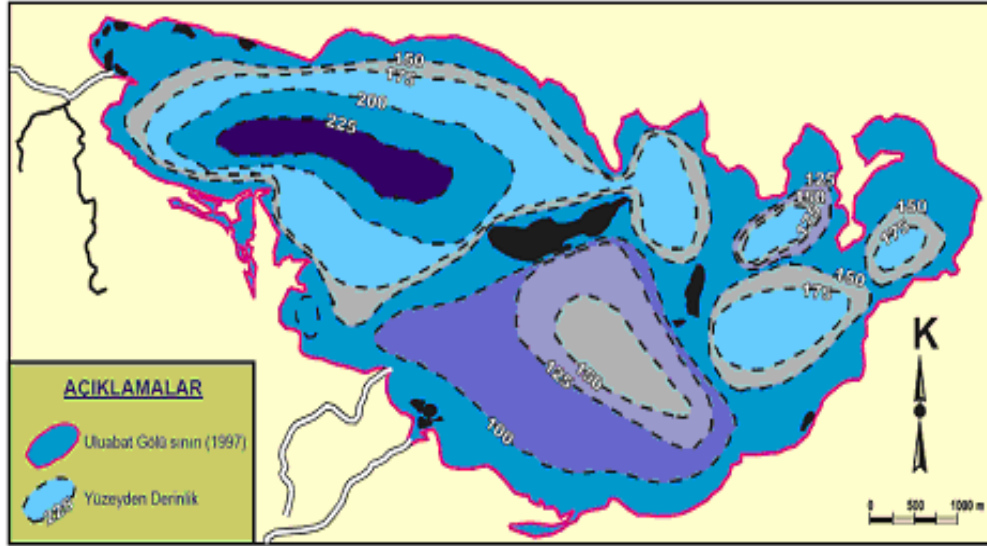
En fazla yüzey alanına sahip arazi sınıfı ise kuru tarım alanları ile karışık orman sınıfıdır. Arazi sınıfları ile ilgili olarak drenaj alanı içinde bütün sınıfların yaklaşık aynı oranda temsil edildiklerini söylemek mümkündür. Çalışma alanının %10'a yakın bir kısmı ise erozyona açık çıplak arazidir.

Çizelge 2. 3. MKP Çayı Havzası arazi kullanım alanları (Anonim 2002)

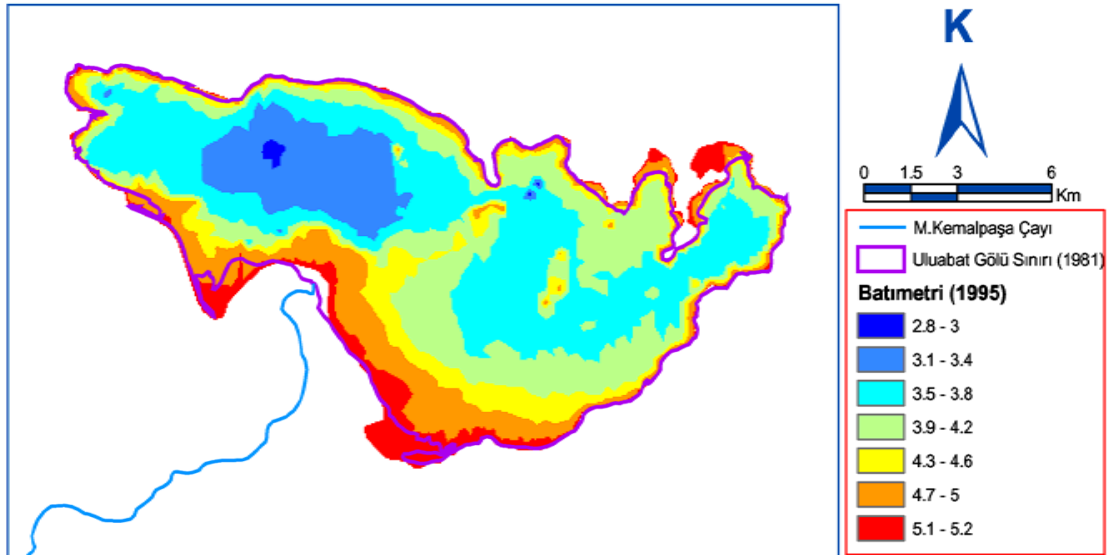
| Arazi Tipi | Alan km ² | % |
|----------------------|-------------------------|-------|
| Çıplak Arazi | 1044,41 | 9,7 |
| Kuru Tarım | 1458,42 | 13,55 |
| Zayıf Bitki Örtüsü | 1277,89 | 11,87 |
| Sulu Tarım | 1136,13 | 10,55 |
| Su-Nemli Arazi | 891,34 | 8,28 |
| Fundalık | 1273,36 | 11,83 |
| Orman-Tarla | 1090,8 | 10,13 |
| Karışık Orman | 1413,61 | 13,13 |
| Geniş Yapraklı Orman | 1178,73 | 10,95 |
| Toplam | 10764,69 | 100 |

2. 3. Uluabat Gölünün Morfometrisi

Göllerin, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin önemli bir bölümü göl veya göl havzasının morfolojik özellikleri ile yakından ilgilidir. Bu nedenle gölün 1995 ve 1997 yıllarında yapılan batimetrik ölçüm çalışmalarına değinilmiştir. Genel bir yaklaşımla tepe noktası güneye bakan bir üçgen şekline sahip olan Uluabat Gölü'nde bulunan adalar, göl taban topoğrafyasını da etkilemişlerdir. Çok sığ göller grubunda tanımlanabilecek olan Uluabat Gölü'nün en büyük derinliği, 1997 Ağustos ayı ölçümlerine göre 2,25 m dolayındadır (Anonim 2002). Genel olarak 1,5 m derinlik, gölün büyük bir kısmında görülen derinliktir. Adaların konumuna bağlı olarak göl içinde 5 ayrı noktada derinleşmeler görülmektedir (Şekil 2. 3. Uluabat Gölü'nün 1997 yılına ait batimetrik haritası). Şekil 2. 4.'te gösterilen Devlet Su İşleri tarafından yapılan 1995 yılına ait batimetrik haritası ile kıyaslandığında taban topoğrafyasında önemli bir farkın bulunmadığı ortaya çıkmaktadır. Gölün oluşumu ve göl içindeki adaların konumu nedeniyle engebeli bir tabana sahip olan gölde taban sedimanlarının tane boyu dağılımının da homojen olmadığı ortaya konmuştur. Bu tür bir taban topoğrafyasında doğal olan bu dağılıma göre, su hareketinin yüksek enerjili olduğu alanlarda daha iri tanelere rastlanırken, akımın göl çıkışına doğru enerjisinin düşmesi ile kil boyu malzemede artış görülmektedir (Anonim 2002).



Şekil 2. 3. Uluabat Gölü'nün 1997 yılına ait batimetrik haritası (Anonim 2002)



Şekil 2. 4. Uluabat Gölü'nün 1995 yılına ait batimetrik haritası (Anonim 2002)

2. 4. Uluabat Gölü Meteorolojik Özellikleri

Havzada hakim tek bir iklim olmamakla birlikte yağışların kış ve bahara isabet etmesi tüm havzanın ortak özelliğidir. Marmara Denizi'nden güneye içerilere doğru gidildikçe, Mustafa Kemalpaşa'da 684 mm olan yıllık yağış yüksekliği Tavşanlı - Emet hattında 486 mm'ye gerilemektedir. Hava sıcaklığı da aşağı havzada da ılıman iklim karakteri gösterirken yukarı havzada karasal iklim karakterine bürünmektedir. Aşağı-Yukarı havza değişimi, yağış konusunda da yağışın türü açısından göze çarpmaktadır. Aşağı havzada yağmur hakim yağış olurken, yukarılara doğru yağış soğuk mevsimlerde kara dönüşmektedir (Meriç ve ark. 1994).

Tez çalışması kapsamında, Bursa Meteoroloji İstasyonunda 1975 ile 2006 yılları arasındaki basınç, sıcaklık, yağış, rüzgar hızı ve buharlaşma parametrelerinin uzun yıllar ortalama değerleri değerlendirilmiştir. Uzun yıllar ortalamasına göre en yüksek sıcaklık 2000 yılının Temmuz Ayı'nda 43,8 °C, en düşük sıcaklık 1985 yılının Şubat Ayı'nda -16,4 °C olarak belirlenmiştir. Çizelge 2. 4'te Bursa Meteoroloji İstasyonu 1975 ile 2006 yılları ölçümleri uzun yıllar ortalamaları gösterilmiştir (Anonim 2010 a).

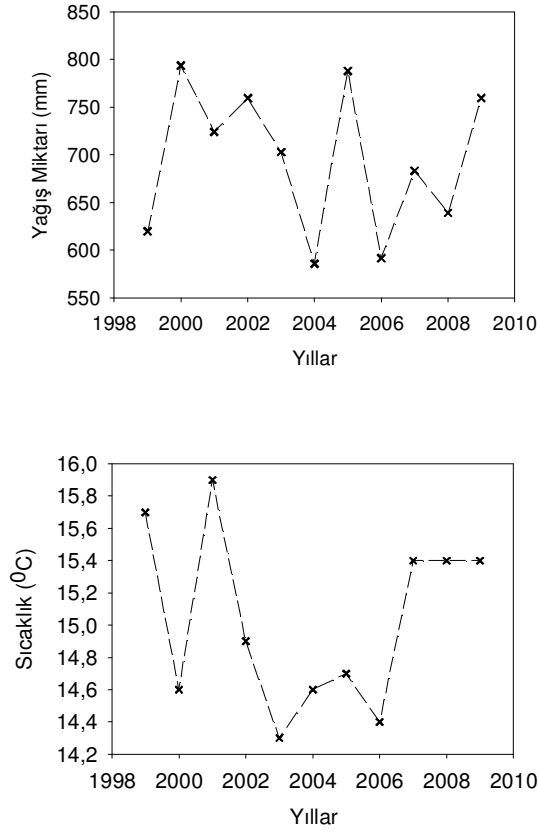
Çizelge 2. 4 Bursa Meteoroloji İstasyonu 1975-2006 yılları ölçümleri uzun yıllar ortalamaları (Anonim 2010 a)

| Parametre | Ortalama |
|---------------------------|----------|
| Basınç (hPa) | 1004,4 |
| Sıcaklık (°C) | 14,5 |
| Toplam Yağış Miktarı (mm) | 673,9 |
| Rüzgar Hızı (m/s) | 2 |
| Buharlaşma (mm) | 1401,7 |

Bursa Meteoroloji İstasyonunda son 10 yıllık sıcaklık ve yağış değerleri alınarak inceleme yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda en yüksek ve en düşük sıcaklıklar 15,9 ve 14,3 olarak 2001 ve 2003 yıllarında bulunmuştur. Yağış miktarları ise en yüksek, 793,4 mm olarak 2000 yılında ve en düşük 585,8 mm olarak 2004

yılında belirlenmiştir. Şekil 2. 5'te 1999 ile 2009 yılları arası sıcaklık ve yağış miktarları değişimi gösterilmiştir.

Uluabat Gölü'ne yakınlıkları benzer olan ve ölçümleri saatlik gerçekleştiren iki meteoroloji istasyonuna ait verilerin tez çalışması kapsamında numune alınan aylar arasındaki ölçümlerinin mevsimsel ve yıllık ortalama değerleri alınarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2. 5. 1999 ile 2010 yılları arası sıcaklık ve yağış miktarları değişimi

Sıcaklık ve basınç değerleri arasında çok büyük farklılıklar bulunmamıştır ancak toplam yağış yüksekliği ve rüzgar hızı değerleri arasında farklılıklar görülmüştür. Görükle ve Karacabey Meteoroloji İstasyonlarına ait ölçümlerin yıllık ve mevsimsel ortalama değerleri çizelge 2. 5'te gösterilmiştir (Anonim 2010a, Anonim 2010b). Aşağı havzanın en etkin rüzgarı lodos, en sürekli rüzgarı da kuzey rüzgarları olmaktadır. Hakim olan rüzgar Kuzey – Güney yönünde (% 25,1), ikinci derecede hakim rüzgar ise Güneybatı – Kuzeydoğu yönündedir (% 12,9). Üçüncü önemli

rüzgar yönü ise hakim rüzgarın doğrultusunda fakat ters yönde Güney – Kuzey (% 12,9) yönündedir. Bu verilere göre rüzgarlı günlerin %38’inde esinti doğrultusunun Kuzey – Güney olduğu söylenebilir (Karacaoğlu 2000).

Çizelge 2. 5. Görükle ve Karacabey Meteoroloji İstasyonlarına ait ölçümlerin yıllık ve mevsimsel ortalama değerleri (Anonim 2010a, Anonim 2010b)

| İst | Parametre | Yıllık Ortalama | Yaz | Sonbahar | Kış | İlkbahar |
|-----------|------------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Görükle | Sıcaklık ($^{\circ}$ C) | 14,9176 | 24,4248 | 15,8379 | 6,8780 | 12,5295 |
| | Rüzgar hızı (m/s) | 1,4306 | 1,7714 | 1,0964 | 1,5908 | 1,2639 |
| | Basınç (Bar) | 1013,6418 | 1009,5523 | 1015,9228 | 1015,6799 | 1013,4122 |
| | Toplam Yağış Yüksekliği (mm) | 685,6000 | 11,4000 | 219,4000 | 299,2000 | 155,6000 |
| Karacabey | Sıcaklık ($^{\circ}$ C) | 15,3643 | 24,4213 | 16,1177 | 7,1065 | 12,9655 |
| | Rüzgar Hızı (m/sn) | 3,0706 | 4,1229 | 2,7414 | 2,7898 | 2,7584 |
| | Basınç (bar) | 1003,3149 | 999,6110 | 1005,6570 | 1005,1184 | 1002,9814 |
| | Toplam Yağış Yüksekliği (mm) | 265,6000 | 9,6667 | 78,0667 | 122,3667 | 55,5667 |

2. 5. Uluabat Gölü Biyolojik Çeşitliliği

2 Şubat 1971 tarihinde İran’ın Ramsar kentinde kabul edilen ve uluslararası bir sözleşme olan Ramsar Sözleşmesi’nin amacı, dünya üzerindeki değerli sulak alanların koruma altına alınmasıdır. Biyolojik çeşitlilik bakımından çok zengin olan Uluabat Gölü 1998 yılında Ramsar Alanı ilan edilmiştir.

Canlı çeşitliliği, gölün uygun iklim koşullarına, geniş sazlık alanlara, açık su yüzeyine sahip olması ve besin maddesi bakımından zengin olmasından kaynaklanmaktadır (Karacaoğlu 2000).

Uluabat Gölü gerek plankton ve dip canlıları, gerek sucul bitkileri ve gerekse balık ve kuş populasyonları açısından ülkemizin en zengin göllerinden biridir. Gölde 21 değişik balık türünün varlığı bu zenginliğin en önemli göstergelerindedir. Ülkemizdeki diğer göllerle kıyaslandığında bu sayı oldukça yüksektir. Bu türler içerisinde ticari amaçla avlananlardan başlıcaları turna (*Esox lucius* L.) ve sazan (*Cyprinus carpio* L.) balıklarıdır. Az miktarda da olsa yayın (*Silurus glanis* L.), tatlı su kefali (*Leuciscus cephalus* L.) ve kızıl kanat (*Scardinius erythrophthalmus* L.) balıkları da avlanmaktadır. Eskiden yılan balığının (*Anguilla anguilla* L.) gölde bol miktarda

bulunduğu, ancak son 25 yıldır nadiren rastlandığı belirtilmektedir. Göldeki en önemli su ürünlerinden biri de kerevittir (*Astacus leptodactylus* Eschscholtz). Geçmişte yılda ortalama 700 ton kerevit avlanmakta iken, 1986 yılında ortaya çıkan mantar hastalığı nedeniyle kerevit üretimi tamamen bitmiştir. Söz konusu bu hastalığa kadar Uluabat Gölü'nde avlanan kerevit miktarı, Türkiye'nin toplam kerevit üretiminin % 30'unu karşılamaktaydı. Yöredeki balıkçılar son birkaç yıldır hastalığın etkisinin ortadan kalkmaya başladığını ve avlanan kerevit miktarında artışlar olduğunu belirtmektedirler. Avlanan kerevitlerin tamamı yurtdışına ihraç edilmektedir (Karacaoğlu 2000). Göldeki balıkçılık ile ilgili olarak diğer bir sorun da göle sonradan aşılana İsrail Sazanı (*Carassius gibelio*) aşırı üreyerek göldeki Turna ve diğer küçük balıkların sayısında önemli azalmalara neden olmuştur (Emiroğlu ve ark. 2009).

Uluabat Gölü, kuş varlığı yönünden, sadece ülkemizin değil, Avrupa ve Ortadoğu'nun da en önemli sulakalanlarından biridir. Anadolu'ya kuzeybatıdan giren kuş göç yolu üzerinde, yer alması, önemli kuş yaşam alanlarından Manyas Gölü'ne çok yakın mesafede (35 km) bulunması, besin maddelerince oldukça zengin olması ve uygun iklim koşullarının var olması, değişik türden kalabalık kuş gruplarının alanda beslenmesine, kışlamasına ve üremesine olanak sağlamaktadır. Uluabat Gölü, dünya çapında yok olma tehlikesi altında olan kuş türlerinden küçük karabatağın (*Phalacrocorax pygmeus Pallas*), tepeli pelikanın (*Pelecanus crispus* Bruch), bıyıklı sumrunun (*Chlidonias hybridus*), pasbaş pakta'nın (*Aythya nyroca*) ülkemizdeki en önemli üreme alanıdır. Bu türlerin dışında Uluabat Gölü'nde 85 türden 5000 çift civarında üreyen kuş bulunmaktadır. Uluabat Gölü kış ortası su kuşu sayımlarına göre 1996 yılında gölde 429 437 adet su kuşu sayılmışken, 1999 yılında bu sayı 288 452 ve 2001 yılında 42 951 olarak gerçekleşmiştir. 2002 sayım sonuçları yaklaşık 25 000 civarındadır (Karacaoğlu 2000), 1996 yılında kaydedilen 429 437 adet kuş sayısının, 1970'ten bu yana Türkiye'de bir sulak alanda kaydedilmiş en yüksek sayı olduğunu bildirmiştir.

Uluabat Gölü, Akdeniz fitocoğrafya bölgesine dahil, Türkiye'deki en geniş beyaz nilüfer (*Nymphaea alba*) yataklarına sahip olmasıyla son derece önemli bir alandır. Büyük ve sığ bir göl olan Uluabat, sucul bitkiler açısından Türkiye'deki en zengin sulakalanlardan birisidir. Gölün hemen hemen bütün kıyıları geniş sazlıklarla, sığ kesimleri ise su içi bitkileri ile kaplıdır. Islak çayırlar, söğütler, ılgınlar, hayıtlar,

sucul bitkiler, sazlıklar, nilüfer yatakları ve su sümbülleri yaygın olarak görülen bitki türleridir. Bütün sulak alanlarda olduğu gibi Uluabat Gölü'nde kıyılarda görülen en yaygın bitki gurubu kamış ve sazdır (*Typha sp.*, *Phragmites australis*). Göldeki bitki örtüsünün diğer baskın türleri su sandalye sazı (*Schoenoplectus lacustris*), hasır sazı (*Butomus umbellatus*) dır. Nilüfer yatakları, gölün kuzeydoğu kıyılarında ve MKP Çayı'nın göle giriş ağzından sedde boyunca, Atabay Pompa İstasyonu'na kadar ve Yenikaraağaç ana sulama pompa istasyonunun doğusunda olmak üzere çok geniş alanları kaplamaktadır. Tilki kuyruğu (*Ceratophyllum demersum*), gölün güney batı ucunda ve MKP Çayı'nın döküldüğü yerlerde, göl soğanları (*Leucojum aesticum*) ise gölün kuzeydoğu ve doğu kıyılarında görünmeye ve korunmaya değer saf topluluklar oluşturmaktadır. Özellikle Fadıllı Köyü alanında ulusal ölçekte hassas türlerden kabul edilen *Gratiola officinalis* bulunmaktadır. Gölün güneybatı kesimlerinde ılgınlar (*Tamarix symrnensis*), tuzcul karakterli *Salicornia* üyeleri, *Artemisia santericum*, *Hordeum marinum* ve *Bromus hordeaceus* yaygındır. MKP Çayı'nın döküldüğü yerlerde söğüt (*Salix alba*) ve ılgınlardan oluşan bitki toplulukları bulunmaktadır (Karacaoğlu 2000).

2. 6. Noktasal ve Yayılı Kirlilik Kaynakları

Mustafakemalpaşa Çayı'ndaki askıda katı madde sorununun en büyük kaynağı çeşitli işletmelerden deşarj edilen atıksulardır. Çayda ölçülen yüksek askıdaki katıların kaynakları, doğal erozyon olayından başka Orhaneli Çayı üzerindeki Keles Linyitleri İşletmesi, Tunçbilek Kömür işletmesi, Tunçbilek Termik Santrali ve Emet Çayı üzerinde Emet Kolemanit (kirletici olarak As ve B içermektedir) işletmeleri sayılabilir. Askıdaki katı madde içinde yer alan kömür tozu, kül ve cürufun tane boyutunun küçüklüğü, sürekli ve yoğun şekilde deşarj edilmesi çayın BOI₅ değerinin standart değerinin üzerinde değerlere yükselmesine ışık geçirgenliğinin azalmasına, demir konsantrasyonlarının artmasına ve düşük pH'larda suyun deşarj edilmesine sebep olmaktadır. Ayrıca, Camandar ve MKP sınırında bulunan kum ocakları askıda katı madde yükünü arttırmaktadır. 1984, 1993 ve 1998 yıllarında incelenen Landsat Uydu görüntülerine göre 14 yıllık bir süre içinde göl yüzey alanının ve hacminin % 12 azalmış olduğu belirlenmiştir. Göldeki sedimentasyon hızının 20. yy'da 0.44 cm/yıl

olduğu, MKP ayı'nın taşımış olduğu askıda katı madde y¼k¼n¼n de son 30 yıldır 1 258 143 ton/yıl olduğu belirlenmiştir (Dalkıran ve ark. 2006).

T¼rkiye'de başlıca bor ¼retimi, K¼tahya ile Balıkesir il merkezleri arasında 200 km uzunlukta ve 70-120 km enindeki bir kuşak boyunca yer alan Bigadiç, Mustafakemalpaşa, Emet ve Kırkı y¼relerinde yapılmaktadır. Bor işletmelerinde 1985 yılında DSİ tarafından yapılan fiziksel arıtma tesisinden sonra konsantrasyonlar MKP ayı'nda 3 mg/l'ye, Uluabat G¼l¼'nde 1 mg/l'ye kadar d¼řm¼řt¼r.

MKP ayı Havzası içerisinde 67 yerleşim merkezi bulunmaktadır. Bu yerleşim merkezlerinin en ¼nemli olanı Tavşanlı'nın kanalizasyon sisteminin deşarjı her hangi bir arıtma yapılmadan Orhaneli ayı'na deşarj edilmektedir. Ayrıca MKP ayı'nın kanalizasyon sistemi, 54 adet fiziksel arıtmadan geçirilmiş deri işleme tesisi atıksuları, ¼ farklı noktadan MKP ayı'na deşarj edilmektedir. Bunlara ek olarak 27 adet peynir işletmesi, MKP Mezbahası da atıksularını MKP ayı'na deşarj etmektedir (Dalkıran, ve ark. 2006).

Mustafakemalpaşa'da bulunan Tat Konserve Fabrikası'nın yıllık 18720 m³ atıksuyu arıtma tesisinden geçtikten sonra kanalla Mustafakemalpaşa ayı'na oradan da Uluabat G¼l¼'ne ulaşmaktadır. Lezzo Konserve Fabrikası'nın 8500 m³/g¼n'l¼k atıksuyu herhangi bir arıtmaya tabi tutulmadan DSİ'nin Azatlı drenaj kanalına oradan da Uluabat G¼l¼'ne deşarj edilmektedir (Demir ve ark. 1998, Akdeniz 2005).

Karacabey ve çevresinde bulunan Un fabrikaları; Besintaş, Dramalı ve Karun Un Fabrikalarında genellikle evsel atıksular mevcuttur. Bu atıksular DSİ'nin Tahliye-10 adlı kanalına deşarj edilmekte, burada toplanan atıksular DSİ'nin Paşaayırı Pompa İstasyonu aracılığıyla Canbolu Deresi'ne deşarj edilmektedir. Canbolu Deresi Marmara Denizi'ne Kocadere aracılığıyla ulaşmaktadır. S¼TAŐ AŐ; yıllık evsel ve end¼striyel atıksu toplamı g¼nl¼k olarak 500 m³ olup, herhangi bir arıtmaya tabi tutulmadan Uluabat G¼l¼ ayağına, Nestle DSİ'nin Tahliye-10 adlı kanalına deşarj edilmekte, burada toplanan atıksular DSİ'nin Paşaayırı Pompa İstasyonu aracılığı ile Koca Dere'ye akıtılmaktadır. Vatan Konserve Fabrikası yıllık 270000 m³ evsel ve end¼striyel nitelikli atıksu fiziksel bir elekten geçirilerek DSİ'nin Tahliye-8 adlı kanalına deşarj edilmekte ve bu atıksu Azatlı drenaj kanalı ile Uluabat G¼l¼'ne ulaşmaktadır (Demir ve ark. 1998, Akdeniz 2005). Şubat-Mart-Nisan aylarında y¼kselen Kocası Deresi tersine akarak Uluabat G¼l¼'ne bu atıksuları taşımaktadır.

Akçalar Beldesi'nde bulunan mezbaha atıksuları çökeltme havuzundan geçirildikten sonra arıtılmadan, Dona Gıda A.Ş.'nin atıksuları arıtılmadan ve Kereviş A. Ş.'nin arıtılmadan geçirilen atıksuları Akçalar Dersi'ne deşarj edilmekte ve Ulubat Gölü'ne ulaşmaktadır.

Uluabat Gölü çevresinde bulunan 16 adet yerleşim merkezi, özellikle de göl kıyısında bulunan Gölyazı ve Eskikaraağaç Köyleri'nin evsel atıksuları arıtılmadan, Turbel Gıda A.Ş.'nin 307 m³/gün evsel ve endüstriyel atıksuyu mevcut arıtma tesisinden geçtikten sonra Uluabat Gölü'ne deşarj edilmektedir (Demir ve ark. 1998).

Uluabat Gölü suyu Mustafakemalpaşa Ovası'nın sulaması için kullanılmaktadır. 1998 ve 1999 yılları arasında 19,37×10⁶ m³ ve 22,95 10⁶ m³ su sulama amaçlı olarak kullanılmıştır. Tarımın çok önemli bir yer tuttuğu Mustafakemalpaşa'da gübreleme ve tarımsal ilaçlamalar nedeni ile sulamadan dönen yüzey suları da gölde besin maddesi, pestisitler ve ağır metaller açısından kirliliğe neden olmaktadır (Dalkıran 2006). DSİ'ye ait Atabay, Karaoğlan ve Uluabat Sulama Kanalları, endüstriyel atık suların bu kanallara deşarj edilmeleri ve sulamadan dönen suların içeriğinde bulunan tarımsal gübre ve ilaçlar nedeni ile noktasal kirlilik kaynağı olarak değerlendirilip izlenmiştir. Ayrıca, bir sanayi şehri olan Bursa'da son yıllarda yapılan çalışmalar, atmosferin özellikle ağır metal ve iz elementler açısından önemli bir kirlilik kaynağı olduğunu göstermiştir (Taşdemir ve ark. 2006).

2.7. Ağır Metaller ve Dünyada ve Ülkemizde Yapılan Çalışmalar

Ağır metaller, yoğunluğu 5 g/cm³'ten büyük olan metallerdir. Sularda bulunan major iyonlara (SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻, Mg²⁺, Ca²⁺, gibi) göre çok daha düşük konsantrasyonlarda oldukları için genellikle iz elementler olarak tanımlanmaktadırlar (Radojevic ve Bashkin 1999). Ağır metal ve iz elementlerin bazıları (Hg, Pb, Cd, Ni, As, Sn gibi) insanlar ve diğer organizmalar için oldukça toksiktir ve yüzeysel sularda yüksek konsantrasyonlarda bulunması istenmez. Bununla birlikte Zn, Fe, Cu, Co ve Mo gibi elementler, canlılar için yararlıdırlar. Ancak bu elementlerin aşırı miktarlarda bulunmaları bitkiler, hayvanlar ve insanlar için zararlı etkilere neden olmaktadır (Radojevic ve Bashkin 1999, He ve ark. 2005). Ağır metallerin, insanlarda, dolaşım bozukluğu, böbrek, karaciğer gibi bazı iç organlarda, sinir sisteminde, deride

rahatsızlıklara, kansere neden olduğu ve kemik gelişimini etkilediği bilinmektedir (Karaer 1996, Sax ve Nostrand 1974, Aykan ve ark. 1990, Şengül ve Müezzinoğlu 2001, Caussy ve ark. 2003, Burger ve Gochfeld 2003). Son 30 yıldır yüzeysel sular tarımsal ve endüstriyel kaynaklı bozunmayan maddelerle kirletilmektedir. Türkiye’de de birçok sulak alan çeşitli ağır metal türleri ve bazı iz elementler ile kirlenmektedir (Ayaş ve Kolankaya 1996.). Endüstriyel atıksular ve kanalizasyon deşarjları, dökülen kimyasal atıklar, atmosfer kaynaklı çökelmeler, balıkçı motorlarından kaynaklanan benzin atıkları, tarım yapılan alanlarda kullanılan kimyasal gübre ve ilaçlar, ağır metal kirliliğine neden olmaktadır (He ve ark. 2005, Rashed 2001). Ayrıca, bazı ağır metaller (As, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Pb, Mo, Ni, Se, Zn) su havzasının doğal toprak yapısından da yüzeysel sulara karışabilmektedir (He ve ark. 2005, Chen ve ark. 2000). Yüzeysel sular için USA-EPA’nın öncelikli kirleticiler listesinde, başlıca sekiz elemente öncelik verilmiştir. Bunlar, As, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn’dur. Bu elementler, Kanada ve İngiltere gibi ülkelerin su ve sediment kalite kriterlerinde yer almaktadırlar (Radojevic ve Bashkin 1999, Anonim 2000b, Chapman 1992). AB standartlarında, balıklar için Cu ve Zn için sınır değerler verilmiştir (Radojevic ve Bashkin 1999). Ülkemizde ise, Su ürünleri Yönetmeliği’nde ve TGK’inde balıklar için ve Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği’nde yüzeysel sular için verilen kalite kriterlerinde Hg, Cd, Pb, Cu, Zn ve As parametrelerine ait sınır değerler verilmektedir (Anonim 1995, Anonim 2002a). Dünyada çeşitli ülkelerdeki ve ülkemizdeki yüzeysel su kalitesi standartları ve daha önce yapılan bilimsel çalışmalar incelenerek, bu projede, Uluabat Gölü’nde suda, sedimentte ve balık dokularında Pb, Cd, Cu, Cr, Zn, Ni, As, Fe, Mn ve B elementlerinin konsantrasyonları belirlenmiştir.

Dünyada ve ülkemizde, ağır metallerin ve bazı iz elementlerin yüzeysel sularda, su, sediment ve balıklardaki konsantrasyonlarının belirlenmesi üzerine bir çok çalışma yapılmıştır (Ikem ve ark. 2003, Aksoy ve ark. 2005, Nguyen ve ark. 2005, An ve Kampbell 2003, Gue’guen ve Dominic 2003, Yiğiterhan ve Murray. 2008, Duman ve ark. 2007). Bu çalışmalarda, suda ve sedimentte toplam ağır metal ve iz element konsantrasyonları incelendiği gibi aynı zamanda sedimentteki farklı fraksiyonlar belirlenmiştir (Tessier ve ark. 1979, Wang ve ark. 2005, Nguyen ve ark. 2005, Zeien ve Brümmer 1989, Ma ve Rao 1997, Sekhar ve ark. 2003, Anonim 2006, Tack ve Verloo 1995, Koeckritz ve ark. 2001). Su ve sedimentteki ağır metal

konsantrasyonları, ağır metal kirliliği hakkında genel bir bilgi vermektedir. Ancak, sedimentte bulunan farklı ağır metal fraksiyonları ve bazı iz elementler çevresel faktörlerin de etkisiyle zamanla suya geçebilmekte ve bu fraksiyonlar canlılarda biyolojik birikim yapabilecek olan miktar hakkında daha kesin bilgiler vermektedir. Bu fraksiyonlar, mobil, kolay serbest hale geçebilen, Fe-Mn oksitlere bağlı, organik maddeye bağlı, residual (kalıntı) ağır metallerdir (Ma ve Rao 1997). Özellikle, mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının biyolojik birikim yapabilme özellikleri daha fazladır (Ma ve Rao 1997). Ayrıca, metallerin organiklerle oluşturdukları bileşiklerin de mobil hale geçmelerinde etkili oldukları belirlenmiştir (Tack ve Verloo 1995). Sedimentte bulunan ağır metallerin suya geçişini, pH, sıcaklık, çözülmüş oksijen konsantrasyonu, sertlik, elektriksel iletkenlik, askıda katı madde dolayısıyla seki derinliği, alkalinite, % organik madde ve pH gibi parametreler etkilemektedir (Ikem ve ark. 2003). Bu sebeple sudaki ve sedimentteki ağır metaller ve bazı iz elementler bu parametrelerle birlikte değerlendirilmiştir.

Su ve sedimentteki farklı ağır metal fraksiyonlarının ve bazı iz elementlerin farklı türlerdeki balıklar üzerine olan etkileri son yıllarda çalışılan konulardan biridir (Ikem ve ark. 2003). Yapılan çalışmalarda, en çok kas, karaciğer ve solungaçlarda ağır metal ve bazı iz elementlerin birikimi olduğu görülmüştür (Rashed 2001, Karadede ve Ünlü 2000, Farkas ve ark. 2003, Papagiannis ve ark. 2004, Altındağ ve Yiğit 2005, Yang ve ark. 2007, Erdem 1990, İkem ve ark. 2003). Bu projede, Pb, Cd, Cu, Cr, Zn, Ni, As, Fe, Mn ve B elementlerinin, Uluabat Gölü'nde ticari amaçla avlanan turna (*Esox lucius*) ve sazan (*Cyprinus carpio.*) balıklarının kas, solungaç ve ciğer dokularındaki konsantrasyonları belirlenmiştir.

Bu projede elde edilen deneysel verilerin değerlendirilmesinde Coğrafik Bilgi Sistemi (CBS) ve Minitab istatistik programı kullanılmıştır. Coğrafik Bilgi Sistemi, su kalitesinin değerlendirilmesi, tarımsal ve ormanlık alanların korunması, tehlike altındaki türlerin kontrolü, şehir planlama, erozyon, hava kirliliği, jeoloji, madencilik ve kıyıların korunması konularında oldukça etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Lang 1998, Convis 2001, Karaer ve Küçükballı 2006, Küçükballı ve ark. 2005). Literatürde, yapılan çalışmalarda CBS sedimentte ve topraktaki ağır metal kirliliğinin haritalandırılmasında ve jeostatistiksel analizinde kullanılmıştır (Pekey 2006, Buccolieri ve ark. 2006, Zhang ve ark. 2005, Li ve ark. 2004, McGrath 2004, Boni, ve

ark. 1999). Uluabat Gölü'nde de daha önce klorofil-a, seki derinliği, toplam azot ve toplam fosfor parametrelerinin konsantrasyon dağılım haritalarının oluşturulmasında kullanılmıştır (Akdeniz 2005). Bu çalışma kapsamında da, ölçülen ağır metal ve bazı iz element parametrelerinin konsantrasyon dağılımları belirlenmiştir. Minitab istatistik programı ile ölçümlerin istatistiksel analizi yapılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

2. 8. Ağır Metal ve İz Elementlerin Kaynakları

Atmosfer

Ağır metaller atmosfere gaz, aerosol ve partikül halinde yayılmaktadır. Mineral tozlar, deniz tuzu partikülleri, atmosfer dışından gelen maddeler, volkanik aerosoller, orman yangınları, uçucu partikül emisyonları, taşıtların emisyonlarından ve yakıt olarak kömür kullanımı sonucu ağır metaller atmosfere karışmaktadır. Kütleli taşınımlarının akarsulardan daha fazla atmosferle olan metallere atmophile elementler denir. Bu elementler uçucudurlar ve metal oksitleri düşük kaynama noktasına sahiptirler. Bu metaller B tipi olarak geçerler. Hg, As, Se, Sn ve Pb atmosfere gaz olarak verilebilmektedirler (Stumm ve Morgan 1996). Kadmiyumun atmosferik emisyonu, 1900'lü yıllardan itibaren maden işleme ve çöp yakımı sonucunda, kurşun ve nikel emisyonları da petrol kullanımı sonucunda artmıştır. Kömür ve diğer bazı yakıtlarda sülfid minerallerine bağlı bulunan molibdenyum, bakır, çinko, kadmiyum ve kurşun uçucu küllerle atmosfere karışmaktadır. Atmosferik çökeltme sonucunda ağır metal ve iz elementler topraklara ve yüzeysel sulara karışmaktadır. Al, Ti, Sn, Mn, Co, Cr, V ve Ni litophile olarak adlandırılan A tipi metaller, akarsularla denizlere ve okyanuslara taşınmaktadır (Stumm ve Morgan 1996). Ağır metal birikimleri incelenen bitkilerin % 90'dan fazlası arsenik ve kurşunu, % 50'den fazlası kadmiyumu, atmosferden aldığı belirlenmiştir (Bradl 2005). Kurşunun % 70, civanın % 30 ve kadmiyumun % 20'den fazlası atmosfer yoluyla sulara karışmaktadır (Stumm ve Morgan 1996).

Tarımsal Aktiviteler

Nüfusun artması sonucunda yiyecek üretimi için daha fazla alan, gübre ve pestisit kullanılmaya başlanmıştır. Fosfatlı gübreler Zn, Cd, böcekleri ve diğer zararlıları kontrol altına almak için kullanılan pestisitler Cu, As, Hg, Zn, Pb ve Mn içermektedirler. Evsel katı atıklar, hayvansal atıklar ve arıtma çamurları nütrient ve

organik madde açısından zengin olmaları nedeniyle toprakları ıslah etmek için kullanılmaktadır. Ancak arıtma çamurlarında kanalizasyon sistemine deşarj edilen atıksuyun karakterizasyonuna bağlı olmakla birlikte başlıca Cd, Zn, Cu, Pb, Se, Mo, Hg, Cr, As ve Ni bulunmaktadır (Bradl 2005). Uluabat Gölü Havzası tarımsal açıdan önemli miktarda üretimin yapıldığı bir bölgedir ve üretimi arttırmak için gübreleme ve tarım ilaçları kullanılmaktadır.

Endüstriyel Aktiviteler

Evsel ve endüstriyel atıksular, kanalizasyon suları ve şehirden kaynaklanan yüzeysel akış suları doğal sularda metal kirliliğine yol açmaktadırlar. Atmosfer, enerji elde etmek için yapılan yakma işlemleri, taşımacılık, katı atıkların düzenli depolanması ve yakılması sonucunda, metallerin sulara karışmasında önemli rol oynamaktadır.

Suların ağır metaller tarafından kirletilmesinde en önemli nedenlerden biri de madencilik endüstrisidir. Cevherlerden metal kazanılması sırasında çeşitli işlemlerden geçirilmesi sırasında meydana gelen asidik koşullar ağır metallerin serbest kalmasına neden olmaktadır. Bu metallerden en bilinenleri As, Cd, Cu, Hg ve Pb'dir. Zn, Cu, Cd gibi ağır metallerin elektrik, kâğıt, boya, plastik, metal kaplama ve cam sanayi gibi çeşitli endüstri alanlarında kullanımı sonucunda, ayrıca metal endüstrisi ve seramik üretiminden de metaller sulara karışmaktadır (Karadede 2002).

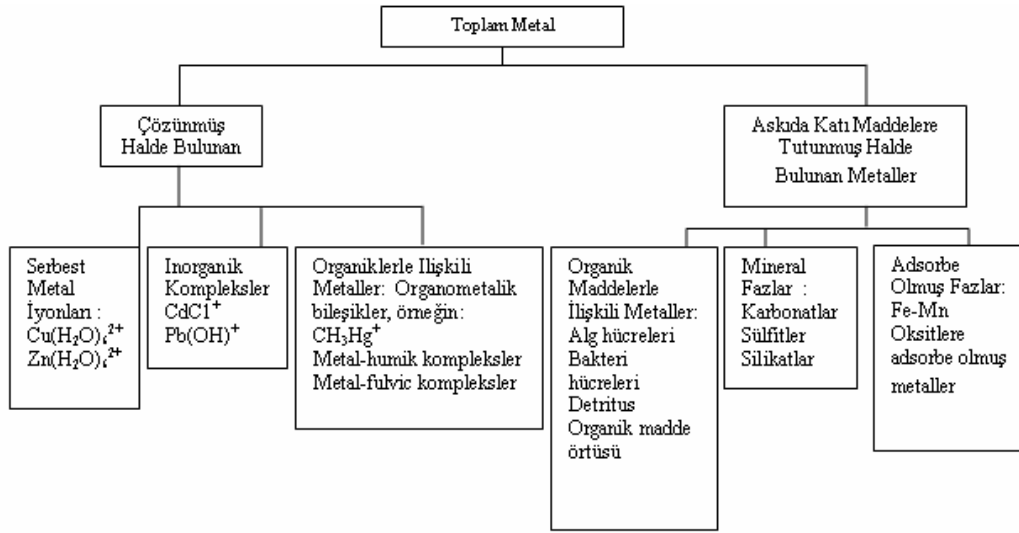
2. 9. Yüzeysel Sularda Bulunan Ağır Metaller

Sudaki toplam ağır metal konsantrasyonları için çeşitli sınırlamalar yasal düzenlemeler ile getirilmiştir. Ancak, su kalitesini korumaya yönelik olarak geliştirilmiş olan kalite kriterleri yeterli değildir. Su kalitesinin uzun süreli korunabilmesi için sedimente bağlı metallerin de göz önüne alınması gerekmektedir. Sedimentteki metal konsantrasyonları su analizleri ile anlayamayacak kısa zamanlı ya da geçmişte meydana gelen kirlilikler ve biyota için toksikolojik riskler hakkında bilgi vermektedir (Canavan ve ark. 2007, Filgueiras ve ark. 2004).

Yüzeysel sularda bulunan ağır metal türleri, suda çözünebilir, askıda, kolloid halinde ve sedimente bağlı fazlarda bulunmaktadır. Sudaki ve sedimentteki metal konsantrasyonları çökeltme ve tekrar mobil hale geçme prosesleri nedeniyle

değişmektedir. Şekil 2. 6. 'da Doğal sulardaki çözülmüş ve askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metal türleri gösterilmiştir (Burden ve ark. 2002).

Yüzeysel suların kimyası, buldukları havzanın toprak ve kayaç yapısından etkilenmektedir. Örneğin, kalkerli (CaCO_3) topraklarda bulunan yüzeysel sularda pH 8 civarında, quartz (SiO_2) ve feldspattan oluşan granitli topraklarda bulunan sularda daha asidik olup pH 6 civarındadır. Eğer pirit (FeS_2) bulunuyorsa, mineralin oksidasyonu sonucunda metallerin çözünürlüğünü ve mobil hale geçmelerine neden olacak asidik sular meydana gelmektedir (Bradl 2005).



Şekil 2. 6. Doğal sulardaki çözülmüş ve askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metal türleri (Burden ve ark. 2002).

pH 5'in altına düştüğünde, sucul ekosistemde ciddi problemler meydana gelmektedir. Mobil hale geçen ağır metaller suda dağılmakta, kil minerallerine, Fe-Mn oksitlere, trofik seviyesi düşük göllerde algelere adsorbe olmuş olan ağır metaller de serbest kalıp besin zincirine geçebilmektedir (Bradl 2005).

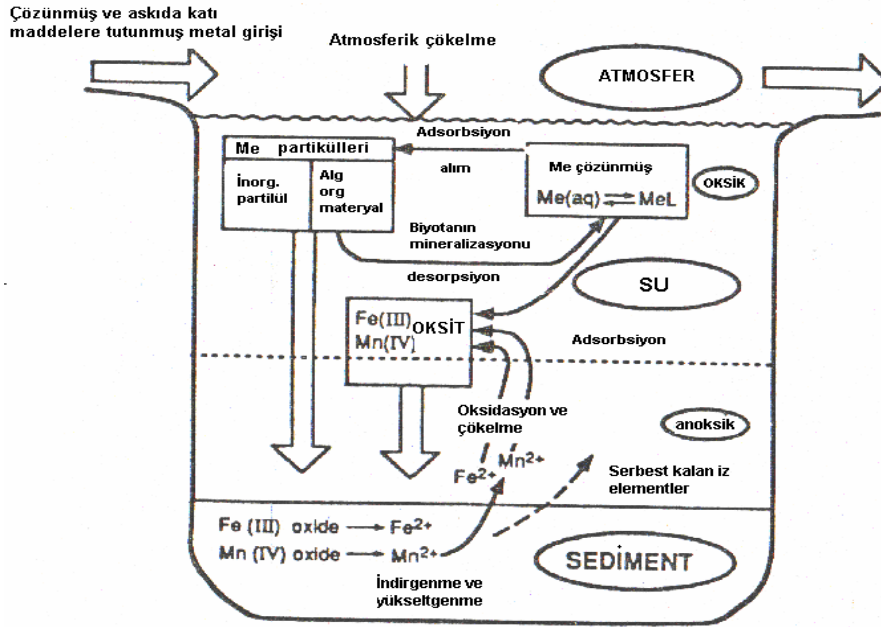
2. 10. Ağır Metallerin Göllerdeki Döngüsü

Ağır metaller ve bazı iz elementler atmosfer ve akarsular yoluyla göllere girdiğinde, çözülmüş diğer maddeler ile reaksiyona girerek kompleks oluştururlar ve organik (örneğin; fitoplankton) ve inorganik partiküllerle ilişkiye geçerek

adsorbisyona ve asimilasyona uğrarlar. Partiküllerin metallere geçirdiği süreç, gölün bekleme süresine ve konsantrasyonlarına bağlıdır.

Göllerde organik partiküller (algler ve ölü canlılar) ve inorganik partiküller (Demir ve mangan oksitler) metallere bağlanmalarına, asimilasyonlarına ve taşınmalarına katkıda bulunmaktadır. Özellikle ötrofik göllerde alglerin fotosentetik üretimleri ve çökelmeleri önemli proseslerdir. Sediment-su ara yüzeyinde, anoksik koşullar oluşabilmektedir. Bu koşullar altında, demir ve mangan indirgenmeye uğrayabilmekte ve çözünebilmektedir. Ayrıca sülfidlerle kompleks oluşturabilmektedirler.

Göllerde sedimentasyon hızı $0,1$ ile $2 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ arasındadır. Daha yüksek hızlar ötrofikasyon seviyesi yüksek göllerde görülebilmektedir. Sedimentin bileşimi, morfolojisi ve partiküllerin büyüklük dağılımları belirlenebilmektedir. Bu bileşim, mevsimsel değişikliklerden etkilenebilmektedir. Bu değişikliğin en önemli nedeni biyolojik aktivitelerdir. İz element ve ağır metaller daha çok biyolojik materyallerin oluşturduğu çökelen katılarla sedimentte birikmektedirler. Aşağıdaki şekil 2. 7'de göllerde iz element ve ağır metallerin döngüsünü gösterilmiştir. Çizelge 2. 6'da Çökelen partikül yapılarının iz element ve ağır metallerin çökelmelerindeki rolleri verilmiştir (Stumm ve Morgan 1996).



Şekil 2. 7. Ağır metal ve iz elementlerin göllerdeki döngüleri

Çizelge 2. 6. Çökelen partikül yapılarının iz element ve ağır metallerin çökelmelerindeki rolleri (Stumm ve Morgan 1996)

| Çökelen Partiküller | Özellikleri |
|---|---|
| Fitoplankton ve Biyolojik Kalıntılar | Organizmaların yüzeyleri Cu(II), Pb(II), Zn(II), Cd(II), Ni(II) gibi ağır metaller ile Yüzey kompleksleri oluşturmaktadırlar. Organizmalar nütrientleri (P, N, Si, S, ve bunun gibi), besleyici metal iyonlarını (Cu(II), Zn(II), Co(II) ve diğer metal iyonlarını (Cd(II), As (V)) nütrientler gibi absorbe edebilmektedirler. |
| CaCO ₃ Göllerde genellikle çökelmektedirler | Ağır metaller ve fosfatlar CaCO ₃ tarafından adsorbe edilirler. Yüzey alanı diğer çökelen materyallere göre daha küçük olduğu için iz elementlerin su kolonundan Uzaklaştırılması nispeten daha azdır. |
| Fe (III) (Hidro) oksitler Göle girerler ve gölde oluşurlar | Ağır metalleri, fosfatları, silikatları, As ve Se'un oksianyonlarını yüzey kompleksleri oluşturarak çekme gücüne sahiptirler. İz elementlerin su kolonundan giderilmelerinde önemli rol oynamaktadırlar. Gölün oksik ve anoksik koşulları olduğu zaman Fe (III) oksitler çökelen materyalin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Demirin indirgenmesiyle, oksidasyonu ve çökmesiyle meydana gelen göl içindeki döngüsü iz elementlerin döngüsü ile ilişkilendirilmektedir. |
| Mn (III,IV) oksitler göllerde meydana gelmektedirler | Çoğunlukla Ağır metalleri yüksek derecede çekim gücüne sahiptirler ve yüzey alanları geniştir. Redoks döngüleri ($MnO_x(s) \leftrightarrow Mn^{2+}$) iz element konsantrasyonlarını etkilemekte, su kolonundaki ve sedimentteki dönüşümlerinin meydana gelmesine neden olmaktadır. |
| Aluminyum (Kil ve oksitler) | silikatlar İyon değişimi; Fosfatları ve metal iyonlarını bağlamaktadırlar. Yüksek konsantrasyonlarda bulunmadıkları zaman su kolonundaki iz elementlerin giderimleri küçük miktarlarda olmaktadır. |

2. 11. Metallerin Yüzeysel Sulardaki Katı-Sıvı Ara Yüzeyi İlişkileri

Katı-su ara yüzeyi hidrojeokimyasal döngüde toprakta ve doğal sularda bulunan partiküllerde bulunmaktadır. Genellikle, katılarda bulunan iz elementler, sudaki fazdan daha fazla konsantrasyonlarda bulunmaktadırlar. Partiküllerin iz elementleri bağlama kapasiteleri (İyon değişimi, adsorbsiyon) metallerin türlerine etki eden kompleks oluşumlarına ek olarak göz önüne alınmaktadır.

Doğal sistemlerdeki partiküller çok çeşitlidirler. Bunlar, kil ve organik partikülleri içeren mineraller, organizmalar, biyolojik kalıntılar, humus, makromoleküller, organik maddelerle kaplanmış inorganik partiküllerdir.

Partiküllerin yüzeyleri, fonksiyonel grupları taşımaktadırlar. Fonksiyonel gruplar, H^+ , OH^- ve metal iyonları ile etkileşime girebilmektedirler. Çoğu inorganik katılar (Oksitler ve silikatlar) hidroksi grupları içermektedirler. Karbonatlar ve sülfidler, $-C-OH$, $-C=O$, $MeOH$, OH , $-SH$ grupları ile ilişkiye girebilmektedirler. Alkali ve toprak alkali iyonlarının kil mineralleri ile ilişkileri iyon değişimi ve yüzeyde bulunan OH gruplarıyla koordine olmuş yüzey komplekslerinin neden olduğu adsorbsiyon prosesleri ile meydana gelmektedir. Hümik maddelerin yüzeyleri, karboksil ve fenolik- OH grupları ile tanımlanır. Bazı amino ve iminolar $-SH$ grupları gibi bulunmaktadırlar. Biyolojik yüzeyler, $-COOH$, $-NH_2$ ve $-OH$ gruplarını içermektedirler. Fonksiyonel grupların çeşitliliğine rağmen, tümü, metal iyonlarını ve protonları bağlama yeteneğine sahip yüzey ligandlarına sahiplerdir.

Sedimentten suya geçen metal miktarını ve arazi çalışmaları ile model çalışmaları arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla, çözünmüş ve katı fazlar arasında, elementlerin dağılım katsayısı (2.1) kullanılmaktadır.

$$K_D = C_s/C_w \text{ (litre } kg^{-1}) \quad (2.1)$$

Bu formülde, C_s katı parçacıkta bulunan konsantrasyondur ($mol\ kg^{-1}$) ve C_w suda bulunan konsantrasyondur ($mol\ L^{-1}$)

Bu katsayı, koşullara bağlı bir sabittir. pH ve partikül büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Doğal göl ve akarsulardaki pH aralığı 7-8,5'tir. Bu aralık, metal iyonlarının hidroksitlere ve organik partiküllere adsorbe olması için adsorbsiyonunda en uygun aralıktır.

Doğal olarak meydana gelmiş partiküller, bakteri ve alglerin yüzeyleri, oksitlere benzer olarak metal iyonları ile ilişki içerisinde. Adsorbsiyon izotermi, verilen pH'ta karşılaştırılabilmektedir. Bu sebeple ağır metal konsantrasyonlarının (Çözünmüş ve askıda) askıda katı madde ve klorofil-a konsantrasyonları ile ve pH ile karşılaştırılması önemlidir (Stumm ve Morgan 1996).

2. 12. Su-Sediment Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Reaksiyonlar

Sedimentler, kirleticilerin göl suyundan uzaklaşarak biriktiği yerler olmasının haricinde, aynı zamanda tekrar suya karışarak su kalitesini etkileyen oluşumlardır.

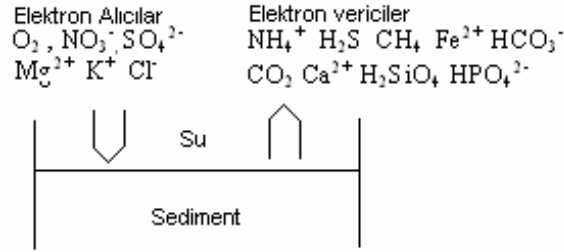
Sedimentte meydana gelen diyagenetik reaksiyonlar, kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar sonucunda meydana gelebilmektedir. Bu reaksiyonlar sebebi ile sedimentler, suyun bileşimine çok büyük etkide bulunmaktadır. Biyolojik reaksiyonların çoğu, sedimentte bulunan organik maddenin bozunmasına bağlıdır. Sedimentte meydana gelen ardışık redoks reaksiyonları, organik maddenin O_2 , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- ile etkileşimi sonucunda çözünmüş oksijenin uzaklaşarak iyonları indirgenmesi ve CO_2 , NH_4 , HPO_4^- , HS^- , CH_4 'ın ortaya çıkması ile meydana gelmektedir.

Bu reaksiyonların ürünleri oksijenin uzaklaşmasından sonra demir ve manganın çözünmesi gibi sediment kimyasında değişikliklere neden olabilmektedirler. HS^- , SO_4^{2-} 'nin indirgenmesi sonucunda oluşmaktadır. Diğer taraftan SO_4^{2-} dip kısmında (sedimentte) bulunan demir iyonları ile reaksiyona girerek demir sülfidleri oluşturmaktadır. Aşırı HCO_3^- iyonu, SO_4^{2-} 'in indirgenmesi ve NH_4 'ün oluşması sırasında meydana gelmektedir ve sonuç olarak $CaCO_3$ çökelebilmektedir. Çözünmüş fosfatın uygun koşullar altında birikmesi apatitin ($Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$) çökmesine neden olmaktadır. HS^- 'in demir ile reaksiyona girmesinden sonra demir sülfidlerin oluşması ve kil mineralleri ile giderilmesi sonucunda Mg^{2+} çökelebilmektedir. Oluşan bu reaksiyonlar opaline silika, $CaCO_3$, feldspars, çözünmesi ve sedimentteki minerallerde ve kil minerallerinde iyon değişimi ile gerçekleşmektedir (Stumm ve Morgan 1996).

Katı parçacıkların çökmesi ve boşluktaki suyun yakalanması sediment-su ara kesitindeki kimyasalların akışını sağlayan başlıca iki etkidir. Bunların haricinde, sediment-su ara yüzeyinde meydana gelen karışma (biyotürbülans ve su türbülansı), boşluk suyundaki moleküler difüzyon akışı, yeraltı suyunda ya da zeminde meydana

gelen hidrostatik basınç değişimi ile artan boşluk suyu akımları etkilemektedir. Sedimentteki birikim oranı, 1000 yılda mm seviyesinden, 1 yılda, cm seviyesine kadar değişebilmektedir. Sediment, eşit hacimli su ve katı parçacıkların karışımından meydana gelen ve yoğunluğu $2,5 \text{ g/cm}^3$ olan bir oluşum olarak düşünülmektedir.

Okyanus suları, 35 g/l , yüzeysel sular $0,01 \text{ g/l}$ çözülmüş madde içermektedir. Sedimente doğru meydana gelen ortalama akı değeri katı parçacıklar için 6×10^{-4} ile $6 \times 10^{-1} \text{ g cm}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ arasında, çözülmüş maddeler için $0,1 \times 10^{-4}$ ile $0,1 \times 10^{-1} \text{ g cm}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ arasında değişmektedir. Şekil 2.8'de Sediment boşluk suyu ile göl suyu arasında çözülmüş iyonların akı yönleri gösterilmiştir.



Şekil 2. 8. Sediment boşluk suyu ile göl suyu arasında çözülmüş iyonların akı yönleri (Stumm ve Morgan 1996).

Su ve sediment arasındaki geçişi belirlemek için kullanılan metotlardan biri, Fick Yasasıdır (2.2). Bu yasa, moleküler difüzyonla, elementlerin değişimini tanımlamaktadır (Thibodeaux 1996).

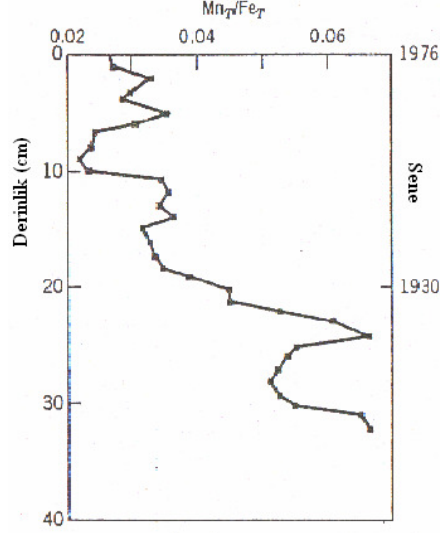
$$F = - D (C / z) \quad (2.2)$$

F: Akı, D: Sedimentteki element için difüzyon katsayısı, C / z : sediment-su ara yüzeyinde elementin konsantrasyon değişimidir. D, poroziteye bağlıdır. Konsantrasyon değişimi, sudaki ve sedimentteki konsantrasyonlarından belli olmaktadır. Porozite, sedimentin yoğunluğundan ve su içeriğinden belirlenmektedir (Thibodeaux 1996). Elde edilen konsantrasyon sonuçları ve sediment porozitesi değeri kullanılarak sedimentten suya geçen ağır metal ve iz element miktarı hesaplanabilmektedir.

2. 13. Metallerin Yüzey Sedimentine Bağlanmaları ve Mobil Hale Geçebilmeleri

Sedimentlerin kirleticileri depolama özellikleri çok fazladır. Hidrolojik döngü içerisinde kirleticilerin % 1'den daha azı suya geçmekte, % 99'u sedimentte kalmaktadır. Kullanım alanına bağlı olarak değişen insan aktiviteleri nedeniyle sediment/toprak, yeraltı suyu, yüzeysel sular arasındaki denge bozulmuştur. Bununla birlikte sedimentin kirleticileri absorblama ve saklama kapasitesi bileşimine bağlıdır. Ağır metaller için adsorblanma kapasitesi partiküllerin yüzey özelliklerine ve alanlarına bağlıdır. Bu nedenden dolayı özellikle oksijenli koşullar altında iz elementler kil mineralleri ve quartz, feldspat gibi diğer bileşenleri Fe-Mn oksitlerle ve organik maddelerle bağ kurarlar (Filgueiras ve ark. 2004, Canavan ve ark. 2007). Bu bağlar sudaki metal konsantrasyonlarını da etkilemektedir. Sonuç olarak toplam konsantrasyonu kadar sediment matriksindeki metallerin durumunu da bilmek gerekmektedir. Ağır metal ve iz elementlerin birbirleriyle çok yakın ilişkili olan bu fazları fiziksel ve kimyasal tekniklerle ayırmak çok zordur. Ardışık ekstraksiyon yöntemi, metallerin mobilitesi ve biyolojik birikim yapabilme özelliklerinin belirlenebilmesi için kullanılan önemli bir yöntemdir. pH, sıcaklık, redoks potansiyeli, organik madde, iyon değişim prosesleri ve mikrobiyal aktivite metallerin aktivitelerini, mobiliteelerini ve biyolojik olarak birikim yapabilme özelliklerini etkilemektedir (Filgueiras ve ark. 2004). Ardışık ekstraksiyon yöntemi ile sırasıyla seçilen kimyasallar yardımı ile mineralojik fazda bulunan metaller serbest bırakılır. Asitle çözerek, indirgeyerek ve oksitleyerek metaller serbest bırakılır. Asitle çözünebilir fraksiyon genellikle karbonat bağlıdır ve pH'taki değişimler ile serbest hale geçebilirler. İndirgenabilir fraksiyon genellikle Fe-Mn oksitlere bağlı olan fraksiyonlardır ve redoks potansiyelindeki değişimler ile çözünebilmektedir. Oksitlenebilir fraksiyon içerisinde değerlendirilenler, yaşayan organizmalar, dipte yaşayan canlılar (detritus) ya da mineral partiküllerin üzerine bağlanan organik maddeler ile kompleks oluşturan metallerdir. Metaller sedimentte uzun süre kalabilirler. Ancak oksitlenme koşullarında bozunmanın gerçekleşmesi ile serbest hale geçebilirler (Filgueiras ve ark. 2004). İndirgeyici koşullar altında bulunan sedimentlerde, ağır metal ve iz elementler çözünmeyen kükürtlü bileşiklerle ilişki kurmaktadır. Bakteriler tarafından organik madenin bozunması sırasında sülfatın indirgenmesiyle sülfid oluşmaktadır. Deniz sedimentlerinin kıyı kesimlerinde ve tuzlu bataklık toprakları sülfat ve organik madde

açısından zengindirler. Bu nedenle de organik maddelerin bozunması sırasında son ürün olarak yüksek oranda sülfid ve pirit (FeS_2) meydana gelmektedir. Yüzeysel su sedimentlerinde sülfidin mineral fazı metal ve iz elementlerin mobil hale geçmelerine engel olmaktadır. Oksitleyici koşullar olmadığı ve sülfidin mineral fazı çözünmediği sürece, ağır metaller ve iz elementler sedimente bağlı olarak bulunmaktadır (Canavan ve ark. 2007). Bu nedenle sedimentler kirlilik hakkında kayıt tutmaktadırlar. Kuru sedimentlerde oluşturulan Mn_T/Fe_T oranı birikme zamanındaki redoks potansiyelinin anlaşılabilmesini sağlamaktadır. 1930’lardan önce, sediment-su arayüzeyindeki birikim sürekli olarak oksik bir ortamda bulunmaktaydı. O yıllarda Mn_T/Fe_T oranının değişimi, manganın oksitlenmesinin farklı davranışları ile açıklanmaktaydı. Daha sonra anoksik sedimentlerin oluşmasıyla birlikte, ortamda bulunan Mn (III ve IV)’ün önemli bir kısmı azalmış Mn^{2+} olarak su kolonuna serbest hale geçmiştir. Buna karşın Fe (III) oksitlerin azalması ve Fe^{2+} ’lerin serbest kalması anoksik koşullar altında çok belirgin artmamıştır. Şekil 2. 9’da kuru sedimentte yıllara ve sedimentin derinliğine göre Mn/Fe oranı verilmiştir (Stumm ve Morgan 1996).



Şekil 2. 9. Kuru sedimentte yıllara ve sedimentin derinliğine göre Mn/Fe oranı

2.13.1. Sudaki Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonlarını Etkileyen Parametreler

Göllerde, suda, sedimentte ve canlılarda yapılan ağır metal ölçümleri, kimyasalların davranışlarını ve çevreye olan etkilerini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Bu bilgiler, göl ortamına kimyasalların girişini, biyolojik birikimlerini kontrol etmek ve yönetmek için iyi bir araç olmaktadır (Fernandez ve ark. 2000).

Ağır metaller, bileşik oluşturabilmekte, iyon değişimine, çökelmeye ve biyolojik proseslere uğramaktadırlar. Su kolonunun fizikokimyasal özelliklerinin değişmesiyle birlikte ağır metaller sediment içerisinde sürekli sabit kalmaz, su kolonuna geçmektedirler. (Landajo ve ark. 2004). Bu nedenle, göllerdeki konsantrasyonlarını çeşitli parametreler etkilemektedir. Bu parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

Yağış miktarı sudaki ve sedimentteki ağır metal seviyesini etkilemektedir. Bunun sebebi, sudaki askıda katı maddeyi ve dolayısıyla partikül metal seviyesini etkilemesidir. Sedimentin dane büyüklüğü ve organik madde içeriği de yağıştan etkilenmektedir. Yağmurdan önce alınan sediment örneklerinin kumlu, sonra alınan örneklerin ise daha çamur kıvamında olduğu yani daha ince dane boyutunda olduğu görülmüştür.

Sedimentteki ağır metal seviyesinin partikül halindeki ağır metal konsantrasyonuna göre yüksek olduğu görülmüştür. Suda çözülmüş haldeki ağır metallerin konsantrasyonları, genel olarak çok düşük bulunmuştur. Gölü besleyen ana akarsuyun bulunduğu bölgede, konsantrasyonların daha yüksek olduğu görülmüştür. Akarsuda yapılan incelemede, çözülmüş metal konsantrasyonunun göle göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak, yağmurlu dönemlerde çözülmüş metal konsantrasyonlarının akarsudaki ve göldeki konsantrasyonları azalmıştır. Bunun sebebinin gölde gerçekleşen yatay karışma (Hidrodinamik hareketler) ve dip sedimenti ile olan karışma olduğu görülmüştür. Çözülmüş metallerin partikül maddelere tutunması, konsantrasyonları azaltmıştır. Bunu sebebinin inorganik ve organik maddelerle gerçekleşen adsorbsiyon olayıdır (Cuong ve ark. 2008). Yapılan çalışmalarda, ağır metallerin kil mineralleri ve organik maddelerle arasında yüksek oranda korelasyon olduğu bulunmuştur (Mil-Homens ve ark. 2006). Bu sebeple çalışmalarda askıda katı madde miktarının seviyesi önemlidir. Dip sedimenti ile askıda

katı madde arasında ilişki kurularak özellikle göle askıda katı madde getiren akarsudaki değerler karşılaştırılmalıdır. Ayrıca, sedimentte bulunan ağır metal türleri, su kolonunda bulunan ve balıklardaki birikim açısından bir risk oluşturmaktadır (Ikem ve ark. 2003). Değerlerin yağışlı ve kurak dönemdeki değişme aralıkları önemlidir. Yapılan çalışmalarda sedimentte elde edilen sonuçlar, NOAA sediment kalitesi kriterleri ile karşılaştırılmıştır (Mil-Homens ve ark. 2006).

Göllerin bazı bölgelerinde, ağır metal konsantrasyonları daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebinin kirletici kaynakların yakınlığı veya aktivitelerin yoğunluğu olarak görülmüştür. Organik madde miktarı ile sedimentte bulunan % kil, silt ve mil miktarı çözülmüş, partikül ve sedimentte bulunan ağır metal miktarlarını etkilemektedir. Metallerin taşınmasında, biyokimyasal prosesler etkili olmaktadır. Canlıların ölmeleri, bozunmaları ve dışkıları ile ağır metal miktarı artabilmektedir (Nguyen ve ark. 2005, Cuong ve ark. 2008).

Numune alınan noktaların derinliği de, askıdaki maddelerin çökmesi için uygun ortam oluşturması ve başta fitoplanktonlar olmak üzere diğer canlılar tarafından bünyeye alınmaları sebebi (Cuong ve ark. 2008) ile ağır metallerin sudaki konsantrasyonlarını ve bulunuş biçimlerini etkileyen diğer bir parametredir. Yapılan bir çalışmada, çözülmüş ve askıdaki metal konsantrasyonlarının derinlik profiline sahip olduğu, yüzey suyunda en düşük dip suyunda ise en yüksek seviyede bulunduğu görülmüştür. Bu sebeple batimetri haritası ve ağır metal için oluşturulan haritalar karşılaştırılarak yorumlanabilmektedir (Nguyen ve ark. 2005 ve Cuong ve ark. 2008).

Su sıcaklığı su kimyasını etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Metallerin çözümlülüklerini ve bitkiler tarafından alınabilirliklerini etkilemektedir. pH parametresindeki artış ise, toksik metallerin çoğunun çözümlülüğünü azaltmaktadır. Bu sebeple, sudaki metal konsantrasyonları azalmaktadır. Daha az çözünen metaller, askıda katı madde ve sedimentte birikmektedir. Bu sebeple mevsimler arasında su kimyasının değişmesiyle birlikte ağır metal seviyeleri de değişmektedir (Fernandez ve ark. 2000).

Canlılardaki birikim konsantrasyonları ile sudaki çözülmüş, askıda ve sedimentteki konsantrasyonlar karşılaştırılarak yorumlanabilmektedir. Diğer çalışmalarda yapılan aynı türde ve farklı türlerdeki balık numunelerinde yapılan sonuçlar karşılaştırılarak türler arasındaki ve aynı türde olan farklı göllerde yaşayan balıklardaki birikimler karşılaştırılabilmektedir. İncelen balıkların ekonomik açıdan ve

gıda yönünden değerli olması sebebiyle gıda standartları ile karşılaştırma yapılabilmektedir.

Meteorolojik koşullar, sığ göllerde ağır metal dağılımı için önemlidir. Özellikle rüzgar hızı ve yağmur miktarı ağır metal konsantrasyonlarını etkilemektedir. Havada belirlenen ağır metal konsantrasyonlarının sonuçları ile sudaki konsantrasyonların sonuçları birlikte değerlendirilerek hava-su arasındaki ağır metal hareketleri incelenebilmektedir (Nguyen ve ark. 2005). Cuong ve arkadaşlarının (2008)'de yaptığı çalışmada, suyun 50-100 µm'lik en üst tabakasının, yüzey suyunun daha alttaki tabakalarına göre ağır metal açısından çok daha zengin olduğu bulunmuştur. Mikro tabakada bulunan ağır metallerin özellikle partikül formda olduğu, atmosferik çökeltme ve su kolonunda meydana gelen su kabarcıklarının etkisiyle (Flotasyon) yüzeyde biriktiği bulunmuştur. Ancak deniz ortamında yapılan bu çalışmada, farklı bölgelerde hidrodinamik özelliklerin farklı olması sebebi ile ağır metal konsantrasyonlarının farklı olduğu gözlenmiştir.

Endüstriyel atıksuların yanı sıra, madencilik ve bölgeye ait jeokimyasal yapı ağır metal konsantrasyonlarını etkilemektedir. Örneğin 2000 yılında Atatürk Baraj Gölü'nde su, sediment ve balık örneklerinde yapılan bir çalışmada, bulunan konsantrasyonların gölün bulunduğu bölgenin jeolojik özelliklerinden kaynaklandığı görülmüştür (Karadede ve Ünlü 2000, Mil-Homens ve ark. 2006). Kas ve solungaçlardaki ölçümler karşılaştırıldığında, kas dokusunda bulunan konsantrasyonların solungaça göre çok daha düşük seviyelere sahip olduğu görülmüştür. Ikem ve Egiebor (2005)'te yaptığı bir çalışmada, tuna, sardunya ve somon balıklarında yapılan incelemede, farklı ülkelerin (Avustralya, Brezilya), Gıda ve Tarım Kurumu'nun (Food and Agriculture Organization, FAO), Tarım, Orman ve Balıkçılık Bakanlığı'nın, USEPA'nın sağlık kriterleri, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) ve Birleşik Devletler Yiyecek ve İlaç Kurumu'nun (US Food and Drug Administration) limit değerlerine göre elde ettikleri deney sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Tez çalışması kapsamında bahsedilen standartlar kullanılarak balıktaki ağır metal birikimi değerlendirilmiştir.

2. 14. Ağır Metallerin Davranışları

Arsenik

Genel olarak As, -III, 0, III ve V yüklü olarak bulunmaktadır. Elementel As, arsenik oksitlerin indirgenmesi ile oluşmaktadır. Toprakta ve doğal sularda bulunan başlıca As türü, arsenat (V) ve Arsenit (III) tir. As (III), en çok mobil hale geçen ve çözünen ve bu nedenle, en toksik etki gösteren formudur. Arseniğin çözünürlüğü, $Mn_3(AsO_4)_2$, $FeAsO_4$ ve $Ca(AsO_4)$ bileşiklerinin konsantrasyon değişimlerinden etkilenmektedir. Sularda As (V) en yaygın bulunan türüdür. Arsenik absorblama kapasitesi yüksek oksit mineralleri içeren killi topraklarda bulunan arseniğin kaba taneli topraklara göre daha toksik olduğu bilinmektedir. As (III) ve As (V)'in protein, yağ ve diğer hücrenel bileşiklerle ilişki kurabilmekte ve bu nedenle yaşayan organizmalarda hızlıca birikebilmektedir. As, midyeler, kabuklu canlılar ve omurgasızlar tarafından bünyelerine alınmaktadır. As ancak organik formda balıkların bünyelerine alınmaktadır. As, besin zincirinde büyüyerek birikmemektedir ve algler dışında suda yaşayan organizmalarda biyokonsantrasyon faktörleri oldukça düşüktür. İnsanlardaki arsenik bileşiklerinin toksisitesi sırayla arsenitler> inorganik arsenitler> organik trivalent bileşikli arsenoksitler>inorganik arsenatlar> organik pentavalent bileşikler> elementel arsenik. As (0), çözünürlüğünün çok az olması sebebiyle en az toksisiteye, arsenik trioksit bileşiği çözünürlüğünün yüksek olması dolayısıyla en çok toksisiteye sahiptir. Bazı bölgelerdeki içme sularında arsenik kirlenmesi jeolojik yapıdan kaynaklanmaktadır. ABD, Çin, Şili, Bangladeş, Tayvan, Meksika, Arjantin, Polonya, Kanada, Macaristan, Yeni Zelanda, Japonya, Hindistan gibi pek çok gelişmiş ve gelişmekte olan 21 ülkede rapor edilmiştir. Özellikle sülfür mineralizasyonunun olduğu bölgelerde yer altı ve yüzey sularında 100-5000 ppb (0,1-5 mg/l) arsenik konsantrasyonları ölçülmüştür. Arseniğin, kromozomları, saç, tırnak, cilt, iç organları, sindirim sistemi, sinir sistemini etkilediği bilinmektedir. İçme suyundan sürekli olarak alınmaları, deri, akciğer, karaciğer, mesane ve böbrek kanseri ile deride pigmentasyon değişimleri ve kalınlaşma (hiperkeratosis), kas zayıflığı, iştah kaybı ve nörolojik bozukluklara neden olmaktadır (Bradl 2005).

Kadmiyum

Kadmiyum, tüm bileşiklerinde iki değerlikli ve genellikle hidroksitler, amonyak, organik aminler, sülfür kompleksleri, klor kompleksleri ve şelatları halinde bulunmaktadır. Kadmiyum, karbonatlar, arsenatlar, fosfatlar, oksalatlar ve ferrosiyanitler halinde çökelmektedir. Kadmiyumun mobilitesi ve biyolojik birikime neden olması kimyasal türlerine bağlıdır.

Topraklarda ve sedimentlerde bulunan kadmiyum genellikle değişebilir fraksiyonlarda, ikinci ve üçüncü sırada olmak üzere Fe-Mn oksitler ve kalıntı halinde bulunmaktadır. Kadmiyum karbonatlı bileşiklerinde bulunurken, organik maddelere bağlı fraksiyonları önemli miktarda bulunmamıştır. Kadmiyum topraklarda $CdHCO_3^+$ halinde bulunmaktadır ve kalkerli topraklarda kolaylıkla adsorbe olup, katı faz halinde çökelmektedir. Eğer topraklar yüksek konsantrasyonda Cl^- , SO_4^{2-} bulunuyor ise Cd kloro- ve sülfano-kompleksler oluşturacaktır. Cu, Pb, Hg ve Zn gibi metaller organik ligandlardan etkilenirken, Cd'nin özellikle çamurlu ve tarıma elverişli topraklarda inorganik ligandlarla kompleks oluşturduğu tespit edilmiştir. Sularda $pH < 6$ olduğunda, çözülmüş ve serbest haldeki Cd^{2+} bulunmaktadır. pH 6 ile 8.2 arasında $CdHCO_3$ ve $CdCO_3$ gibi karbonatlı türler bulunmaktadır. pH 8.2 ile 10 arasında, Cd doğal karbonat kompleksleri halinde bulunmaktadır. Topraktaki düşük konsantrasyonlardaki kadmiyum Langmuir ve Freundlich izotermi ile açıklanabilen adsorpsiyona uğramaktadır. Topraktaki kadmiyumun adsorpsiyonu, her 1 birim pH artışına karşılık 3 kat artış göstermiştir. Kadmiyumun klorlu türleri Cd^{2+} 'ye göre daha zayıf adsorbe olmaktadır. Cd adsorpsiyonu, EDTA, NTA gibi organik ligandların bulunmasından etkilenmektedir. Çözülmüş organik karbon ve şelatlar, $CdCO_3$ ile birlikte çökelebilmekte ve az da olsa adsorbe olabilmektedirler. Adsorpsiyon, Cd'nin Ca ve Zn gibi 2+ değerlikli kationlar ile rekabet etmesi dolayısıyla etkilenmekte ve bu metaller Cd yerine toprağa adsorbe olmaktadır.

Cd'nin Zn, Pb, ya da Cu'ya göre bitkiler, omurgasızlar ve omurgalıları için toksik olduğu bilinmektedir. Bitkilerde sarılık, büyüme azlığı, kırmızı-turuncu yaprak rengi oluşumu, bitki köklerinin zarar görmesi, hidrolik su iletiminin azalması, klorofil ve enzimatik aktivitelerin azalması sonucu fotosentezin yavaşlamasıdır. Yüzeysel sulardaki omurgasız organizmalarda birikim yapmasına karşın, Hg gibi besin zincirinde yer almamaktadır. Cd insanlarda Ca, D vitamini, kolejenin yerine geçmektedir. Bu

nedenle kemikte bozulmalara yol açmaktadır. Ayrıca akciğer ve böbrekleri de etkilemektedir (Bradl 2005).

Krom

Krom genellikle en stabil olan oksidasyon basamağı III'te bulunur. Ancak 0 ve VI'da da bulunmaktadır. Topraklarda ve sedimentlerde iki farklı üç değerlikli formlarda (Cr^{3+} ve CrO_4^{2-}) ve iki farklı anyon halinde ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ve CrO_4^{2-}) bulunmaktadır. Üç değerlikli formu oksijen ve azot içeren ligandlar ile kolay ilişki kurmaktadır. Altı değerlikli formun üç değerlikli forma göre daha toksik etkisi bulunmaktadır. Kromun oksidasyon basamağı mobilitesi için çok önemlidir. Hidrolize eğimli formu olan Cr (III) pH 4.5'te çözülmeye başlamaktadır. Cr'nin adsorbsiyon ve çökeltme mekanizmaları redox potansiyeli, oksidasyon basamağı, pH, toprak mineralleri, rekabet ettiği iyonlara bağlıdır. Altı değerlikli krom türleri Fe, Mn, Al oksitler, kaolinit, montmorillonit gibi toprak fazlarının yüzeylerine adsorbe olmaktadır. Adsorbsiyon, pH ve topraktaki organik madde konsantrasyon artışı ile artmakta, rekabet eden katyonların ve organik ligandların azalması ile artış göstermektedir. Krom, insanlar ve hayvanlar için gerekli bir elementtir. Cr (III)'ün farelerde glukoz metabolizması için gerekli olduğu belirlenmiştir. İnsanlarda krom eksikliğinin glukoz metabolizmasını bozduğu, insülin, kolesterol ve toplam trigliserit düzeyini yükselttiği tespit edilmiştir. Buna karşın Cr (III) ve Cr (VI)'nın kanserojen olduğu bilinmektedir. Ayrıca, bronşların ve akciğerin yapısını bozarak zatüreye yol açabilmekte ve deride çeşitli alerjik reaksiyonlara neden olabilmektedir (Bradl 2005).

Bakır

Bakır I ve II oksidasyon basamaklarında bulunmaktadır. II. oksidasyon basamağında Zn^{2+} , Mg^{2+} ve Fe^{2+} iyonları ile eş yapıda bulunmaktadır. Cu, sülfidler, sülfatlar, karbonatlarla bileşik oluşturmaktadırlar. Bakırın en zengin olduğu mineral kalkopirittir (CuFeS_2). Bakırın topraklardaki dağılımı organik madde ve Fe-Mn oksitlere bağlıdır. Bakırın organik maddelerle yakın bir ilişkisi bulunmaktadır. Bu nedenle bakırın organik maddelere bağlı fraksiyonları diğerlerine oranla daha fazla bulunmaktadır. Organik maddeler ve Fe-Mn oksitler topraktaki önemli bakır kaynakları iken kil mineralleri ve fosfatlar daha az önemlidirler. Bakırın adsorbsiyon sıralaması

Mn-oksitler> organik maddeler> Fe-oksitler> kil mineralleri şeklindedir. Hümik maddelerin iki değerlikli metallere kompleks oluşturma sıraları $Cu > Pb > Fe > Ni > Co = Zn > Mn = Ca$ şeklindedir.

Bakır, bitkiler için gerekli olan 7 önemli elementten (Zn, Cu, Mn, Fe, B, Mo ve Cl) biridir. Konsantrasyon 20 ppm'den fazla olduğunda bitkiler için toksik olmaktadır. Suda yaşayan canlılarda Cu^{2+} iyonları kompleks formlarına göre en toksik olanıdır. Normal konsantrasyon seviyesinden 10 ile 50 kat fazla olduğunda toksik olmaktadır. Bakır insanlarda çeşitli enzimlerin sentezi için kullanılmaktadır. Bakırın insanlar için akut olarak toksik veya kanserojen olmadığı belirtilmiştir (Bradl 2005).

Kurşun

Kurşun II ve IV olmak üzere iki oksidasyon basamağında bulunmaktadır. Klorür ve bromür tuzları suda çok az çözünürken, karbonat ve hidroksit tuzları hemen hemen hiç çözünmezler. Kurşunun topraktaki kimyası üç ana faktörden etkilenmektedir. İlki, katı fazlara adsorbsiyon, ikincisi çözünebilir ve büyük oranda stabil olan bileşikler ile çökmesi, üçüncüsü stabil kompleks ya da topraktaki organik maddeler ile şelat oluşturmalarıdır. Kurşun formlarının pH ile ilişkisi kurulduğunda düşük pH'larda hidrolize uğradığı, pH 9'un üstünde $Pb(OH)_2$ oluştuğu, 6 ile 10 arasında $Pb(OH)^+$ 'nin meydana geldiği görülmüştür. Pb'nin topraklara ve kil minerallerine olan adsorbsiyonu Langmuir ve Freundlich izotermleri ile ifade edilmektedir. Topraklardaki karbonat miktarı Pb davranışları için önemlidir. Kalkerli olmayan topraklarda Pb'nin çözünürlüğü pH'a bağlı olarak $Pb(OH)_2$, $Pb_3(PO_4)_2$, $Pb_4O(PO_4)_2$ ve $Pb_5(PO_4)_3OH$ gibi Pb hidroksitler ve fosfatlarla ilişkilidir. Kalkerli topraklarda $PbCO_3$ oluşmaktadır. Fe ve Mn oksitlerin bulunması Pb'nin adsorbsiyonu için önem taşımaktadır. Pb, Co, Cu, Mn, Ni ve Zn elementlerine göre daha kuvvetli adsorbe olmaktadır.

Kurşunun topraktaki organik madde ile yakın ilişkili olması nedeniyle önemli problemlere ve fitotoksositeye neden olmamaktadır. Mikroorganizmalar bitkilere göre çok daha hassastır. Çiftlik hayvanları, balık ve vahşi hayvanlarda enzimatik aktiviteleri etkilemektedir. Pb'nin başlıca etkileri hematolojik ve merkezi sinir sistemi ile ilgilidir. İnsanlara olan etkileri değerlendirildiğinde, özellikle bebeklere ve küçük çocuklara olan etkileri yüksektir. Pb kana geçtiğinde vücutta dolaşarak yumuşak dokulara (böbrek, kemik iliği, karaciğer, beyin) ulaşır ve mineralli dokulara (kemik ve dişler) ulaşır. Pb

zehirlenmesinin tipik semptomları halsizlik, titreme, başağrısı, kusmak, nöbet geçirmek, diş eti dokusunda mavi-siyah renk oluşumu ve sancıdır. Pb ayrıca hemoglobin sentezini engeller, böbrek fonksiyonlarını bozar, fetusun yaşamını, gelişimini etkilemekte ve 6 yaşın altındaki çocukların zehirlenmesine neden olmaktadır (Bradl 2005).

Mangan

Mn I, II, III, IV, VI ve VII oksidasyon basamaklarında bulunmaktadır. II, IV, VI, VII oksidasyon basamakları en stabil tuzları oluşturmaktadır. Daha düşük oksitler (MnO ve Mn₂O₃) bazik, daha yüksek olanlar asidiktir.

Mn'nin topraktaki biyojeokimyası oldukça karmaşıktır. Bu karmaşıklık, Mn'nin bir çok oksidasyon basamağında olması, Mn-oksitlerin bir çok kristalin yapısında bulunması, Fe-oksitler ile birlikte çökelmeye neden olmaları, Fe ve Mn oksitlerin katyon ve anyonlarla ilişkide bulunmaları, Mn'nin yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonlarının fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik proseslerden etkilenmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle Mn adsorpsiyonu pH ve elektriksel iletkenlikten etkilenmektedir. Langmuir ve Freundlich izotermleri ile belirlenen adsorpsiyon, yükselen pH ile birlikte artmaktadır. Mn'nin adsorpsiyonu, ilk olarak daha yüksek değerliklere yükseltgenmesi, çözünmeyen bileşikler halinde çökmesi ile ilgilidir. İkinci olarak, kil minerallerine adsorbe olmasıyla ilgilidir. Kalkerli topraklarda MnCO₃ şeklinde çökelmektedir. Şelat oluşumu Fe ve Ca'nın Mn'nin yerine geçmesi nedeniyle stabil bir form değildir.

Mangan bitkilerde P, N ve organik asitlerin metabolizması için gerek duyulan enzimatik aktivitelerde kullanılan bir mikronütrienttir. Ancak Al ve Mn toksisitesinin asidik topraklarda büyümeyi sınırlayıcı etki yaptığı bilinmektedir. Mn hayvanlar ve insanlar için de gerekli bir elementtir. İnsanlarda Mn toksisitesi çok nadir görülmele birlikte karaciğeri ve beyni etkilediği, Parkinson hastalığına neden olduğu bilinmektedir (Bradl 2005).

Nikel

Nikel 0 ve II oksidasyon basamaklarında bulunmaktadır. Belirli koşullarda I ve III oksidasyon basamaklarında bulunmakta olmasına rağmen sulu çözeltilerde stabil değildirler. Suda çözünen en yaygın nikel türü Ni²⁺ dır. Ni organik ligandlarla kolayca

kompleks oluşturmaktadır ancak inorganik ligandlarla yapılan kompleksler daha az oluşmaktadır. Ni (II) geniş bir pH ve redoks koşullarının meydana geldiği durumlarda stabildir. 10 ppm'den düşük konsantrasyonlarda toprağa kolaylıkla adsorbe olmaktadır. Ni adsorbsiyonunda Freundlich ve multifazik isotermler görülmekte ve pH'a bağlı olarak değişmektedir.

Ni bitkiler ve hayvanlar için gereklidir. Bitkilerde Ni eksikliği, büyümede azalmaya, dokuların bozulmasına ve sarılığa yol açmaktadır. 50 ppm'in üzerine çıktığında bitkilerde toksik semptomlar görülmektedir. Balıklarda uzun süreli maruz kalınması neticesinde iskeletlerinde kireçlenmeye neden olur, solungaçlarda membran lamellerinin kalınlaşmasını artırır ve hücre membranlarının difüzyon kapasitesini azaltır ve balığın boğularak ölmesine neden olur. Nikele kronik olarak maruz bırakılma canlı organizmalarda kanserojenik teratojenik etkilerin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Karadede 2002).

Çinko

Çinkonun oksidasyon basamağı II dir. Bazik koşullar altında hidroksitler halinde çökelmektedir. Zinkat iyonu $Zn(OH)_4^{2-}$ yüksek bazik koşullarda oluşmaktadır. Zn, suda çözünebilir halde kloratlar, kloritler, sülfatlar, nitratlar ile bileşik oluştururken, oksitler, karbonatlar, fosfatlar, silikatlarla nispeten çözünmez bileşikler oluşturmaktadırlar. Sorpsiyon Zn'nin topraktaki konsantrasyonları için önemli bir faktördür. pH, kil mineralleri, CEC, spesifik yüzey alanı bu faktörü etkilemektedir. 2:1 oranındaki montmorillonit ile illit, 1:1 oranındaki kaolinite göre daha fazla Zn^{2+} fiske ettiği bilinmektedir. Kalkerli ve bazik topraklarda karbonatlara sorpsiyonu, hidroksit ya da karbonatlarla çökmesi ve çözünmeyen kalsiyum zilkonat oluşturması nedeni ile Zn hareketsiz kalmaktadır. Şelatlar topraktaki çinkonun mobilitesi için önemlidir. Cl^- , PO_4^- , NO_3^- , SO_4^{2-} bileşikleri ile kompleks oluşturmaktadır. Ancak şelatlar Zn'nin sorpsiyonuna önemli etkileri bulunmamaktadır.

Zn bitkiler ve hayvanlar için gerekli bir elementtir. Bitkilerde karbonhidrat taşınımında ve protein sentezinde önemli rol oynamaktadır. Zn konsantrasyonları 100 ppm'in üzerine çıktığında sarılık gibi fitotoksik semptomlar görülmektedir. Balıklarda büyümenin azalmasına, karaciğerde ve solungaçlarda önemli hasarlara yol açmaktadır. Zn insanlar içinde oldukça gerekli bir elementtir. Birçok enzimde kullanılmaktadır.

Eksikliğinde hamileler etkilenmekte, deride bazı bozukluklar, kansızlık, yaraların geç iyileşmesi ve nörofizyolojik etkiler görülmektedir. Fazla alımında Zn toksisitesi nadir görülmektedir. Ancak, kolestrol metabolizmasını etkilemektedir (Ünal ve Başkaya 1981).

Demir

Yer kabuğunda yaklaşık % 4,2 oranında bulunan demir topraklarda da fazla miktarda primer ve sekonder mineraller halinde bulunur. Topraklardaki demir bileşiklerinin en önemlileri hornblend, ojit, olivin, biotit ile demir oksit ve oksihidratlardır. Topraktaki demir bileşiklerinin hemen hemen hepsi suda çok az çözünmektedir. Örneğin $Fe(OH)_3$, $Fe(OH)_2$, $FePO_4$ bileşikleri çok az çözünmektedirler. Bu nedenle de topraklar yarayışlı demir yönünden çok fakirdir. Topraktaki demir yarayışlılığının üzerine çok çeşitli faktörler etki etmektedir. Bu faktörlerin en önemlileri toprak reaksiyonu, toprak çözeltisindeki Fe^{+3} ve Fe^{+2} iyonlarını çöktürebilecek anyonların (HCO_3^- , CO_3^- , HPO_4^{-2}) fazla miktarda bulunması ve Cu^{+2} , Mn^{+2} , Mo^{+2} , Zn^{+2} gibi ağır metal katyonlarının az bulunmasıdır. Topraktaki demir bileşiklerinin asidik ortamlarda çözünürlüklerinin artması bazik ortamlarda azalması toprak pH'sının yarayışlı demir üzerinde önemli ölçüde etkili olduğunu göstermektedir. Toprak pH'ına paralel olarak redoks potansiyeli de yarayışlılık üzerine etkilidir. Topraktaki Fe^{+2} iyonlarının Fe^{+3} iyonlarına yükseltgenmesi $Fe(OH)_3$ halinde çökmesi ve yarayışsız hale dönüşmesi yalın olarak $4Fe^{+2} + O_2 + 4OH_3^+ \leftrightarrow 4Fe^{+3} + 6 H_2O$ reaksiyon denklemiyle gösterilmektedir. Bir redoks reaksiyonunun yürümesine ortamdaki OH_3^+ iyonlarının konsantrasyonu, OH_3^+ iyonlarının reaksiyona iştirakleri ve hem de toprak redoks potansiyeline etkileri bakımından çok önemli rol oynamaktadırlar. Ortamdaki OH_3^+ iyonlarının konsantrasyonlarının azalması başka bir deyimle pH'nın yükselmesiyle sistemin redoks potansiyeli düşmektedir. Fe^{+2} daha kolay Fe^{+3} 'e yükseltgenmektedir. Fe^{+2} ve Fe^{+3} sistemindeki redoks eşitliği incelendiğinde yükseltgenmenin Fe^{+3}/Fe^{+2} oranına da bağlı olduğu görülmüştür. Nötr ve bazik ortamlarda redoks potansiyeli düşük olması sebebiyle Fe^{+2} iyonları daha kolay Fe^{+3} iyonlarına yükseltgenmektedir. Topraktaki demirin asidik ortamda çözünürlüğü sedimentte de meydana gelmektedir. Kültür topraklarında yüksek oranda demir bileşiği bulunmasına karşın bitkilerin topraktan çok az demir sömürmeleri nedeniyle demir mikro besin elementi olarak kabul

edilmektedir. Bitkiler demiri topraktan Fe^{+3} , Fe^{+2} ve şelatlar halinde almaktadırlar. Genellikle bitki yapısında etki olan Fe^{+2} iyonlarıdır. Demirin en önemli özelliği iki yükseltgenme kademesinde Fe^{+3} ve Fe^{+2} iyonları halinde bulunabilmesi ve bu iyonların elektron alış verişi ile birbirine dönüşebilmesi ve şelat yapma yeteneğidir. Yüksek bitkiler Fe^{+3} iyonunu indirgeyerek gerekli organlara Fe^{+2} iyonu halinde taşımaktadırlar. Bitki yapısında bulunan demirin büyük bir kısmı kloroplastlarda bulunmaktadır. Kloroplastlar proteinin oluşmasını sağlayarak klorofil oluşumuna olumlu etki yapmaktadırlar (Ünal ve Başkaya 1981).

Bor

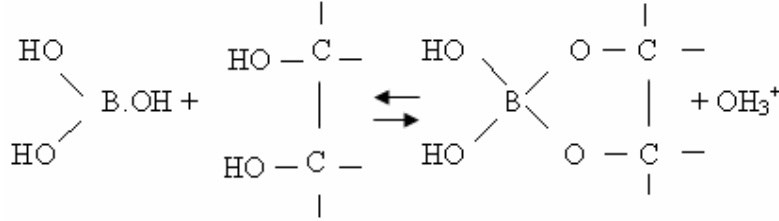
Kültür topraklarının bor kapsamaları büyük ölçüde ana materyalin bor kapsamalarına bağlıdır ve genellikle % 0,01'in altındadır. Magmatik kayaların silisce fakir olanları % 0,006 ya kadar, silisce zengin olanları % 0,001'den daha az bor kapsamaktadır. Tortullar borca daha zengindir. Deniz suları ortalama 5 mg B/l çözülmüş bor bileşiği ihtiva etmektedir. Biotit hariç mikalar illit ve benzeri kat minerallerinin kristal örgüleri tetraeder merkezlerinde de bir miktar bor bulunmaktadır. Turmalin % 3-4 kadar bor kapsamaktadır. Boraks ($Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$), kolemanit ($Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$), uleksit ($NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$) gibi bazı bor bileşikleri de topraklarda bulunabilmektedir.

Kültür topraklarının bor içerikleri ana materyal yanında oluştukları bölgelerin koşullarına, tekstürlerine, organik madde miktarına ve pH'larına bağlı olarak ta değişmektedir. Yağışlı bölge toprakları diğer mikro ve makro besin maddelerinde olduğu gibi yıkanma nedeniyle borca fakirdir. Normal yağış alan bölgelerin topraklarında toplam bor birkaç ppm den 90 ppm'e kadar değişse de yarı kurak ve kurak bölgelerde bu miktar daha yüksektir.

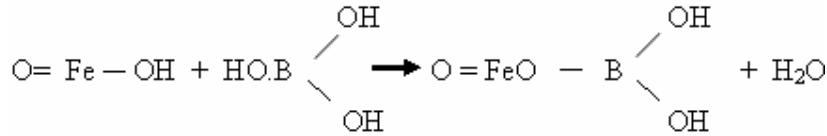
Topraklardaki bor bütünü ile yarayıslı bor arasındaki ilişkiler çok çeşitli faktörlere göre değişmektedir. Yarayıslı bor 0,1 ile 7 ppm arasında değişirse de toprak çözeltilerinde genellikle borik asit ve borat çözeltileri halinde % 0,001-0,1 mg B/l bulunmaktadır.

pH sı 7,5 ten büyük olan topraklarda organik madde ile bor miktarı arasında yakın bir ilişki saptanmıştır. Organik maddesi yüksek olan topraklar borca zengindir. Bu nedenle de üst toprak alt toprağa göre daha fazla bor kapsamaktadır. Toprak organik

maddesi ile H_3BO_3 arasındaki ilişki organik maddelerin mikrobiyel parçalanma ve dönüşmeleri esnasında oluşan dihidroksi bileşiklerle (polisakkaritler) esterleşme ile kompleksler yapmasından ileri gelmektedir.



Bu kompleksdeki bor organik maddenin mineralize olmasıyla yarayışlı hale gelmektedir. Organik maddesi yüksek topraklarda bor eksikliğine pek rastlanmamaktadır. Borik asit kil mineralleri, Al ve Fe oksitlere de bağlanma özelliği de göstermektedir.



Aluminyum oksitler borik asidi daha çok ortam pH'ı 5-7 arasında iken, Fe-oksitler ise ortam pH sı 8-8,5 arasında iken adsorbe etmektedirler. Ayrıca Al- oksitler Fe-oksitlere göre daha fazla bor adsorbe etmektedirler. Kil minerallerinin boratlı çözeltilerden bor adsorbsiyonu kurak zamanlarda daha yüksek seviye de olmaktadır. Kurak zamanlarda çözünebilir bor miktarı azalmaktadır.

Toprak reaksiyonu ile bor yarayışlılığı arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. pH yükselmesi ile pH>6 olması halinde yarayışlı B miktarı azalmaktadır. Bor pH'a bağlı olarak toprağın organik ve inorganik kolloidleri tarafından bağlanarak yarayışsız hale gelmektedir. Ancak bu olay tersinir bir olaydır. pH'ın düşmesi ile yarayışlı ve çözünebilir bor miktarı yükselmektedir. Ayrıca bor kireçli topraklarda daha çok fiske edilmektedir. Bu durum Ca ile B arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir. Mikroorganizmalar tarafından B'un kullanıldığı da düşünülmektedir.

Topraklarda bor eksikliğini giderebilmek amacıyla çeşitli bor bileşikleri verilebilmektedir. Ancak fazla miktarda verilmesi doğru değildir. Yarayışlı bor belli bir sınır konsantrasyonundan sonra toksik etki yapmaktadır. Asidik topraklarda 1,2 ppm borun toksik etki yaptığı saptanmıştır.

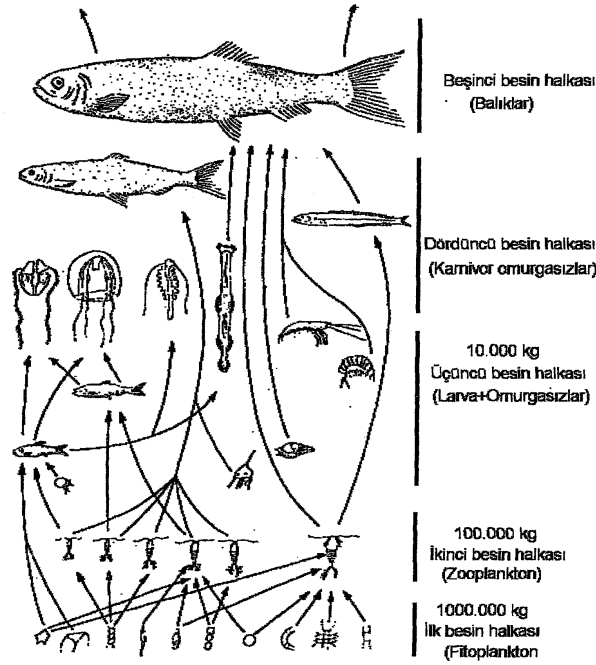
Bor bitkiler tarafından oksakompleks iyonlar halinde ($H_2BO_3^-$, $B_4O_7^{2-}$) alınan bir mikroelementtir. Bitkiler tarafından çok az gereksinme gösterilmesine, diğer mikroelementlerin bazıları gibi (Fe^{+2} , Mn^{+2}) değerlik değiştirme ve bazıları gibi de şelat yapabile özelliği olmamasına karşın bor önemli bir bitki besin maddesidir. Borun hem azlığı hem de fazlalığı bitki gelişmesi üzerinde çok olumsuz etkiler yapmaktadır.

Bor eksikliği görülen bitkilerin olgun organlarında -3 değerlikli azot, amino asitleri ve aminlerin birikmesi ile protein miktarının azalması, borun protein senteziyle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Karbonhidrat mekanizması ve taşınmasında da borun etkili olduğu saptanmıştır. Bor eksikliği gösteren bitkilerin yapraklarındaki karbonhidrat miktarının artması, gereksinme duyulan yerlere taşınmaması bunu kanıtlamaktadır. Borat iyonlarının alkollü OH grupları ile özellikle karbonhidratlarla borikasit esterlerini oluşturduğu ve hücre duvarında polihidroksi bileşikler yaptığı bilinmektedir. Bor yağ mekanizması ve pektin maddelerinin sentezlerinde de etkili olmaktadır. Bor eksikliği gösteren bitkilerde hücre duvarlarının çatlama ve kırılması, büyüme uçlarının gelişmemesi köklerin gelişmemeleri ve şekil değiştirmeleri, çiçeklenmenin önemli ölçüde gerilemesi sık rastlanan olaylardır. Genel olarak bitkilerin bor kapsamı 2 mg B/ Kuru maddeye yükseldiği zaman toksik etki başlamaktadır (Ünal ve Başkaya 1981).

2. 15. Ağır Metallerin Besin Zinciri İle Alımı

Bir ekosistemde madde iletimi, canlılar arasında görülen besin zinciri ile sağlanmaktadır. Bitkilerle başlayan besin zincirinde halkaları oluşturan üç grup bulunmaktadır. Bunlar, üreticiler, tüketiciler ve ayrıştırıcılarıdır. Üreticiler, güneş enerjisinden yararlanarak inorganik maddelerden besinini sentezleyen tüm klorofilli bitkilerdir. Bunlar otrotrof bakteriler, fitoplanktonlar ve makroskopik su otlarıdır. Otrotrof canlıların oluşturduğu ürünlerle beslenenler, birincil tüketicileri oluşturmaktadır. Fitoplanktonlarla beslenen kabuklular, küçük balıklar ve yumuşakçalar (Mollusca) otrotrof canlı grubuna dahildir. Herbivorlarla beslenen karnivorlar ise ikincil tüketicileri ve bu karnivorlarla beslenenler de (büyük balıklar) üçüncül tüketicileri oluşturmaktadırlar. Besin zincirinin son halkasını ayrıştırıcılar oluşturmaktadır. Bitki, hayvan ölüleri ve atık maddelerle beslenen bakteri ve mantar gibi mikroorganizmalardır. Yüzeysel sulardaki besin zinciri şekil 2.10.'da görülmektedir (Karadede 2002).

Ağır metaller besin zinciri ile direkt olarak balıkların besinlerini oluşturan fitoplanktonlar ya da sudaki diğer tüketici organizmalar yolu ile balıklara geçmektedir. Ağır metallerin balıklardaki konsantrasyonu balık türünün beslenme alışkanlığı ve vücuda alınan metale bağlı olup, balığın doku ve organları arasında da farklılık göstermektedir. Yapılan çalışmalarda karnivor balıklardaki konsantrasyonun, herbivor balıklardaki konsantrasyonlardan yüksek olduğu belirlenmiştir. Çünkü beslenme zincirinde daha üst basamaklarda bulunan balıklar çoğunlukla diğer balıklarda bulunan metalleri almaktadırlar. Ancak ağır metal konsantrasyonlarının balığın beslenme şekline ve mevsimlere de bağlı olduğu belirtilmektedir. Ağır metallerin biyolojik birikimleri suyun ve sedimentin fiziksel ve kimyasal özelliklerine de bağlıdır. Örneğin sudaki Ca'nın daha fazla olduğu dönemlerde Cu, Cd ve Zn'nin balıkların bünyelerindeki konsantrasyonları azalmıştır (Karadede, 2002).



Şekil 2. 10. Yüzeysel sulardaki besin zinciri

Besin zincirinin en üst kısmında bulunan balık, balık yiyen kuşlar gibi suda yaşayan ve sudan beslenen organizmalar, karada yaşayan organizmalara göre daha hassastırlar. Toksik etkilerin ve ekotoksikolojik sınır konsantrasyonlarını belirlemek için çeşitli test metotları geliştirilmiştir. Kirleticilerin zararlı etkileri, organizmalarla

olan ilişkilerine bağlıdır. Sıcaklık ve türbülans gibi faktörler ise kirleticinin aktivitesini ve yapısını etkilemektedirler.

Toksisiteyi değerlendirirken, iki şeyi değerlendirmek gerekmektedir. Birincisi, organizmayı tehlikeye sokan madde (sağlığa zarar veren ve zehirleyen), ikincisi, su sisteminin yapısını ve organizasyonunu (besin zincirini) etkilemesidir. Kimyasal maddelerin canlı organizmalar üzerindeki tek başlarına olan etkileri bilinmesine karşın, ekosisteme olan etkileri konusunda bilgi daha azdır. Organizmaların doğal ortamdaki dağılımları mevcut koşullardaki rekabet yeteneğine ve çevredeki fiziksel ve kimyasal özelliklere bağlıdır. Organizmaların rekabet yetenekleri nüfuslarını artırmalarında önemli rol oynamaktadırlar. Üreme oranları da yiyecek miktarına, ölüm oranlarına, toksik maddeye maruz kalmalarına bağlıdır. Bu sebeple de besin zincirindeki herhangi bir canlının toksik maddeden zarar görmesi ile diğer canlılar da zarar görmektedirler. Özellikle fitoplankton miktarındaki değişim, besin zincirindeki diğer canlıların dağılımlarını ve miktarlarını etkilemektedir. Bu sebeple de ötrofik göllerde alg miktarının değişmesi, tür çeşitliliğini azaltabilmektedir ve ekosistemin bozulmasına neden olmaktadır. Toksik maddelerin etkilerini tahmin edebilmek için serbest metal iyonlarının konsantrasyonlarının (aktivitelerini) göz önüne alınarak özellikle de çözülmüş metal iyonlarının konsantrasyonlarının sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir (Stumm ve Morgan 1996).

2. 16. Göllerde Su Kalitesinin Değişimi

Göllerdeki su kalitesinin değerlendirilmesinde, havzanın karakteristiğinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Havzadaki kullanım alanlarının (Tarımsal, ormanlık alanlar, yerleşim alanları), su seviyesinin, uzun dönem yağış ve debi ortalamalarının, belirlenmesi önemlidir. Daha sonra, fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler yorumlanmaktadır.

Su sıcaklığı, gölün ve havzasının sabit ve değişken özelliklerinden etkilenmektedirler. Deniz seviyesinden olan yüksekliği, yüzey alanı, derinlik ve rüzgar hızı önemli özelliklerdir. Sıcaklık değişiminin derinliğe göre incelenmesi, tabakalaşmanın olup olmadığının incelenebilmesi açısından önemlidir. Havanın ılık olduğu ve rüzgarın olmadığı dönemlerde tabakalaşma belirgin hale gelebilmektedir.

Debinin değişmesi ile birlikte tabakalaşma da değişebilmektedir (Straskraba ve ark. 1993).

Işık geçirgenliği, çözünmüş minerallere bağlı olarak oluşan renge, aşırı yağışların getirdiği askıda katı maddelere, rüzgarın etkisi nedeni ile oluşan dalgalanma ile meydana gelen sedimentin tekrar suya karışmasıyla ve alg miktarına bağlı olarak değişmektedir. Alg miktarında, sonbahardan ilkbahara kadar minimum değişim, ilkbahardan yaza kadar ise maksimum değişim görülmektedir. Bulanıklığın ilkbahar ve yaz arasındaki değişimi, ötrofikasyon derecesinin de bir göstergesidir (Straskraba ve ark. 1993).

Azot ve fosfor formları, fitoplanktonların birincil üretimde sınırlayıcı rol oynamaları sebebi ile değerlendirilmektedir. Yazın su seviyesinin üst kısımlarında, azot ve fosforun azalması, fitoplanktonların artması sebebi ile gerçekleşmektedir. $\text{NH}_4\text{-N}$ fitoplanktonlar tarafından daha çok tercih edilmektedir. Kış sonu, ilkbaharın başında, en yüksek değerdedir. Sıcak mevsimlerde, azot bitki besin maddesi olduğu için fitoplanktonlar tarafından kullanılmaktadır. $250 \mu\text{g/l}$ değerinin üstünde ($\text{pH}>9$), balık ve omurgasızlar için toksik etki göstermektedir (Straskraba ve ark. 1993). NH_4^+ iyonunun NH_3 haline geçerek balıklar için toksik etki yaratması muhtemeldir. Dolayısıyla yüksek pH ve sıcaklık değerlerinde göle karışacak organik maddelerin zararlı etkisi daha fazla olacaktır (Ünlü ve Uslu 1999).

Göllerde bulunan $\text{NO}_3\text{-N}$ gübre miktarına, toprak tipine, mevsime ve hidrolojik koşullara bağlı olarak değişmektedir. Yazları, $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonu, azalır. Bu azalma $\text{NH}_4\text{-N}$ düşük olduğunda ($< 50 \mu\text{g/l}$) fitoplanktonun nitrata kullanması nedeni ile meydana gelmektedir. Dip kısımda meydana gelen azalma ise denitrifikasyon sebebi ile gerçekleşmektedir (Straskraba ve ark. 1993).

Birincil üretimi sınırlandıran en önemli element fosfordur. Sınırlanmamış fitoplankton populasyonlarında, azot ve fosforun biyomastaki oranı 16:1'dir. Çekoslovak rezervuarlarında, 500:1'dir. Fosfor, birincil üretimin artıp, bitkilerin yoğunlaştığı dönemde, özellikle yüzeyde, azalmaktadır (Straskraba ve ark. 1993).

Göllerdeki su ortamında çözünmüş ve çözünmemiş formda organik maddeler bulunmaktadır. Her iki formun miktarı, toprak yapısı, bitki örtüsü, ormanlık ve tarımsal alanların yüzey alanları, endüstri ve yerleşim merkezleri etkilemektedir. Genel olarak çözünmüş organik maddelerin konsantrasyonları, çözünmemiş bileşiklerden 5-10 kat

fazla bulunmaktadır. Ancak debinin artmasıyla beraber çözünmemiş organik bileşikler artar ve çözünmüş maddelerden daha yüksek seviyeye gelebilmektedir. Bu durum genel olarak havzadaki erozyona ve taşınan askıda katı madde yüküne bağlıdır. Gölde bulunan çözünmemiş organik bileşikler daha çok sedimentte birikmektedir. Kısmen parçalanabilmekte kısmen de kalıcı olmaktadır. Buna karşın çözünmüş organik bileşiklerin bozunması zaman almaktadır. $KOİ_{Cr}$ ile belirlenebilen çözünmüş organik bileşikler karanlık ortamda gerçekleştirilen 100 günlük inkübasyon sonucunda ancak % 20 oranında bozunabilmiştir. Çözünmüş organik bileşiklerin oksijen rejimine etkisi olmamasına rağmen, suyun tadını ve suyunu bozabilmektedir (Straskraba ve ark. 1993). Bilinçsizce ve fazla miktarda tarım ilacı kullanımı $KOİ$ parametresinin yüksek değerler almasına sebep olmaktadır (Gündoğdu ve ark. 2005). Suda bulunan diğer çözünmüş ve çözünmemiş organik bileşikler fitoplankton ve bakteri gibi diğer organizmaların üretimlerinden meydana gelmektedirler. Organik bileşikler, ötrofikasyon arttıkça ve gölün bekleme süresi uzadıkça artmaktadırlar. Gölde ölçülen $BOİ_5$ değeri, kirletici kaynaklardan gelen yüklerin ve fitoplanktonların birincil üretimle oluşturdukları yüklerin içeriğinde bulunan organik maddeleri içermektedir. Genel olarak birincil üretimin yarısı, $BOİ_5$ 'e eşit olarak kabul edilir. $BOİ_5$ 'teki azalma, gölün bekleme süresine ve derinliğine bağlıdır. Bekletme süresinin kısa olduğu durumlarda, kirletici kaynaklarla giren $BOİ_5$ değeri azalabilmektedir. Hava sıcaklığının çok soğuk olmadığı dönemlerde ve gölün durgun olduğu bölgelerde $BOİ_5$ değeri 4-5 mg/l'yi aşması durumunda oksijende azalma görülebilmektedir. Bu durumda, bakterilerin organik maddeleri parçalaması, alglerin solunumları ve parçalanmaları çözünmüş oksijendeki azalmayı değiştirmemektedir. Gölü besleyen sudaki algler göle girdiğinde ölmektedirler ve organik maddeye dönüşmektedirler. $KOİ_{Cr}$ içerisinde yer alan bozunabilir bileşiklerin ($BOİ_5$) oranı 0,1-0,15 arasında bulunmaktadır. Bu değer 0,10'dan aşağıda ise daha yavaş bozunabilen bileşiklerin oranının fazla olduğu anlaşılmaktadır. Eğer bu oran 0,15'in üzerinde ise alg miktarının çok olduğu ya da kanalizasyon veya gıda endüstrisi gibi kolay bozunabilen bileşiklerin baskın olduğu anlaşılmaktadır (Straskraba et. Al., 1993). Çözünmüş oksijen eksikliği su kalitesini önemli bir biçimde etkilemektedir. Özellikle dip kısımlarında meydana gelen anoksik koşullar sedimentte bulunan fosfor, demir ve manganın serbest kalmasına neden

olmaktadır. Fe ve Mn konsantrasyonları, suda sırasıyla 200 ve 100 mg/l'ye kadar yükselbilmektedirler (Straskraba ve ark. 1993).

Klorofil-a ya da biyomas olarak ölçülen fitoplanktonlar trofik koşulların değerlendirilebilmesi için önem taşımaktadırlar. Genellikle, klorofil-a, limitleyici faktör olan fosfor ile ilişkilendirilmektedir. Bu iki parametre arasındaki ilişki eksponensiyel olarak artmakta ve toplam fosfor belirli bir konsantrasyona geldiğinde, klo-a artışı durmaktadır. Bunun yanı sıra klo-a konsantrasyonu, ışık geçirgenliği, bulanıklık, derinlik, bekleme süresi gibi bazı parametrelere de bağlıdır. Ayrıca, fosforun kalkerli sularda çökmesi sebebiyle klo-a kalkerli sularda daha düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Fitoplanktonlar, toplam fosfor konsantrasyonunun 20 mg/m³'ün üzerine çıktığı durumlarda, fosfora karşı çok hassas değildirlir. TP 70-80 mg/m³ değerinin üzerinde, ışık ve CO₂ gibi diğer sınırlayıcı faktörler etkili olmaktadır. Azot ve fosforun ağırlıkça oranı 10'dan küçük olduğunda (N:P<10) sınırlayıcı faktörün azot olduğu bilinmektedir.

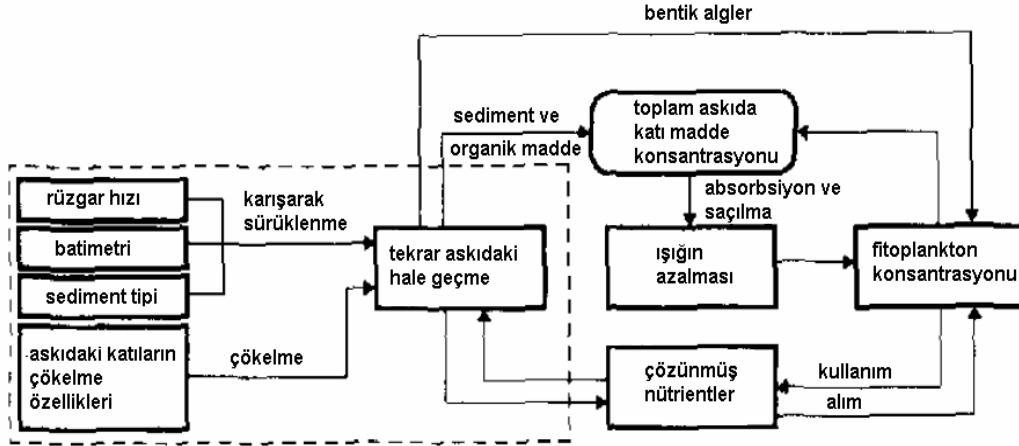
Gölde bulunan nütrient konsantrasyonlarının miktarı, içsel ve dışsal kaynaklardan gelen nütrient yüklerine (noktasal ve yayılı kirletici kaynaklar), sedimentasyona, gölü besleyen ve boşalmasını yapan akarsuların debi miktarlarına ve fitoplanktonların nütrientleri kullanmalarına bağlıdır (Hejzlar and Vyhnaek, 1998). Nütrient konsantrasyonundaki ve fitoplankton miktarındaki değişim, ortamın hidrodinamik özelliklerinden etkilenmektedir. Nütrient konsantrasyonlarındaki maksimum değişim, uzun bekletme süresi, yüksek sedimentasyon hızı ve advectif akımın baskın olması ile birlikte artmakta, kısa bekletme süresi, düşük sedimentasyon hızı ve dispersiv akım rejiminde ise minimum değişim göstermektedir. Dispersiv akım rejimi, rüzgarın etkisi ile oluşan karışımdan dolayı meydana gelmektedir (Hejzlar ve Vyhnaek 1998).

Sudaki fosfor konsantrasyonunun azalmasında, çökme önemli bir mekanizmadır. Çökme ile oluşan net kayıp sığ göllerde çok azdır. Bunun sebebi, stabil olmayan tabakalaşma, çöken materyalin tekrar askıda hale geçmesi ve nütrientlerin sedimentten serbest hale geçerek suya karışmasıdır. Bu nedenlerden dolayı, sığ göller derin göllere göre daha yüksek fosfor konsantrasyonuna ve fitoplankton biyomasına sahiptirler (Hejzlar ve Vyhnaek 1998).

Doğal suların pH aralıkları 6 ile 9 arasında bulunmaktadır. Bileşimleri ise asit ve baz ilişkilerinden etkilenmektedirler. Fotosentez, solunum gibi biyolojik aktiviteler, CaCO_3 'ün çökmesi ya da çözünmesi CO_2 'yi azaltıp artırdığı için pH'ı etkilemektedir. Oksitlenme reaksiyonları pH'ı düşürürken, denitrifikasyon ve sülfatın indirgenmesi pH'ı artırmaktadır (Stumm and Morgan, 1996). Alkalinite, H^+ ve OH^- iyonları tüm üretim ve tüketim faaliyetlerinden etkilenmektedir. Çözünebilir demir iyonlarının (Fe^{+2}) demir oksite (Fe_2O_3) dönüşmesi alkaliniteyi azaltırken, MnO_2 'nin indirgenmesi ve Mn^{+2} nin serbest kalması alkaliniteyi artırmaktadır. Fotosentetik reaksiyonlar sonucunda NO_3^- 'in kullanılması alkaliniteye artışa, NH_4^+ 'ün kullanılması azalmaya neden olmaktadır. Bunların haricinde, nitrifikasyonla azalma, denitrifikasyon ile artma, CaCO_3 'ün çözünmesi ile oluşan HCO_3^- iyonu alkaliniteye artışa neden olmaktadır.

2. 17. Hidrolojik ve Meteorolojik Parametrelerin Su Kalitesine Etkileri

Günümüzde, göl su kalitesinin ve yönetiminin değerlendirilmesinde gölü besleyen ve boşalmasını sağlayan debiler kadar, dikey, yatay akıntılar, karışım prosesleri hakkında detaylı bilgilere de ihtiyaç duyulmaktadır (Chubarenko ve ark. 2001, Lawson ve Anderson 2007). Atmosferik olayların suda akıntılara neden olmaları, kirleticilerin taşınmasını sağlamaları, kimyasal ve biyolojik tepkimeleri hızlandırmaları nedeniyle meteorolojik ve hidrolojik parametreler su kalitesi için önem taşımaktadır. Ayrıca su kalitesinde meydana gelen değişimlerin su kütlesinde meydana gelen fiziksel değişim nedeniyle de olabileceği bilinmektedir (Chung ve ark. 2009). Sığ göllerde sedimentin tekrar askıdaki hale geçmesinin su kalitesi parametrelerine olan potansiyel etkileri şekil 2. 11'de görülmektedir. (Bailey ve Hamilton 1997).



Şekil 2. 11. Sığ göllerde sedimentin tekrar askıdaki hale geçmesinin su kalitesi parametrelerine olan potansiyel etkileri (Bailey ve Hamilton 1997).

Meteorolojik veriler ile balıkçılık ve diğer su ürünleri arasındaki ilişki de oldukça önemlidir. Meteorolojik olaylar nütrientlerin hareketlerini ve balıkların davranışlarını etkilemektedir. Sıcaklık, rüzgar hızı, yağış, nem, solar radyasyon, bulutluluk, parametreleri su kalitesini etkilediği gibi balık hareketlerini ve dolayısıyla da biyolojik birikimi de etkilemektedir (Chung ve ark. 2009). Ayrıca, son yıllarda iklim değişikliğinin getirmiş olduğu olumsuz şartlar ve artan su ihtiyacına bağlı olarak su kalitesinin meteorolojik parametreler ile birlikte değerlendirilmesi daha da önem kazanmıştır. Meteorolojik parametrelerin haricinde, küresel iklim değişikliğinin neden olduğu göllerdeki su seviyesindeki azalma, su kalitesini etkilemektedir. Ayrıca su sıcaklığının artması, düşük oksijen seviyesi, uzun bekletme süresi, artan tuzluluk, içteki fosfor yükünün artması ve denitrifikasyonun durması ile ilişkilendirilmektedir. Sıcaklığın artması ile meydana gelen oksijen azalması ve bekletme süresinin artmasının yol açtığı tuzluluk artışı balık ve bazı canlı türlerinin ölümlerine yol açmaktadır (Beklioğlu ve Özen 2007, Beklioğlu ve ark. 2006) Uluabat Gölü'nde yapılan gözlemler sırasında, Ağustos Ayı'nda balık ölümlerinin olduğu görülmüştür. Ayrıca daha önce kerevit açısından zengin olan gölde bugünlerde kerevit bulunmamaktadır. Kurak ya da yarı kurak bölgelerde bulunan sığ göller, su miktarına karşı hassastırlar. Hidrolojik koşullara karşı olan bu hassaslık tuzluluk ve iletkenlikle belirlenen başlıca iyonlar ve nütrientlerin miktarlarını etkilemektedir. Göldeki su hacminin göle giren su miktarına

bölünmesiyle elde edilen hidrolik bekletme süresi hidrolojik değişimlerin bir göstergesidir. Artan bekletme süresinin tuzluluğu artırdığı bilinmektedir. Bu sebeple bekletme süresinin ve su seviyesinin aylara göre incelenmesi ve tuzlulukla ilişkilendirilmesi önemlidir (Beklioğlu ve Özen 2007, Beklioğlu ve ark. 2006).

2. 18. Ötrofikasyon

Göllerin su kalite ve ekosistem yapılarını, öncelikle fiziksel (ısı, ışık v.b), kimyasal (azotlu, fosfatlı bileşikler v.b) ve biyolojik besin zinciri ilişkileri belirlemektedir. Bir göl ekosisteminde besin zincirini şöyle özetleyebiliriz; ilk halkasını azot ve fosfat kullanarak fotosentez yapan fitoplanktonlar (tek hücreli bitki) oluşturur. Fitoplankton yiyen hayvansal planktonlar ise ikinci halkadır. Sonraki halka ise hayvansal plankton yiyen otçul balıktır (sazan, kadife v.b). Besin zincirinin en üstünü de küçük balıklarla beslenen yırtıcı balıklar (turna, tathısu levreği v.b.) oluşturur. Göllerde suiçi bitkileri de çok önemlidir. Suiçi bitkilerinin sağladıkları mekanizmalar (barınak sağlamaları, balıkların yumurtlama alanları olmaları, suların berrak durumda kalmalarını sağlamaları gibi), diğer organizmalara da yaşamalarına elverişli ortamların oluşmasına yardımcı olur. Sığ göllerdeki besin tuzlarındaki (özellikle fosfat ve azot) değişiklik besin zincirinin bozulmasına neden olmaktadır. Amonyak, nitrit ve nitrat konsantrasyonlarının toplamıyla ifade edilen çözünmüş inorganik azotun, bitki ve mikroorganizmaların organik azota dönüştürülmesi nedeniyle önemli rol oynamaktadırlar. Geçtiğimiz yüzyıl boyunca yüzey sularına özellikle tarımsal kaynaklı azot ve arıtılmamış evsel atıksulardan kaynaklanan fosfat artmıştır. Azot ve fosfat girdisindeki bu artış, göllerde aşırı bitkisel-plankton üremesiyle suyu bulanıklaştırarak besin zinciri ilişkilerini bozar. Bu duruma ötrofikleşme (besin zinciri yıkımı) denir. Sığ göller ötrofikleşmeyle suiçi bitkilerini kaybederek fitoplanktonun baskın olduğu, balık ve su kuşlarının azaldığı bulanık su durumuna geçmektedir. (Burden ve ark. 2002, Beklioğlu ve Tan 2004).

Ötrofikasyon ile cyanobacteria ve alglerin yaz aylarında büyük patlamaları, az miktarda su altı makrofitleri, bitki ile beslenen balıkların baskın hale gelmesi ve bulanıklığın artışı görülmektedir. Sığ göller su seviyesindeki değişimlere ve giren kirlilik yüklerine karşı hassastır. Düşük su seviyesine sahip göllerde, uzun bekletme süresine sahip olmaları dolayısıyla, sediment-su ilişkisi uzun süre devam etmektedir. Bu

sebeple, kurak dönemlerde göldeki fosfor konsantrasyonları artmaktadır. Bunun nedeni, bu dönemlerde içsel yüklerin dışsal yüklerden daha önemli olmasıdır. Dıştan gelen fosfor yükü azalmasına rağmen, göldeki fosfor konsantrasyonu azalmamaktadır. Bu sebeple dıştan gelen yüklerle konsantrasyonların karşılaştırılması önemlidir. Bundan başka, çözülmüş oksijendeki azalma ile amonyum konsantrasyonundaki artma ilişkilendirilmektedir. Anoksik koşullar, nitrifikasyon prosesinin durmasına amonyumun birikmesine, daha sonra da denitrifikasyonun azalmasına ya da durmasına yol açmaktadır. Arjantin’de bulunan Parana Sulakalanı’nda anoksik koşullar altında, amonyum ve fosfor artmıştır (Beklioğlu ve Özen 2007, Beklioğlu ve ark. 2006).

2. 18. 1. Ötrofikasyonun Göllerdeki Metal Konsantrasyonlarına Etkisi

Yüzeysel sulardaki metallerin organik ligandlarla oluşturdukları komplekslerin en baskın kimyasal formlarından biri olduğu bilinmektedir. Organik maddeler ile oluşturulan bu kompleks jeokimyasal döngüyü, toksisiteyi ve mikroorganizmalar tarafından alınmalarını etkilemektedir. Fitoplanktonlar tarafından üretilen hücresel organik madde, çözülmüş organik maddenin en önemli kaynaklarından biridir (Leaño ve ark. 2006). Özellikle Cu, Cd, Zn ve Pb’nin organik maddelerle güçlü bağ kurması dolayısıyla fitoplanktonlarla ilişkileri önemlidir. Genel olarak alg patlamalarının meydana geldiği, Mart-Nisan ve Ağustos-Ekim aylarında, klorofil-a ile metaller incelenmiştir. Her ikisi de Mart-Nisan’da maksimum, Mayıs’ta minimum ve kış aylarında düşük değerlerde bulunmuştur. Bu sebeple, klorofil-a, askıda katı madde ve metal konsantrasyonlarının (çözülmüş ve partikül formlarda) karşılaştırılması önemlidir (Stumm ve Morgan 1996). Fe ve Mn’nin de klorofilin yapısında bulunmaları nedeniyle algler ile birlikte göz önüne alınan metallerdir (Leaño ve ark. 2006).

Şu anki bazı çalışmalar, toksik ağır metallerin fosfor sınırlaması altında büyüyen fitoplankton türlerine olan etkileri çalışılmaktadır. Deniz diatomları üzerinde yapılan çalışmalarda dışarıdan su ortamına taşınan azot düşük, hücresel C/N oranı yüksek olduğunda bakırın hücrelerde birikimi artmaktadır ve çalışmalar metallerin nütrient sınırlamaları altında farklı toksik etkilerde bulduklarını göstermiştir (Interlandi 2002).

Ötrofikasyon ağır metallerin göllerdeki kalıcılığını arttırmaktadır. Ötrofikasyonun artması dolayısıyla alg patlamalarının ve bundan dolayı indirgenme koşullarının meydana gelmesi bozunma hızını azaltmaktadır. Alglerden kaynaklanan

ince partiküller ve sülfid miktarının artması ağır metal konsantrasyonlarının artmasına yol açabilmektedir. Ağır metal konsantrasyonları ile C ve S konsantrasyonları arasında pozitif korelasyon bulunmuştur. Ağır metal yükleri ile ötrofikasyon artışının devam etmesi, metallerin ekosistem için daha tehlikeli hale gelmesine neden olmaktadır.

2. 19. Göllerde Su ve Sediment Kalitesi Arasındaki İlişkiler

2. 19. 1. Azot

Azot sadece bitkiler için değil tüm canlılar için mutlak gerekli bir makro besin maddesidir. Yapılan çalışmalarda, aldıkları inorganik azotu (NH_4^+ , NO_3^- iyonları) organik azota (aminler, amino asitler, proteinler ve polipeptitlere) dönüştürdükleri ve nitrat redüksiyonu yaptıkları bilinmektedir. Organik azotun protoplazmanın temel maddesi oluşu, klorofil molekülünde bulunması bitkisel ve hayvansal madde değişimi reaksiyonlarında yaşamsal rol oynaması enzim sistemlerinde proteinin taşıyıcı görev görmesi azotun tüm canlılar için hayati önemi olan bir element olduğunu göstermektedir.

Toprakta Azot

Topraktaki bitki besin maddesi kaynağı olan azotun büyük çoğunluğu bitki ve hayvan artıkları ile biriken organik azottur. Ana kayalarda çok az miktarda azot toprağa geçmektedir. Bu nedenle topraktaki azot organik maddeye bağlı olarak değişmektedir. Yüzeysel topraklarında, azotun yaklaşık % 95'i organik, % 5'i inorganik azottur. Organik azotun % 25-40'ı amino azotu, % 5-10'u amino şekeri, % 5-10'u nüklein asitleri azotu halindedir. İnorganik azotun büyük bir kısmını NH_4^+ iyonları ve küçük bir kısmını NO_3^- iyonları ve çok daha az bir kısmını da NO_2^- iyonları halindedir. NH_4^+ iyonlarının büyük bir kısmı kil minerallerine bağlı bulunmaktadır.

Topraktaki azot miktarı, organik madde veya organik karbon ile yakından ilişkilidir. Topraktaki azot % 0,02 ile 0,4 arasında değişmektedir. Azotun karbon gibi değişik oranlarda bulunmasında iklim ve vejetasyon oldukça önemlidir. Toprak tipi, topoğrafisi ve diğerlerinin azot üzerindeki etkileri daha az olmaktadır. İklim faktörleri arasında en önemli olanları sıcaklık ve yağıştır. Bu iki faktör biyolojik aktiviteye çok etkili olmaktadır. Yapılan çalışmalarda, sıcaklık yükseldikçe minerilizasyon nedeniyle

topraktaki azot azalmaktadır. Yağış arttıkça artmaktadır. Anaerob koşullarda mineralizasyon azalmaktadır.

Tane büyüklüğünün azot miktarını etkilediği bilinmektedir. İnce tekstürlü topraklar kaba tanelere göre daha fazla azot kapsamaktadır (Ünal ve Başkaya 1981).

C/N Oranının Mineralizasyona Etkisi

Azot oranı yüksek olan topraklardaki organik azot zamanla mineralize olmaktadır. Karbonhidrat oranı yüksek topraklarda öncelikli olarak karbon, daha sonra azot mineralize olmaktadır. Mineralizasyonda en önemli rolü C/N oranıdır. C/N oranı yüksek olan topraklarda organik azotu kolay mineralize edememektedir. Azot mineralizasyonunun olabileceği C/N = 33 veya C/N= 30 oranına kadar karbon mineralizasyonu devam etmektedir. Bazı çalışmalarda C/N oranı 13-15 arasında olduğu zamanlarda da azot mineralizasyonu görüldüğü olmuştur. C/N oranı ne kadar küçük ise azot mineralizasyon hızı o kadar yüksek olmaktadır.

Azot mineralizasyonu, toprak organik maddesinin C/N oranına, toprak pH'sına, sıcaklığına ve su miktarına bağlıdır. Ayrıca, inorganik kolloidler (kil) kendilerine bağlanan organik maddeleri mikroorganizmaların etkisinden korumaktadır.

Toprak Reaksiyonunun Azot Mineralizasyonuna Etkisi

Yapılan çalışmalarda, pH 5,2 ile 7,8 arasında değişen toprak örneklerinde pH'ın azot mineralizasyonu üzerinde etki yapmadığı, ancak kireç eklenmesi ile mineralizasyonun başladığı görülmüştür. Kalsiyumun organik azotun mineralizasyonuna neden olduğu bilinmektedir.

Toprak Sıcaklığı ve Suyun Azot Mineralizasyonuna Etkisi

Diğer koşullar elverişli olduğu takdirde toprak sıcaklığının yükselmesiyle azot mineralizasyonu hızlanmakta yaklaşık 35 °C'de maksimum değere ulaşmakta ve donma ile durmaktadır. Toprağın su kapsamı ile azot mineralizasyonu arasında yakın bir ilişki kurulmaktadır. Bunda toprağın su tutma kapasitesi ile tekstürü önemli rol oynamaktadır. Kuraklık ve fazla su mineralizasyona olumsuz etki yapmaktadır. Her toprakta su miktarı hava kurusu düzeyinden orta derecede rutubete doğru yükseldikçe mineralizasyon hızlanmakta, tamamen su ile dolunca mineralizasyon durmaktadır.

Toprak Reaksiyonunun Nitratlaşmaya Etkisi

Topraktaki nitratlaşmaya etki yapan mikroorganizmalar pH değişikliklerine karşı çok duyarlıdır. Nitrifikasyon bakterileri genellikle 5 ile 10 arasında faaliyet gösterirler. Nötral ve nötrale yakın ortamlarda daha etkilidirler. pH'ları 5 ile 3,5 arasında bulunan çayır ve meralarda nitratlaşmanın olduğu ancak yavaş seyrettiği görülmüştür.

Silikatların Kristal Örgülerine Bağlı NH_4^+ İyonları

Silikat mineral ve kayaları kristal örgüleri içine bağlanmış NH_4^+ iyonları ihtiva edebilirler. Kristal örgülere bağlı NH_4^+ iyonları silikat iyon şebekesinin ünitesi olduklarından diğer katyonlar ile yer değiştiremezler. Değişmeyen amonyum iyonlarının miktarları minerale göre değişmektedir. Toprakların kil miktarları ile $\text{NH}_4\text{-N}$ arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Kil miktarı % 10'dan yüksek olan topraklarda ortalama 0,8 mg N/ g kil dir.

Yapılan araştırmalara göre nemli ortamlarda toprak çözeltisinden kil mineralince fiske edilen NH_4^+ iyonlarının ancak küçük bir bölümünden bitkiler yararlanabilmektedir. NO_3^- iyonları toprak kompleksi tarafından iyi tutulmamaktadır (Ünal ve Başkaya 1981).

2. 19. 2. Fosfor

Toprakta İnorganik Fosfatlar

Topraktaki inorganik fosfatlar primer ve sekonder olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Sekonder fosfatlar apatit ve diğer primer minerallerin tecezzileri ve gübre olarak verilen fosfatların çözünmeleriyle oluşan bağımsız fosfat anyonlarının Ca^{+2} , Al^{+3} , Fe^{+3} ve benzeri katyonlarla reaksiyona girerek güç çözünen bileşikler vermelerinden ve inorganik toprak kolloidlerine bağlanmalarından oluşmaktadır. Topraktaki fosfat mineralleri bileşimlerine göre kalsiyum fosfatlar ve alüminyum, demir fosfatlar olmak üzere iki gruba ayrılırlar (Ünal ve Başkaya 1981).

Kalsiyum Fosfatlar

Topraktaki kalsiyum fosfat çeşitleri oldukça fazladır. Bunların en önemlileri;

| | |
|--------------------------|--|
| Hidroksilapatit | $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3.\text{OH}$ |
| Flor apatit | $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3.\text{F}$ |
| Karbonatapatit | $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3.\text{HCO}_3$ |
| Oktakalsiyum fosfat | $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3.3\text{H}_2\text{O}$ |
| Trikalsiyum fosfat | $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ |
| Sekonder kalsiyum fosfat | CaHPO_4 |
| Monokalsiyum fosfat | $\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2$ (Çözünür) |

Topraktaki kalsiyum fosfatların çoğu kalsiyum miktarları apatitle dikalsiyum fosfat arasında bulunmaktadır. Bunların en yaygın olanı $[\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3.3\text{H}_2\text{O}]$ ve $[\text{Ca}_4\text{HPO}_4.2\text{H}_2\text{O}]$ dir. Hidroksilapatit ve flor apatit izomer karışımlar halinde de bulunmaktadır. Çünkü OH^- ve F^- iyonlarının çapları birbirine çok yakındır. Kalsiyum fosfatlar daha çok zayıf asidik-kalevi ortamlarda oluşmaktadır.

- 1- $\text{Ca}^{+2} + \text{HPO}_4^{-2} \leftrightarrow \text{Ca}_4\text{HPO}_4$
- 2- $4\text{Ca}^{+2} + 3\text{HPO}_4^{-2} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 + 2\text{OH}_3$
- 3- $5\text{Ca}^{+2} + 3\text{HPO}_4^{-2} + 4\text{OH} \leftrightarrow \text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} + 3\text{H}_2\text{O}$

2 ve 3 numaralı reaksiyonların yürümesinde daha çok ara reaksiyonlar etkili olmaktadır. Ca fosfatlar toprak çözeltilisinde güç çözünen bileşiklerdir. Çözünürlükleri Ca miktarı arttıkça azalmaktadır. Başka bir deyimle suda çözünen monokalsiyum fosfattan apatite doğru çözünürlük azalır. Toprak pH sınırı yükselmesi ve Ca^{+2} iyonları konsantrasyonlarının artmasıyla çözünürlük daha da azalır. Kireçli topraktaki fosfatların % 80'ninden fazlasını kalsiyum fosfatlar oluşturmaktadır. Hafif asidik reaksiyon gösteren toprakların çoğunda Ca^{+2} fosfat miktarı Fe ve Al fosfatlardan daha fazladır. Ca fosfatlar daha çok kum ve silt, Fe-Al fosfatlar kil fraksiyonlarında bulunmaktadır (Ünal ve Başkaya 1981).

Demir ve Alüminyum Fosfatlar

Topraklardaki Fe ve Al fosfatların en önemlilerinin ad ve formülleri aşağıda verilmiştir:

| | |
|-----------|--|
| Strengit | $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ |
| Düfranit | $\text{FePO}_4 \cdot \text{Fe}(\text{OH})_3$ |
| Vivianit | $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ |
| Variscit | $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ |
| Vavelit | $\text{Al}_3(\text{OH})_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ |
| Borrandit | $(\text{Al.Fe}) \text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ |
| Taranakit | $(\text{K, NH}_4)_3 \cdot \text{Al}_5\text{H}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ |

Vivianit indirgen ortamlarda, iyi drene edilemeyen ve havalanamayan topraklarda oluşmaktadır. Koşulların düzeltilmesiyle iki değerlikli demir üç değerlikli demire yükseltgenir ve FePO_4 oluşur. Taranakit fosfat NH_4^+ , K^+ iyonları konsantrasyonlarının fazla olduğu ortamlarda oluşmaktadır. Ancak çözünürlüğü fazla olduğu için ara ürün olarak kısa bir süre toprakta bulunmaktadır.

Kalsiyum ve Fe-Al fosfatlar güç çözünen bileşiklerdir. Ortam pH'sı düştükçe Ca-fosfatların çözünürlükleri artmaktadır. Fe ve Al fosfatların çözünürlükleri de azalmaktadır. Ca-fosfatların çözünürlükleri, ortamdaki Ca^{+2} iyonlarının, Fe ve Al fosfatların çözünürlükleri de Fe^{+3} ve Al^{+3} iyonlarının konsantrasyonlarının artması ile azalır. Oktokalsiyum fosfatın Ca^{+2} iyonları konsantrasyonunu 4 mg Ca/l olan ortamdaki çözünürlüğü, Ca^{+2} konsantrasyonu 200 mg Ca/l olan ortamdaki çözünürlüğünden belli pH derecelerinde yaklaşık 100 kat daha fazladır. Bu durum kalsiyum fosfatların CaCO_3 'lü ortamlarda çok azalması nedenini açıklamaya yetmektedir. Toprak çözeltilisindeki Ca^{+2} iyonları konsantrasyonunun artması sadece toprağın kalsiyum doygunluğu ile ilgili değildir. Aynı zamanda CO_2 konsantrasyonunun toprak çözeltilisindeki miktarına da bağlıdır. Toprak çözeltilisindeki karbonik asit ortamdaki kalsiyum karbonatı zamanla kalsiyum bi karbonata dönüştürmektedir. ($\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}^{+2} + 2\text{HCO}_3^-$) ve böylece toprak çözeltilisindeki Ca^{+2} iyon konsantrasyonları CO_2 konsantrasyonuna ve ortam şartlarına bağlı olarak artmaktadır.

Toprakların mikrobiyal aktivitelerinin yükselmesi CO_2 çıkışını arttırdığından kalsiyum fosfatların oluşumunu desteklemektedir. Buna karşılık Fe ve Al fosfatların

oluşumu azalır. Absorbif fosfatların başka bir deyimle Al ve Fe oktitlerle kil minerallerinin üst yüzeylerine kil minerallerinin bağlanmasıyla oluşan fosfatların çözünürlükleri de strengit ve variscitin çözünürlüklerine benzemekle birlikte pH ya bağlı dengeler farklı sonuçlar verebilmektedir. Kuvvetli asidik reaksiyon gösteren bir toprakta Ca fosfatlara, kalemli reaksiyon gösteren topraklarda da Fe ve Al fosfatlara rastlanabilmektedir (Ünal ve Başkaya 1981).

Toprakta Organik Fosfor Bileşikleri

Topraktaki organik fosfatlar kompleks bileşiklerdir. Çoğunun mahiyetleri henüz kesinlikle belli değildir. Topraktaki organik fosfor bileşiklerinin en önemlileri:

1. İnosit heksafosforik asit (fitin asidi), inosit heksafosforik asit esterleri, türevleri (fitin) ve fitatlar (fitin tuzları),
2. Nüklein asitleri, nükleotitler, nükleosidler ve nükleoproteinler,
3. Fosfotitler (lesitin, kefein, fosfolipidler) dir.

Bu gruplarda da çok çeşitli bileşikler bulunmaktadır. Organik fosfatlar toprağa bitki artıkları ve organik gübrelerle dahil olurlar ve mikrobiyal sentezle de topraklarda oluşmaktadır. Çeşitli topraklardaki biyolojik fosfor oranları (C/P) geniş sınırlar arasında değişmektedir. Bu nedenle de biyolojik karbon ve biyolojik fosfor arasında önemli bir ilişki yoktur.

Bitkiler protein ve nüklein asitleri gibi büyük molekülü bileşiklerden direkt olarak yararlanamazlar. Mikroorganizmalar, mantarlar ve bakteriler çeşitli enzimleri oluşturarak, yüksek bitkilerde fitas enzimleri salarak organik fosfatları parçalayarak yararlanma çabası göstermektedirler. Bitkilerin topraktaki organik fosfordan yararlanmaları büyük ölçüde fosfor mineralizasyonuna bağlı kalmaktadır. Uygun ortam koşullarında enzimlerin etkileriyle hidroliz olarak kolayca mineralize olabilmektedir. Azot mineralizasyonunu sağlayan koşullar çoğu zaman fosfor mineralizasyonunda da elverişli olmaktadır. Özellikle sıcaklık, havalanma, toprak reaksiyonu önemli etkiler yapmaktadır. Fosfor mineralizasyonu normal hızda yürümekte ise de 35 °C nin üstünde hızlanmaktadır. Torf toprakları üzerinde yapılan araştırmalarda 27 °C'de 4 ayda organik fosforun % 5-15'inin mineralize olduğu saptanmıştır. Toprak organik maddesindeki C/P oranında fosfor mineralizasyonuna etkili olmaktadır. C/P<200 olması halinde

mineralizasyon normal yürümekte, C/P>300 olması halinde organik madde ortamdaki fosfat iyonlarını bağlama meyli göstermektedir.

Fosfat Fiksasyonu

Topraktaki fosforlu bileşiklerin çözünmesiyle oluşan H_2PO_4^- ve HPO_4^{2-} iyonları toprak kompleksi tarafından adsorbe edilerek çözünmeyen bileşikler haline dönüştürülmesine fosfat fiksasyonu denilmektedir. Fiksasyona neden olan maddelerin en önemlileri;

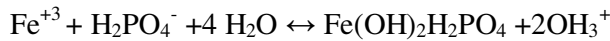
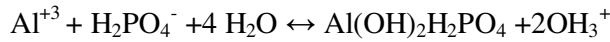
1. Toprağın ince fraksiyonlarında bulunan koloidal Al ve Fe hidroksit ve hidrat oksitleri ile kil mineralleri
2. Toprak çözeltisinde ortam pH sına bağlı olarak bulunabilen Al^{+3} , Fe^{+3} , Fe^{+2} , Mn^{+2} , ve Ca^{+2} iyonları gibi H_2PO_4^- ve HPO_4^{2-} iyonlarını çöktürebilen katyonlar

Mikroorganizmalar ve biyolojik fiksasyondur (Ünal ve Başkaya 1981).

Asidik Topraklarda Fosfor Fiksasyonu

Asidik reaksiyon gösteren topraklarda bağımsız ve değişebilir Al^{+3} ve Fe^{+3} iyonları, kil fraksiyonlarında da Al ve Fe'in hidroksit, hidratoksit ve oksitleriyle kil mineralleri bulunmaktadır.

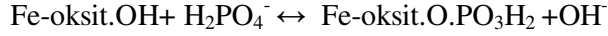
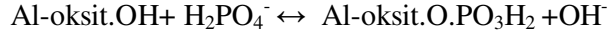
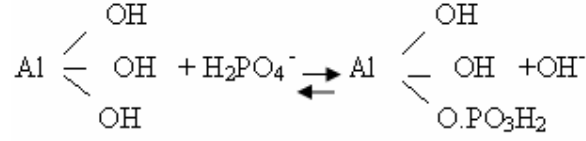
- a) Al^{+3} ve Fe^{+3} (Fe^{+2}) iyonlarının fiksasyona etkileri. Fosforlu gübrelerden $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ toprak suyunda çözüldüğü zaman H_2PO_4^- iyonları bağımsız hale gelir. Al^{+3} ve Fe^{+3} iyonları ile reaksiyona girerek suda çözünmeyen bileşikler vermektedir.



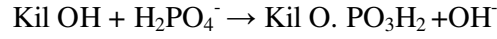
Toprak çözeltisindeki bağımsız Al^{+3} ve Fe^{+3} iyonları H_2PO_4^- iyonlarıyla reaksiyona girdikçe yeni bir dengenin oluşması için değişebilir Al^{+3} ve Fe^{+3} iyonlarından bir bölümü daha toprak çözeltisine geçer ve ortamdaki H_2PO_4^- iyonlarıyla reaksiyona girerek çöker. Bu reaksiyonlarla yarayışsız hale geçen fosfor miktarı Al^{+3} ve Fe^{+3} iyonlarının konsantrasyonlarına göre değişmektedir.

- b) Al ve Fe oksitlerle kil minerallerinin fosfor adsorbsiyonları: Al ve Fe oksitler deyimi Al ve Fe'nin hidroksit, hidrotoksit ve oksitlerini kapsayan bir terimdir. Fiksasyon aşağıda açıklandığı gibi olmaktadır.

1. Fosfat iyonları koloidal Al ve Fe oksitlerin üst yüzeylerine yakın OH gruplarının yerlerine anyon değişimi yoluyla bağlanmaktadır.



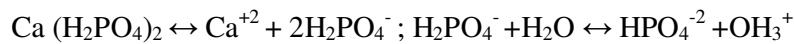
2. Fosfat iyonları kil minerallerinin oktaederlerindeki yan yüzeylerine bağlı Al-OH gruplarının OH iyonlarının yerine anyon değişimi ile bağlanmaktadır. Elementer katlar arasındaki polimer hidroksoalüminyum iyonlarında adsorbsiyon yapabilmektedir.



Fosfat iyonlarının Al ve Fe oksitlerle kil minerallerine bağlanma enerjileri büyük olduğundan yukarıdaki reaksiyonlar daha yüksek pH'lı ortamlarda da yürüyelebilmektedir. Fosfat fiksasyonu pH düşmesi ile artar ve fiksasyon büyük ölçüde koloidal Al ve Fe oksitlerin izoelektrik noktalarına bağlıdır (Ünal ve Başkaya 1981).

Bazık Topraklarda Fosfor Fiksasyonu

Bazık reaksiyon gösteren topraklarda pH>7 olduğundan topraktaki fosforlu gübrenin çözünmesiyle ortamda daha çok HPO_4^{-2} iyonları oluşur.



Toprak çözeltisindeki Ca^{+2} iyonları HPO_4^{-2} iyonları ile reaksiyona girerek önce suda az çözünen CaHPO_4 halinde çöker ($\text{Ca}^{+2} + \text{HPO}_4^{-2} \leftrightarrow \text{CaHPO}_4$). Bu bileşik zamanla ortamdaki Ca^{+2} iyonlarının etkisiyle çok daha az çözünen oktakalsiyumfosfat $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3$ ve hidroksil apatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ kadar dönüşür.

Çözeltideki Ca^{+2} iyonları konsantrasyonunun fazlalığı halinde ve $\text{pH} > 7.5$ olduğu takdirde $3\text{Ca}^{+2} + 2\text{HPO}_4^{-2} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 2\text{OH}_3^+$ ve $4\text{Ca}^{+2} + 3\text{HPO}_4^{-2} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 + 2\text{OH}_3^+$ reaksiyonlarıyla da trikalsiyum fosfat ve oktakalsiyum fosfat oluşabilmektedir. Kireçli alkali topraklarda koloidal CaCO_3 taneciklerine degen HPO_4^{-2} iyonları bu tanecikler tarafından tutulmaktadır. Bu şekilde CaCO_3 tanecikleri yüzeylerine çöken HPO_4^{-2} miktarı değme yüzeyleri ve çözeltideki HPO_4^{-2} iyonu konsantrasyonlarına göre değişmektedir ve zamanla da $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ oluşmaktadır. Kireçli kalevi (alkali) topraklardaki kil mineralleri de fosfat adsorbsiyonu yapmaktadır. Bir topraktaki Ca^{+2} iyonlarınca doygun olan kil mineralleri Na^+ ve K^+ iyonlarınca doygun olanlara göre daha çok fosfat adsorbe etmektedir. Bu türlü adsortif fosfatlarda zamanla $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3$ ve ya $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ye dönüşmektedir (Ünal ve Başkaya 1981).

Biyolojik fosfor fiksasyonu

Topraktaki mikroorganizmalar kendi vücut sentezlerini yapabilmek için topraktaki bitkiler için yararışlı olan fosforun bir kısmını adsorbe ederler. Bu olaya biyolojik fiksasyon denilmektedir. Mikroorganizmaların ölümlerinden sonra artıkların mineralizasyonu sonunda bu fosfordan bitkiler yararlanmaktadır.

Fosfat Yararışlılığı Üzerine Toprak Organik maddelerinin Etkileri

Topraktaki organik fosforun miktarı genel olarak organik madde miktarının artışıyla beraber artma göstermektedir. Toprak organik maddelerinin mikrobiyel değişimleri hüminleşme ile oluşan maddelerin çoğu, petkinler, amino asitler, aminler, dikarboksilli asitler, humin maddeleri, özellikle fulvo asitleri, kren ve apokren asitleri, hymotemalan asitleri-chelatör bileşikleridir. Bu bileşikler toprak alkalisi katyonları ve Fe^{+2} , Fe^{+3} , Al^{+3} katyonları ile şelat adı verilen bir bölümü suda çözülebilen stabil kompleks bileşikler yapmaktadırlar. Böylece Al, Fe ve Ca fosfatların oluşumunu sınırlandırmakta ve fosfatların çözünürlüklerini artırmaktadır.

Topraktaki Fosfor Yarayırlılığı Üzerine Redoks Potansiyelinin Etkileri

Anaerob şartlar altında indirgen ortamlarda topraktaki organik artıkların hüminleşmelerinde daha çok kren, apokren asidleri, küçük moleküllu fulvo asitleri meydana gelmektedir. Bu asitler toprağa bazen asidik reaksiyon verirler ve topraktaki demir bileşiklerini kısmen çözerlerse de kuvvetli çelatlar yaparak asidik ortamlarda bile fosfat anyonlarını FePO_4 halinde çökmelerine engel olunarak fosfatların yarayırlılıklarını artırırılar.

Fulvo asitleri toprak çözeltilerindeki Ca^{+2} , Mg^{+2} iyonları ile de chelat yaparak fosfat iyonlarının kalsiyum fosfatlar halinde çökmelerine de mani olurlar.

İndirgen ortamlarda FePO_4 ın $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ye indirgenmesi neticesinde bağımsız hale gelen fosfat iyonlarından bitkilerin istifade etmeleri sağlanmaktadır (Ünal ve Başkaya 1981).

pH'in Fosfor Yarayırlılığı Üzerine Etkileri

pH ları 8,2 ile 8,5 ten yukarı olan topraklarda toprak çözeltilerindeki HCO_3^- iyonları CO_3^{-2} iyonlarına dönüşmeye başladığından CO_3^{-2} iyonları konsantrasyonları artmaktadır. Bu nedenle de Ca^{+2} , Mg^{+2} iyonları konsantrasyonları azalmaktadır ($\text{Ca}^{+2} + \text{CO}_3^{-2} \leftrightarrow \text{CaCO}_3$). Böylelikle fosfat iyonları kalsiyum fosfatlar halinde daha az çökelmekte ve yarayırlılığı artmaktadır.

Azot ve fosforun topraktaki davranışları sedimentte de benzer şekilde devam etmektedir. Sediment ile su arasında nütrient döngüsünün oluşmasını sağlayan etken, dipte yaşayan mikro alglerdir. Özellikle baharda ve yaz sonunda kısa dönemli Si ve N kısıtlaması yaşanmaktadır. P kısıtlaması ise hemen hemen her dönemde meydana gelmektedir. Yaz sonunda meydana gelen azot sınırlaması, sedimentte bulunan P ve Si'nin çok miktarda serbest kalmasıyla meydana gelmektedir. Bu durum $\text{NO}_3\text{-N}$ 'in denitrifikasyonu ile ilişkilendirilmektedir (Spears ve ark. 2008). Bu sebeple su kolonundaki $\text{PO}_4\text{-P}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ 'in konsantrasyonlarının aylara göre değişiminin incelenmesi önemlidir.

Daha önce sığ göller üzerinde yapılan çalışmalarda, ışık ve sıcaklığın sediment ve su arasındaki nütrient döngüsüne ve sonucunda su kolonundaki nütrient stokiyometrisi üzerindeki etkileri sediment üzerinde yapılan inkübasyon deneyleri sonucunda belirlenmiştir (Spears ve ark. 2008). Sedimente bağlı fosfor, bahar ayında 7

°C'de absorbe edilmiş, sonbaharda (12 °C'de) serbest bırakılmış ve yazın (17 °C'de) yine serbest bırakılmıştır. Sedimentten serbest bırakılan fosforun en yüksek değerine yazın rastlanmıştır. Su kolonundaki PO₄-P ve TP konsantrasyonları, ışığın olmadığı koşullar altında daha yüksek çıkmıştır. NH₄-N konsantrasyonları ise düşük sıcaklıkta ve ışığın olmadığı koşullarda yüksek, ışıklı ve yüksek sıcaklıkta ise yine yüksek çıkmıştır. TN konsantrasyonunun su kolonundaki miktarı üzerine ışık etkisi görülmemiştir. Işıklı koşullarda TN:TP oranı yüksek çıkmıştır. Sedimentten nütrientlerin serbest kalmasını etkileyen başlıca etkenin fotosentez sonucunda artan çözülmüş oksijen ve pH olduğu anlaşılmıştır (Spears ve ark. 2008). Organik azot ve fosforun tekrar mineralize olması sonucunda, sediment-su arayüzeyinin hemen altında amonyum ve fosfat artmaktadır. Organik maddenin bozunması sonucunda ortaya çıkan amonyum ve organik karbonun bozunması sonucunda, meydana gelen CO₂ sebebiyle kalsitin çözünmesi alkalinitenin artmasına neden olmaktadır.

NO₃⁻ ve SO₄⁻'in tüketilerek Mn²⁺'nin oluşması sediment-su arayüzeyinde meydana gelmektedir. MnO₂' nin oluşması sedimentin en üst kısmında meydana gelmektedir.

Sediment profilinde, sülfidin maksimum konsantrasyonu Mn²⁺'nin maksimum konsantrasyonundan daha az oluşmaktadır. Kirleticilerin bu değişimleri redoks potansiyelleri ile ilişkilendirilmektedir. Derinlikle birlikte, Mn²⁺'de ve S²⁻'de meydana gelen azalma demir sülfid ve MnCO₃'ların çökmesi ile ilişkilendirilebilmektedir. Fosfat içeren minerallerin çökmesi boşluk suyundaki fosfatın azalmasına neden olmaktadır. (Stumm ve Morgan 1996).

2. 20. Çevre Kirliliği ve Su Kalitesinin Değerlendirilmesinde Coğrafik Bilgi Sisteminin Kullanımı

Su kalitesinin izlenmesi ile ilgili olarak nütrient yüklerinin makrofit indeksi kullanılarak değerlendirilmesi amacıyla daha önceden belirlenmiş indikatör türler kullanılarak CBS uygulaması yapılmıştır. Bunun için öncelikli olarak dijital veri tabanı oluşturularak gölün çizgisel haritası oluşturulmuştur. Verilerin saklanması, analizleri ve haritaların üretilmesi CBS software olan ARC/INFO'da yapılmıştır. Haritalandırma için çeşitli türlere ait hesaplanan makrofit indeksleri 6 gruba ayrılmıştır. Bu gruplar çok düşük, düşük, orta, kabul edilebilir, yüksek, çok yüksektir. Benzer olarak bulunan

türlerin yoğunluklarına göre çok nadir, nadir, yaygın, zengin ve çok zengin olarak dağılım haritaları oluşturulmuştur. Yapılan haritalandırma çalışmaları neticesinde CBS'nin doğal koruma alanlarında gelecekte yapılacak ekolojik araştırmalar, projeler için ve ziyaretçiler için önemli bir araç olduğu düşünülmüştür (Schmieder 1997).

Başka bir çalışmada havza kullanım alanının sürdürülebilir olması amacıyla sosyoekonomik istatistiksel bilgiler kullanılarak haritalandırma yapılmıştır. Haritalandırmada kullanım alanlarının türlerine göre fiyatlandırma yapılarak 2006-2020 yılları arasında olacak gelişmelere bağlı olarak meydana gelecek olan değişimlerin ekonomik kaybı değerlendirilmiştir (Liu ve ark. 2007).

Lim ve arkadaşlarının Kore'de yapmış olduğu çalışmada, dijital yükseklik modeli oluşturularak ve etkili erozyon kontrolü için sediment değerlendirme (SATEEC) ve toprak kaybı eşitlikleri kullanılarak göl havzasında meydana gelen toprak kaybı tahmin edilebilmiştir.

Coğrafik Bilgi Sistemi ile yapılan çalışmada, ilk olarak, göl ortamı sayısallaştırılmıştır. Sınırlar ve derinlik noktaları eklenmiştir. Gölün batimetrisi ortaya çıkarılmıştır. Daha sonra modelleme çalışması için ayrılan her bir bölüm poligonlarla belirlenmiştir. Bu alanlara ait hacimler hesaplanmıştır. Coğrafik Bilgi Sistemi ile elde edilen bu veriler su kalitesi modeline girilmiştir (Din 1999, Iturbe 2005).

Güney İspanya'da bulunan Guadiamar Nehri kıyısında, madencilik yapılması sebebiyle ağır metal kirliliği olan topraklarda ağır metallerin çevresel etkilerini belirlemek için çevresel risk haritası oluşturulmuştur. Bunun için farklı numune alma noktalarından numuneler alınıp analiz edildikten sonra parametreler kriging metodu kullanılarak coğrafik bilgi sisteminde haritalandırılmıştır. Daha sonra verilerin ortalama ve standart sapma değerleri bulunarak histogram grafikleri çizilmiştir. Ayrıca parametreler arasındaki korelasyonlar bulunmuştur. Eğer (if) programlama terimi kullanılarak ve pH değişimi ile ilişkilendirilerek çeşitli senaryolarla risk haritası oluşturulmak üzere bir simulasyon uygulanmıştır. Risk haritasından sonra oluşan risk seviyesi, kapladığı toprak alanının yüzdesi düşünülerek çevresel etki haritası hazırlanmıştır. Son olarak, her bir senaryoya göre hazırlanan çevresel etki haritası karşılaştırılmıştır (Franco ve ark. 2006).

Çin'de bulunan Chao Gölü'nde özellikle ötrofikasyonun belirlenmesine yönelik olarak incelenen parametrelerin, göl içerisindeki dağılımlarının ortaya çıkarılması,

yağışlı ve kurak dönemlere ait dağılımlar arasındaki farkların ortaya konması amacıyla CBS uygulamalarına başvurulmuştur. Bu amaçla, en uygun ve kabul edilebilir yöntem olarak gösterilen Trofik seviye indeksi'nin (TSI), biyolojik, kimyasal ve fiziksel indikatörler yardımıyla oluşturulması esasına dayanan Carlson, Walker, Porcella ve diğerlerinin 0 – 100 arasında sayısal sınıflaması kullanılmıştır (Xu ve ark. 2001). Çalışma kapsamında öncelikle Carlson (1977) ve Paecella (1980)'nın geliştirdikleri oluşturulmuştur. Bu skala, seki derinliği, klorofil-a, toplam fosfor ve toplam azot parametreleri için oluşturulmuştur. 0 ile 100 arasında değişen bu skalada 0 – 30 arası oligotrofik, 30 – 40 arası düşük mesotrofik, 40 – 50 arası mesotrofik, 50 – 60 arası yüksek mesotrofik, 60 – 70 arası ötrofik, 70 – 80 arası hiperötrofik ve 80 – 100 arası aşırı hiperötrofik seviyeyi temsil etmektedir (Xu ve ark. 2001).

Bu çalışma kapsamında konsantrasyonları belirlenen ağır metal ve diğer su ve sediment kalitesi parametrelerinin göldeki kirlilik dağılım haritaları ArcGIS 9.3 programının konumsal (uzaysal) analizler modülünün sürekli yüzeyler oluşturma aracının sunduğu IDW modeli yardımıyla coğrafik konumları baz alınarak oluşturulan vektörel nokta verisinin öznitelik tablolarına girilen ağır metal ve su kalitesi parametreleri kullanılarak hazırlanmıştır (Xu ve ark. 2001).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3. 1. Örnekleme Programı

Ağır metallerin, bazı iz elementlerin ve göldeki ötrofikasyon ile ilgili olarak incelenen parametrelerin Uluabat Gölü'nde suda ve sedimentteki konsantrasyonlarını tespit etmek amacıyla planlanan bu çalışma kapsamında bir örnekleme programı hazırlanmış ve uygulanmaya çalışılmıştır. Ağır metal ve iz elementlerin suda çözülmüş ve askıda katı maddelere bağlanmış halde bulunan formları ile sedimentte mobil halde bulunanlar, kolay serbest hale geçebilenler, Fe-Mn oksitlere bağlı, organik maddelere bağlı ve kalıntı halinde bulunan fraksiyonları incelenmiştir. İncelenen ağır metal ve iz elementler Fe, Mn, Zn, B, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd, As dir. Gölün su kalitesindeki mevsimsel değişimleri anlayabilmek, gölün su ve sediment kalitesi ve ötrofikasyonu ile ağır metal konsantrasyonlarını ilişkilendirip yorumlamak amacıyla suda ve sedimentte sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, NH₄-N, NO₃-N, TN (Toplam Azot), PO₄-P, TP (Toplam Fosfor) parametreleri incelenmiştir. Suda ve sedimentte incelenen ortak parametrelerin dışında suda ayrıca çözülmüş oksijen, askıda katı madde, seki derinliği, sertlik, alkalinite, KOİ, BOİ₅ ve klorofil-a parametreleri ölçülmüştür. Sedimentte ise, sudan farklı olarak toplam % organik madde, % TC, % TN, % CaCO₃ parametreleri belirlenerek, tekstür (mekanik) analizi yapılmıştır.

Suda ve sedimentte yapılan incelemeler dışında, Uluabat Gölü'nde ekonomik değer taşıyan *Esox lucius* (Turna) ve *Cyprinus carpio*'nun (Sazan) kas, solungaç ve ciğer dokularındaki Fe, Mn, Zn, B, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd, As elementlerinin konsantrasyonları belirlenmiştir.

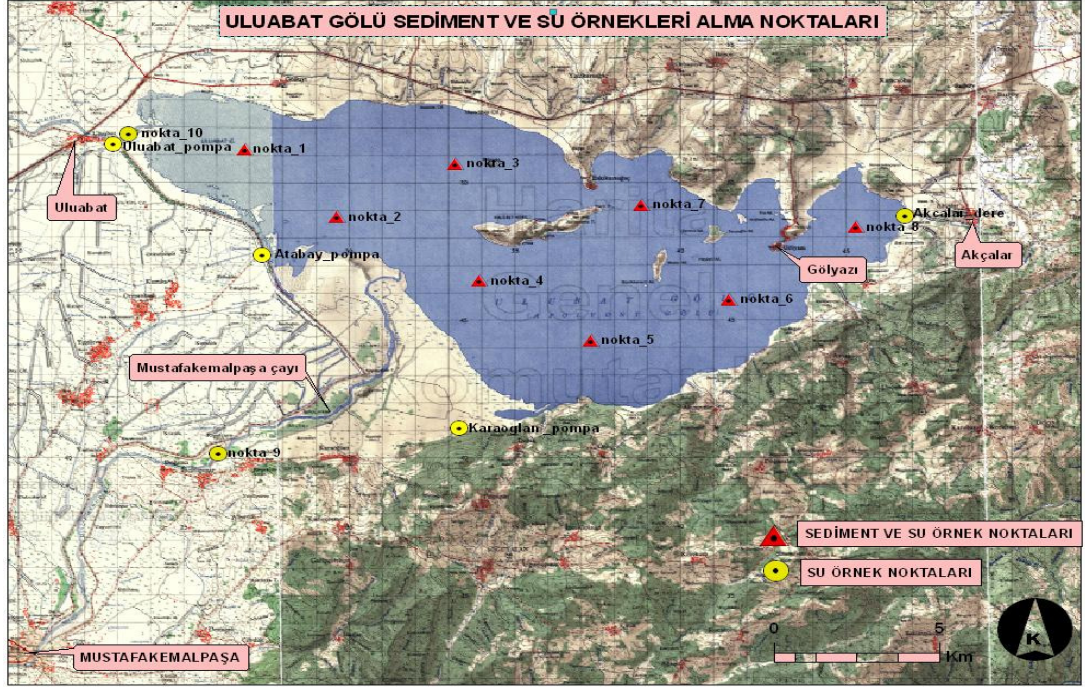
Su ve sedimentte ölçülen parametreler 1 yıl süre ile aylık olarak kirlenici kaynaklara olan uzaklıklar, farklı derinlikler ve hidrodinamik özellikler göz önüne alınarak seçilen göl içindeki 8 ölçüm istasyonunda ve sadece suda ölçülen parametreler gölü besleyen Mustafakemalpaşa Çayı'nda, gölün boşalmasını yapan Kocası Dere'sinde, evsel ve endüstriyel atıksuların deşarj edildiği Akçalar Deresin'de, ayrıca, sulama sularının geri dönüş yaptığı ve atıksuların deşarj edildiği DSİ'ye ait olan Uluabat, Atabay ve Karaoğlan Pompa istasyonlarında olmak üzere toplam 14 istasyonda incelenmiştir. Örnek alma çalışmaları 2008 Mayıs Ayı'nda başlanarak 2009 Mayıs Ayı'nda tamamlanmıştır. 12 aylık sonuçların değerlendirilebilmesi için, istatistiksel

hesaplamalar 2008 Haziran Ayı'ndan başlatılarak yapılmıştır. Yağış, sis ve şiddetli rüzgarın olmadığı zamanlarda gerçekleştirilmiş olmasına rağmen örnek alma programında bir aksama meydana gelmemiştir.

3.1.1. Örnekleme Noktaları

Uluabat Gölü'nde daha önce yapılan su kalitesi çalışmaları DSI'nin belirlemiş olduğu 5 ölçüm istasyonunda tamamlanmıştır. Göldeki kirleticilerin dağılımını daha iyi belirleyebilmek amacıyla örnekler 8 ölçüm istasyonundan alınmıştır. Ölçüm istasyonlarının seçimleri yapılırken bir fizibilite çalışması yapılarak etraftaki önemli kirletici kaynaklar, akarsular ve bölgelerin hidrodinamik özellikleri dikkate alınmıştır.

Numune alınan noktasal kaynaklardan biri olan MKP Çayı gölü kirleten ve besleyen en önemli kaynaktır. MKP Çayı (9. istasyon) daha önce kaynak araştırması kısmında belirtildiği gibi krom ve bor maden işletmelerinin, termik santralin olduğu, kanalizasyon sularının karıştığı, yüksek miktarda askıda katı madde taşıyan ve tarımsal açıdan gelişmiş bir havzada bulunmaktadır. Gölün boşalmasını yapan fakat aynı zamanda kışları debisinin oldukça yüksek olması nedeniyle geriye doru akıntılar meydana getirmesi sonucu Nilüfer Çayı'nın Simav Çayı ile birleşimi sonrasında karışan kirleticilerin göle taşınmasına neden olan Kocasu Çayı (10. istasyon) örnek alınan diğer bir istasyondur. Akçalar Beldesinin mezbaaha atıksularının ve bazı gıda sanayi atıksularının deşarj edildiği Akçalar Deresi, yoğun miktarda kirlilik yükü taşımaktadır. Bu nedenle bu akarsudan örnekler alınmıştır. Göl içinde bulunan 1. istasyon gölün çıkış ayağına yakın ve gölün en batısında, 8. istasyon da Akçalar Deresi girişine yakın ve gölün en doğusunda bulunmaktadır. DSI'nin sulama sularının toplandığı ve atıksuların deşarj edildiği Uluabat Pompa İstasyonu, 10. istasyona (Kocasu Çayı) ve göl içindeki 1. istasyona yakın bulunmaktadır. Atabay Pompa İstasyonu göl içindeki 2. istasyona yakın bir bölgede bulunmaktadır. Karaoğlan Pompa İstasyonu, gölün en güneyinde ve 5. istasyona yakın bulunmaktadır. Uluabat Gölü'nde ve Havzası'ndaki noktasal kirletici kaynaklara ait örnek alma istasyonlarının yerleri şekil 3. 1'de gösterilmiştir. Örnek alma istasyonlarının koordinatları GPS ile tespit edilmiş ve Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Uzaktan Algılama Merkezi'nin yardımlarıyla haritalandırılmıştır. Örnek alma istasyonlarına ait koordinatlar çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3. 1. Uluabat Gölü ve Havzası'ndaki noktasal kirletici kaynaklara ait örnek alma istasyonlarının yerleri (Anonim 2010 c)

Çizelge 3. 1. Örnek alma istasyonlarına ait koordinatlar (Anonim 2010 c)

| İstasyon no | X (Doğu) m | Y (Kuzey) m |
|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 626865 | 4451240 |
| 2 | 629634 | 4448777 |
| 3 | 633217 | 4450699 |
| 4 | 633953 | 4446460 |
| 5 | 637299 | 4444284 |
| 6 | 641498 | 4445781 |
| 7 | 638853 | 4449214 |
| 8 | 645313 | 4448410 |
| 9 | 626061 | 4440190 |
| 10 | 623020 | 4451392 |
| UPİ | 622891 | 4451426 |
| APİ | 627393 | 4447402 |
| KPİ | 633263 | 4441067 |
| Akçalar Deresi | 646797 | 4448799 |

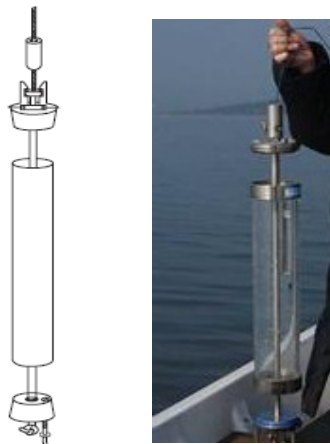
* UPİ: Uluabat Pompa İstasyonu

* APİ: Atabay Pompa İstasyonu

* KPİ: Karaoğlan Pompa İstasyonu

3.1.2. Örnekleme Metodu ve Örnekleyciler

Su ve sediment örneklerini toplamak için 2 farklı örnekleyci kullanılmıştır. Örnekler eş zamanlı toplanmıştır. Örnek alma çalışmaları, istasyonların GPS cihazı kullanılarak belirlenmesi ve üstü açık bir tekne ile çalışmaların yapılması nedeniyle yağış ve sisin olmadığı zamanlarda yürütülmüştür. Örnekler genellikle sabah 08:00 ile öğleden sonra 15:00 saatleri arasında, göl içindeki istasyonlardan, DSİ personelinden oluşan başka bir ekiple de noktasal kirletici kaynaklardan da eş zamanlı olarak alınmıştır. Su ve sediment örneklerinin toplanmasında iki farklı ekipman kullanılmıştır. Uluabat Gölü sığ bir göl olmasına rağmen yüzey ve dip konsantrasyonları arasındaki farklılıkları analiz edebilmek amacıyla su örnekleri göl içindeki tüm istasyonlardan yüzeyden 0,5 m aşağıdan ve dip kısmından olmak üzere su kolonu boyunca iki tabakadan alınmıştır. Dipten alınan su örnekleri Kemmerer and Van Dorn su örnekleycileri olarak bilinen derinlik boyunca örnek alabilen standart su numune alma aleti ile alınmıştır. Daha çok sığ göllerde ve akarsularda kullanılan bu alet plastik malzemeden yapılmış, 2 l hacimli bir tüpe sahiptir (Burton ve Pitt 2002). Yüzeydeki su numunesi, tüm örneklerin taşındığı koyu renkli daha önceden HNO₃ ve deiyonize su ile temizlenmiş olan PE şişeye manuel olarak alınmıştır (APHA 1998). Dip numunesinin alınımında kullanılan Kemmerer and Van Dorn örnekleycinin çizimi ve kullanım sırasında çekilen fotoğrafı şekil 3. 2’de gösterilmiştir. Noktasal kirletici kaynaklardaki su örnekleri en kesitin orta kısmından PE şişeler ile manuel olarak alınmıştır.



Şekil 3. 2. Kemmerer and Van Dorn örnekleycinin çizimi ve kullanımı sırasında çekilen fotoğrafı

Sediment örnekleri 0-10 cm'lik yüzey kısmından olmak üzere ekman sediment örnekleyicisi ile alınmıştır. Ekman sediment örnekleyicisi her türlü tane boyutunda örnekleri alabilen ve örnek kaybının daha az olduğu bir alet olması nedeniyle tercih edilmiştir. Sediment örnekleri HNO₃ ve deiyonize su ile yıkanmış PE kaplara konularak laboratuara taşınmıştır (APHA 1998, Burton ve Pitt 2002). Su ve sediment örneklerinin konulduğu PE kaplara örneğin alındığı istasyonu, günü, saati ve yüzey veya dip örneği olduğunu belirten etiket yapıştırılmıştır. Ayrıca, örneklerin alımı sırasında, plastik eldivenler kullanılmıştır (APHA 1998).

Ekman sediment örnekleyicisinin çizimi ve kullanımı sırasında çekilen fotoğrafı şekil 3. 3'te gösterilmiştir. Su ve sediment örnekleyicilerin her ikisi de Hydro-Bios markadır.



Şekil 3. 3. Ekman sediment örnekleyicisinin çizimi ve kullanımı sırasında çekilen fotoğrafı

Örnek alma çalışmaları sırasında eş zamanlı olarak her ay ikişer adet olmak üzere bir yıl boyunca Gölyazı Köyü Balıkçıları tarafından ağlarla yakalanmış 24 adet *Cyprinus carpio* (Sazan) ve 24 adet *Esox lucius* (Turna) Haziran 2008'den Mayıs 2009'a kadar satın alınmıştır. Avlanma yasağının olduğu dönemlerde (15 Aralık-1 Nisan) çalışmaların deneysel amaçlı olduğu belirtilerek balık örnekleri alınabilmektedir. Alınan balıklar polietilen kaplar içinde laboratuara getirilip, boyları ölçülerek kaydedilmiştir. Balık örneklerinin büyüklüklerinin belirli bir aralıkta olması için aşağıdaki istatistiksel hesaplamalar yapılmıştır:

1. Balık örneklerinin belirli ağırlıkta ve büyüklükte olmalarını sağlamak amacıyla istatistiksel hesaplamalarla boy uzunlukları için güven aralığı belirlenmiştir (Milliken 1992). Balıklarda boy ve ağırlıkların orantılı olması sebebiyle ağırlıklar

için ayrıca bir güven aralığı belirlenmemiştir (Yılmaz ve ark. 2007). Uluabat Gölü Balıkçılık Kooperatifi Başkanlığından alınan bilgilere göre, her mevsimde avlanabilecek olan balıkların boy uzunluğu Turna Balığı için 50-55 cm, Sazan Balığı için 40-70 cm arasında değişim göstermektedir. Buna göre ortalama boy uzunlukları Turna Balığı için 52,5 cm, Sazan Balığı için 55 cm olarak alınmıştır. % 95 olasılıkla ve 5 cm standart sapma değerine göre balık numunelerinin boy uzunlukları için güven aralıkları aşağıdaki denkleme (3.1) göre hesaplanmıştır:

$$E = |X - \mu| \quad (3.1)$$

Bu formülde, X: Örneklerin ortalama değeri,

μ : İçerisinde örneklerin olduğu nüfusun genel ortalaması

E: Hata

Yapılan deneysel çalışmada, kullanılan balıkların ortalama boy uzunlukları (μ), $X - E \leq \mu \leq X + E$ Güven aralığında olmalıdır.

$n < 30$ olduğunda, $E = tx \frac{s}{\sqrt{n}}$ formülüne göre hesaplanmaktadır.

n: Çalışmada kullanılan örnek sayısı. Bu çalışmada 24 balık örneği analiz edilmiştir.

s: Çalışmada kullanılan örneklerin boy uzunlukları standart sapması. Bu çalışmada 5 cm olarak alınmıştır.

$t_{(n-1), (1-\alpha/2)}$ değerine göre tablodan bulunmuştur.

Burada $\alpha = 1 - P$, P: Olasılık değeri. Bu çalışmada P değeri 95 % alınmıştır.

$\alpha = 1 - 0,95 = 0,05$ $1 - \alpha/2 = 0,975$ $t_{(n-1), (1-\alpha/2)} \rightarrow t_{23, 0,975}$ değeri tablodan

2.069 olarak bulunmuştur. $E = tx \frac{s}{\sqrt{n}}$, $E = 2,069x \frac{5}{\sqrt{24}} = 2.111$

Turna Balığı ortalama boy uzunluğu. 52,5 cm olarak alınmıştır.

$X = 52,5$ cm $X - E \leq \mu \leq X + E$ $52,5 - 2,111 \leq \mu \leq 52,5 + 2,111$

Analizi yapılacak olan Turna Balığı örnekleri boy uzunlukları 95% olasılıkla,

50.389 cm $\leq \mu \leq 54.611$ cm güven aralığında bulunmuştur. Alınan Turna Balığı

örnekleri bu güven aralığındaki boy uzunluğuna göre seçilmiştir. Sazan Balığı

ortalama boy uzunluğu 55 cm olarak alınmıştır.

$X = 55$ cm $X - E \leq \mu \leq X + E$ $55 - 2,111 \leq \mu \leq 55 + 2,111$

Analizi yapılacak olan Sazan Balığı örnekleri boy uzunlukları 95% olasılıkla,

52,889 cm $\leq \mu \leq$ 57,111 cm güven aralığında bulunmuştur. Alınan Sazan Balığı örnekleri bu güven aralığındaki boy uzunluğuna göre seçilmiştir.

3. 2. Ağır Metal ve İz Elementlerin Analizi

3. 2. 1. Örneklerin Analize Hazırlanması

3. 2. 1. 1. Suda Çözünmüş, Askıda Katı Maddelere Tutunmuş ve Sedimentteki Toplam Ağır Metal ve İz Elementlerin Analize Hazırlanması

Suda çözünmüş ve askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan ağır metallerin belirlenebilmesi için örnekler önceden ağırlığı tartılmış 0,45 μ m gözenek çapındaki Milipore filtre kağıdından süzölmüştür. Filtre edilmiş su örneği sırasıyla deterjan, su, nitrik asit, Mili-Q su ile temizlenmiş cam şişelerde % 2 (v/v) konsantre nitrik asit ile asitlendirilerek 4 °C'de buz dolabında korunmuştur. Askıda katı maddeyi içeren filtre kağıtları havada kurutulduktan sonra tekrar tartılarak 4/1 v/v HNO₃/HCl karışımı ile mikrodalga cihazı kullanılarak parçalanıp, soğuduktan sonra Mili-Q su kullanılarak 30 ml'ye seyreltilmiştir. Sediment numuneleri, havada kurutulduktan sonra 0,2 mm elekten elenip, aqua regia çözeltisi HCl/HNO₃ (3/1 v/v) ile mikrodalga cihazında parçalandıktan sonra Mili-Q su ile 50 ml'ye seyreltilmiştir. Parçalama işlemleri, numuneler HP500 teflon kaplara konularak, CEM marka, Mars 5 model mikrodalga aletinde yapılmıştır. Mikrodalgada parçalama işlemleri üç aşamalı olarak programlanmıştır. Cihaz, 1. aşamada, 1 dakika 5 psi (1 psi=6.89 kPa), 2. aşamada 5 dakika 25 psi ve 3. aşamada 60 dakika 120 psi'de çalıştırılmıştır (Nguyen ve ark. 2005).

3. 2. 1. 2. Sedimentte Bulunan Ağır Metal ve İz Element Fraksiyonlarının Analize Hazırlanması

Ağır metal ve iz elementlerin kimyasal fraksiyonlarının konsantrasyonlarının belirlenebilmesi için havada kurutulmuş sediment örnekleri, 0,2 mm'lik elekten elendikten sonra 100 ml'lik polipropilen tüplerde tartılıp ardışık ekstraksiyonlara maruz bırakılmıştır (Zeien ve Brümmer 1989). Ardışık ekstraksiyon işlemleri şekil 3. 4'te gösterilmiştir. Belirlenen fraksiyonlar şöyledir:

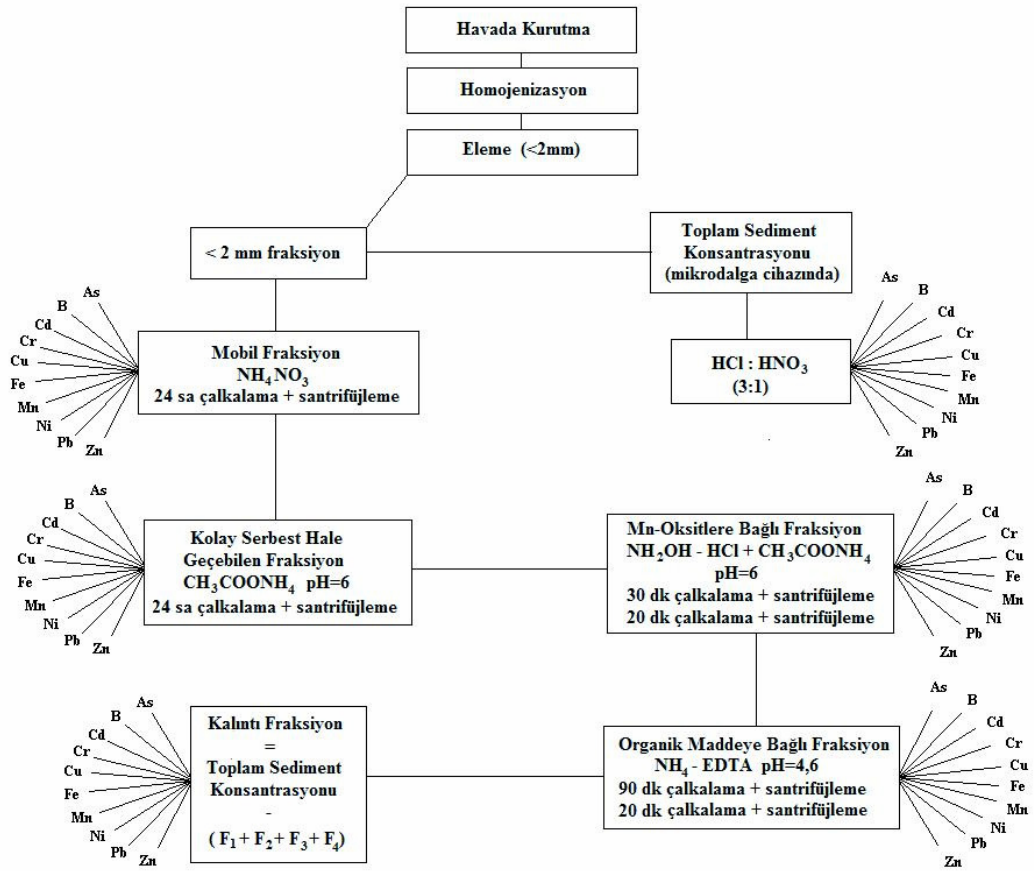
F1 (mobil ağır metaller): Bir ekstraksiyon 1 M NH₄NO₃

F2 (Kolay serbest hale geçebilen metaller): Bir ekstraksiyon 1 M CH₃COONH₄(pH 6,0)

F3 (Mn-oksitlere bağlı ağır metaller): Bir ekstraksiyon 0,1 M $\text{NH}_2\text{OH}-\text{HCl}+1$ M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (pH 6,0) ve iki ekstraksiyon 1 M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (pH 6,0)

F4 (Organik maddeye bağlı ağır metaller): 0,025 M NH_4 -EDTA (pH 4,6) ve iki ekstraksiyon 1 M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (pH 4,6).

F5 (Kalıntı halindeki ağır metaller): Sedimentte bulunan toplam ağır metallerden fraksiyonların toplamı çıkarılarak belirlenmiştir.



Şekil 3. 4. Ardışık ekstraksiyon işlemleri

3. 2. 1. 3. Balık Dokularında Bulunan Ağır Metal ve İz Elementlerin Analize Hazırlanması

Balığın sırt kısmından paslanmaz çelik bıçak kullanılarak kesilen kas, karaciğer ve iki adet solungaç dokusu homojen hale getirildikten sonra 0,5 g (ıslak ağırlık) tartılarak sıcaklık ve basınç ayarlı HP500 teflon kaplara konulup, 7 ml nitrik asit (HNO_3) ve 1 ml hidrojen peroksit (H_2O_2) ile CEM marka, Mars 5 model mikrodalga aleti kullanılarak parçalanmıştır (Uysal ve ark. 2008). Daha sonra oda sıcaklığına kadar soğutulan numuneler ultra safsu ile 50 ml'ye seyreltilmişlerdir. Parçalamada kullanılan kimyasallar analitik saflığa sahiptir ve tüm çalışma sırasında ultra safsu kullanılmıştır (Uysal ve ark. 2008). Son 10 yıldır numuneleri parçalamada mikrodalga parçalama işlemleri kullanılmaktadır (Tekin-Özkan ve Kır 2007, Tekin-Özkan ve Kır 2008, Küçük sezgin ve ark. 2001). Bu teknik daha hızlı parçalama sağlanması, kontaminasyon olasılığının daha az olması ve daha az asit tüketimi sağlanması nedeni ile tercih edilmektedir (Karadede ve Ünlü 2000, Tekin-Özkan ve Kır 2008).

3. 2. 2. Ağır Metal ve İz Elementlerin Analizlerinde Kullanılan Yöntemler

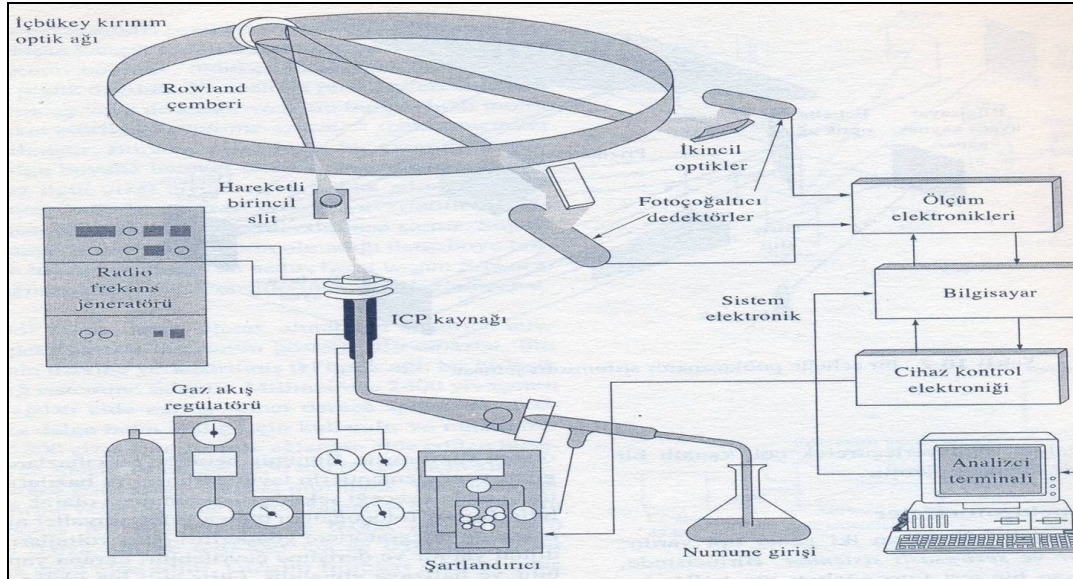
İnorganik katyonların tayininde, en çok başvurulan teknikler atomik absorpsiyon spektrometri (AAS) ile indüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometri (ICP-OES) gibi atomik spektrometrik tekniklerdir. Bunların haricinde, fazla duyarlı olmamakla birlikte kolorimetri, bazen de iyon kromatografi kullanılmaktadır (Aydın 2008).

Son yıllarda indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometri (ICP-MS) kullanımı da oldukça yaygınlaşmıştır. Atomlaştırma tekniklerine göre atomik absorpsiyon spektrometri, alevli (flame atomization, FAAS), elektrotermal (electrothermal atomization, ETAAS) veya grafit fırınlı (GFAAS), hidrür oluşumlu (hydride generation, HGAAS), soğuk-buhar (cold-vapor Hg, CVAAS) gibi farklı isimlerle adlandırılmaktadır. Sıvı numunelerin analizinde başvurulan söz konusu teknikler kadar yaygın olmasa da, iletken veya iletken maddelerle karıştırılmış katı numunelerin, bir çözme işlemine gerek olmaksızın direkt analizinde, akkor boşalımlı atomlaştırma tekniği (glow discharge, GD) de kullanılmaktadır (Aydın 2008).

AAS ile yapılan tayinlerde, elementlerin derişimleri, olası girişim etkileri, çözelti hacmi gibi parametreler, atomlaştırma tekniğinin seçimini belirlemektedir.

3. 2. 2. 1. ICP-OES Cihazı Çalışma Prensibi

Kimyasal analizlerde ilk kullanılan atomik spektrometri tekniği emisyon spektrometridir. Aleve püskürtülen elementlerin yaydığı ışıktan kalitatif analiz yapılmasına dayanan alev testleriyle başlamış, metallerin ark ve kıvılcım atomlaştırma teknikleri kullanılarak analiz edilmesiyle devam etmiştir. Günümüzde ise en çok başvurulan atomlaştırma teknikleri plazma kaynaklıdır. Doğru akım plazma (DCP) ve mikrodalga-ile-oluşmuş plazma (MIP) kaynakları çeşitli analizlerde kullanılmaktadır. Ancak, plazma kaynaklarının en önemlisi indüktif eşleşmiş plazma (ICP)'dir. Çalışma kapsamında, İndüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometri (ICP-OES) kullanılmıştır. Atomik emisyon spektrometri ile atomik absorpsiyon spektrometri arasındaki en önemli fark, absorpsiyon analizlerindeki atomlaştırıcının görevi sadece atomlaştırma iken, emisyon analizlerindeki atomlaştırıcının hem atomlaştırma hem uyarma işlevi görmesidir. Yüksek sıcaklığı ve inert atmosferi, plazmayı aleve veya grafit fırına göre daha etkin bir kaynak yapmaktadır. Bu sayede, AAS ile duyarlı sonuç elde edilemeyen refrakter bileşiklerin analizi de kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Çok sayıda elementin aynı anda veya çok kısa sürede ölçülmesi de önemli avantajlarından birisidir. ICP-OES Cihazına ait şematik gösterim şekil 3. 5.'te verilmiştir.



Şekil 3.5. ICP-OES Cihazına ait şematik gösterim. ZENGİN, O. 2008. Van Gölü Ve Gölü Besleyen Kaynaklarda Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 120 s.

Plazma, nötr gaz, katyon ve elektron içeren iletken bir gaz karışımı olarak tanımlanabilmektedir. Plazma gazı olarak argon (Ar) kullanıldığından, indüktif eşleşmiş plazmada Ar, iyonlaşmış Ar ve elektron bulunduğunu söyleyebiliriz. İndüktif eşleşmiş plazma iç içe üç kuvars borudan oluşan hamlac (torch) ile oluşturulur. Argon, en dış ve ara borudan helezonik bir şekilde geçerek borunun ucuna, indüksiyon bobininin sardığı bölüme ulaşmaktadır. Genellikle bakırdan yapılmış, su soğutmalı indüksiyon bobini, hamlaca, 27 veya 40 MHz frekansında ve 0,5-1,5 kW arasında güç sağlar. Bu güç sayesinde hamlacın ucunda manyetik alan yaratılmaktadır. Tesla bobini adı verilen sistemle kıvılcım oluşturularak argonun iyonlaşması sağlanır. Plazma artık hazırdır. Numune çözeltisi bir peristaltik pompa yardımıyla sisleştiriciye gönderilir ve argon ile çarpıştırılarak aerosol üretilmektedir. Küçük çaplı damlacıklar taşıyıcı argon ile en içteki ince borudan hamlaca ulaşmaktadır ve atomlaşma/iyonlaşma gerçekleşmektedir.

Plazmada oluşan atom ve iyonların emisyonu değişik şekillerde ölçülebilmektedir. ICP-OES cihazları, sırayla ölçüm yapanlar (sequential) ve aynı anda ölçüm yapanlar (simultaneous) olmak üzere iki bölümde incelenebilmektedir. Sequential cihazlarda monokromatörle birlikte sadece bir detektör (fotoçoğaltıcı tüp) vardır. Seçilen dalga boyundaki ışık detektöre gönderilmektedir ve ışın şiddeti ölçülmektedir. Bu işlem her bir element veya daha doğru bir deyişle her bir dalga boyu için tekrarlanmaktadır. Simultane cihazlarda ise tüm ışın emisyonları aynı anda ölçülmektedir. Bir tip cihazda çok sayıda foto çoğaltıcı detektör, önceden belirlenmiş dalga boylarında ölçüm yapmak için sabit slitlerin arkasına monte edilmiştir. Diğer tip simultane cihazlarda ise echelle monokromatör ve iki boyutlu yük-enjeksiyon detektör mevcuttur. Tüm ışınlar tek detektör ile ölçülmektedir. Simultane cihazların bir avantajı da analizlerde iç standart kalibrasyonu yapılmasına imkan vermesidir.

ICP-OES cihazlarında ölçüm dikey (vertical) veya yatay (axial) plazma pozisyonlarında yapılabilir. Bazı firmalar her iki plazma pozisyonunda da ölçüm yapan cihazlar üretmişlerdir. Yatay plazmanın dikey plazmaya üstünlüğü daha duyarlı sonuçlar vermesidir. Ancak, bu pozisyon dikey plazmaya göre daha dar lineer çalışma aralığına sahiptir.

İndüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometri (ICP-OES), AAS'ye göre daha geniş çalışma aralığı, multielement tayin yapabilme özelliği, termal bozunmaya karşı dirençli (refrakter) elementlerin tayininde daha duyarlı sonuç vermesi gibi

özellikleriyle, metal tayinlerinde AAS ile birlikte en sık başvurulanan tekniktir. Metal tayinlerinde, AAS ve ICP-OES'ye son yıllarda çok önemli bir teknik eklenmiştir; induktif eşleşmiş plazma kütle spektrometri (ICP-MS). Bu teknik, AAS ve ICP-OES'nin tayin becerilerinin çoğuna ve daha fazlasına sahiptir; çok daha geniş çalışma aralığı, daha duyarlı ölçümler, periyodik tablodaki elementlerin büyük çoğunluğunun tayin edilebilmesi gibi avantajları vardır. ICP-OES tekniğinin AAS tekniklerine kıyasla, inert Ar atmosferinde daha etkin bir atomlaştırma yapması, multielement ölçüm yapma özelliği ve lineer çalışma aralığının daha geniş olması gibi avantajları vardır. Dikey plazmalı sistemlerin duyarlılığı FAAS ile elde edilen duyarlıklara yakinen yatay plazmalı sistemler 5-10 kat daha duyarlı sonuçlar vermektedir. AAS tekniklerine göre dezavantajı, cihazın fiyatı ve işletim masrafının daha yüksek olmasıdır (Anonim 2007).

3. 2. 3. Örneklerin ICP-OES ile Analizi

Çalışmada, numunelerin okumaları VARIAN marka ICP-OES cihazının VISTA-MPX modeli kullanılarak yapılmıştır. Okumalar sırasında, elementlerin birbirlerine girişim yapmasını engellemek amacıyla, standartlar hazırlanırken üç farklı grup oluşturulmuştur. Oluşturulan gruplama şöyledir: 1. Grup; Fe, Zn, Cr, Mn, Ni, Cu. , 2. Grup; B, Cd, Pb. 3. Grup; As. 3. Grup elementi olan As, hidrür sistemi kullanılarak analiz edilmiştir. Standartların hazırlanmasında, 1000 µg/ml'lik (% 5 HNO₃) standart stok çözeltisi kullanılmıştır. Ağır metal konsantrasyonlarının suda çözülmüş halde, partikül halinde ve sedimentteki konsantrasyon değerlerinin çok farklı büyüklüklerde olması sebebiyle düşük, orta ve yüksek olmak üzere ppb ve ppm seviyesinde, üç farklı standart seri hazırlanmıştır. Düşük standart seri; 0,0095, 0,019, 0,039, 0,078, 0,1562 ppm. Orta standart seri; 0,1562, 0,3125, 0,625, 1,25, 2,5 ppm, Yüksek standart seri; 2,5, 5, 10, 20, 50 ppm'dir. Cihazının kalibrasyonu 500 ppm'lik Merck Mn çözeltisinden hazırlanan 5 ppm'lik çözelti kullanılarak yapılmıştır. Kalibrasyon esnasında, olabilecek genişlemeleri engellemek amacıyla, ortam sıcaklığının 25 °C olmasına dikkat edilmiştir.

Sediment ve toprak örneklerinin okumalarının doğrulanmasında referans materyali olarak kullanılan ERM-CC135a (European reference materials) örneklerin ekstraksiyon metotlarını ve cihazın ölçümlerinin performanslarını kontrol edebilmek amacıyla incelenmiştir. İkili okumalar yapılarak elde edilen sonuçlar ve referans materyalinin konsantrasyonları karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.2'de Ölçümlerin kalite

kontrol ve kalite güvenilirliği için yapılan okumalar gösterilmiştir. Cihazın çalışma koşulları ve okumalarda kullanılan dalga boyları aşağıda sırasıyla Çizelge 3. 3 ve çizelge 3. 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. 2. Ölçümlerin kalite kontrol ve kalite güvenilirliği için yapılan okumalar

| | Cr | Cu | Fe | Mn | Ni | Zn |
|---|--------------|-------------|------------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. Okuma ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) | 311,328 | 102,885 | 38249 | 331,195 | 265,819 | 295,632 |
| 2. Okuma ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) | 312,641 | 104,381 | 39393 | 344,274 | 267,303 | 299,067 |
| ERM- CC135a ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) | 336 \pm 28 | 105 \pm 5 | 40900 \pm 2700 | 348 \pm 18 | 277 \pm 13 | 316 \pm 41 |

Çizelge 3. 3. ICP-OES cihazı çalışma koşulları

| Parametreler | |
|---------------------------------|-------|
| Güç (kw) | 1,2 |
| Plasma hızı (L/min) | 15 |
| Gas hızı: Auxiliary (L/min) | 1,5 |
| Nebulizer hızı (L/min) | 0,9 |
| Tekrar okuma süresi (s) | 5 |
| Stabilization süresi (s) | 30 |
| Örnek alma süresi (s) | 40 |
| Pompa hızı (rpm) | 15 |
| Rinse time (s) | 10 |
| Tekrar sayısı | 3 |
| Görüntü modu | Axial |
| Gaz | Argon |

Çizelge 3. 4. Elementlerin okumalarında kullanılan dalga boyları

| Element | Dalga boyu (nm) |
|---------|-----------------|
| Cr | 267,716 |
| Mn | 257,61 |
| Fe | 238,204 |
| Ni | 231, 604 |
| Cu | 327,395 |
| Zn | 213,857 |
| B | 249,772 |
| Cd | 214,439 |
| Pb | 220,353 |
| As | 188,98 |

3. 3. Suda ve Sedimetteki Diğer Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerin Analizi

3. 3. 1. Suda Ölçülen Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerin Analizi

Fiziksel ve kimyasal analizler için belirlenen 14 istasyondan plastik kaplara alınmış olan su örnekleri en kısa zamanda laboratuara getirilerek 100 ml'lik koyu renkli cam şişelere aktarılarak ve 40 mg/l HgCl₂ eklenerek 4°C'de 1 hafta buzdolabında saklanmıştır. Analizler 1 hafta içerisinde tamamlanmıştır. Ancak canlı organizmalara dayalı olarak yapılan ölçümler olması sebebiyle BOİ₅ ve Klorofil-a parametreleri aynı gün ölçülmüştür.

Su numunelerinin alınması sırasında sahada, HACH marka Sension 156 model cihaz kullanılarak çözülmüş oksijen, sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, seki diski ile seki derinliği ölçülmüştür. Seki derinliğinin ölçümlerinde Windaus marka seki diski kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında ise, askıda katı madde (AKM) 103-105 °C'de kurutularak gravimetrik yöntemle, sertlik ve alkalinite titrasyon metodu ile, BOİ₅, KOİ parametreleri standart metotlara göre (APHA 1998), NH₄-N, NO₃-N, TN (Toplam Azot) su buharı destilasyonu yöntemiyle (Bremner ve Mulvaney 1982), PO₄-P, TP (Toplam Fosfor) askorbik asit yöntemiyle (APHA 1998), klorofil-a parametresi 1 l suyun GFC filtre kağıdından süzöldükten sonra % 90'lık aseton içerisinde ekstraksiyonu ve ardından 665, 645 ve 630 nm dalga boylarında spektrofotometrede okunması ile (Parsons ve Strickland 1963) ölçülmüştür. Akarsu Debisi, DSİ I. Bölge Müdürlüğüne belirlenmiş olan istasyonlara yerleştirilmiş daimi eşellerle veya eşel olmayan istasyonlarda AOTT marka Muline ile doğrudan ölçüm ile tespit edilmiştir. DSİ'ye ait sulama amaçlı çalışan Uluabat, Atabay, Karaoğlan Pompa İstasyonlarına ait debiler DSİ 1. Bölge Müdürlüğü'nden alınan aylık deşarj edilen su hacmi kullanılarak hesaplanmıştır (ANONİM 2010 d). Su seviyesi sediment örnekleri alınırken belirli aralıklarla işaretlenmiş uzatma ipi yardımıyla ölçülmüş olup, Gölyazı'da bulunan EİE'ye (Elektrik İşleri Etüt İdaresi) ait eşel ile yapılmış aylık ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır (ANONİM 2010 e).

Uluabat Gölü'ne deşarj olan noktasal kirletici kaynakların ağır metal, bazı iz elementler ve diğer su kalitesi parametrelerine ait göle getirmiş oldukları yükler debi ve konsantrasyon değerlerinin çarpımlarıyla ton/ay veya ton/yıl cinsinden belirlenip değerlendirilmiştir. Ayrıca atmosferden kaynaklanan ağır metal ve iz element yükleri,

daha önceden Bursa Şehri'nde atmosferde ölçülmüş ağır metal ve iz elementlerin akı değerleri ile Uluabat Gölü yüzey alanı çarpılarak belirlenmiştir.

3. 3. 2. Sedimentte Ölçülen Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerin Analizi

Sediment numuneleri göl içindeki 8 istasyondan olmak üzere 10 cm'lik üst tabakadan ekman sediment örnekleyicisi ile alındıktan sonra sıcaklığı ölçülüp, plastik kaplarla laboratuara getirilmiştir. Örnekler 2 mm'lik elekten elenerek ölçüme hazır hale getirildikten sonra, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, Kacar'ın (1994) bildirdiği gibi potasyum klorür (KCL) ekstraksiyonu ve ardından buhar destilasyonu ile, TN (Toplam Azot) ise standart metotlarda bildirilen nitrik asit, sülfirik asit karışımında yaş yakma yapılarak ekstrakte edilmiş ve ardından buhar destilasyonu ile ölçüm yapılmıştır (Bremner and Mulvaney 1982), Orto Fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) Kacar'ın (1994) bildirdiği gibi sodyum bikarbonat yöntemi ile ekstrakte edilen numuneler, Standart Metotlar'da belirtilen askorbik asit yöntemi gereğince 880 nm dalga boyunda spektrofotometrede, Toplam Fosfor (TP), Standart Metotlara göre asit ekstraksiyonu ve arkasından askorbik asit yöntemi ile ölçülmüştür (APHA 1998). pH ve iletkenlik 1/5 sediment örneği tartılarak (10 g sediment örneği 50 ml deiyonize su ile karıştırılır) 30 dakika çalkalanıp, pH ve elektriksel iletkenlik problemleri ile ölçülmüştür (Radojevic ve Bashkin 1999). % Organik madde, sabit tartıma getirilmiş sediment örneğinin $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de en 4 saat tutulması sonucunda meydana gelen ağırlık farkından belirlenmiştir (Radojevic ve Bashkin 1999). % CaCO_3 Scheibler kalsimetresi ile (Nelson 1982), sediment örneğinin kum, silt ve kil fraksiyonları Bouyoucos (1951) tarafından bildirildiği şekilde hidrometre yöntemine göre belirlenip, tekstür sınıfları Soil Survey Manual (Soil Survey Staff 1962)'e göre saptanmıştır ve son olarak % TC ve % TN , Thermo Marka N-C toprak analiz cihazının Flashea 1112 serisi kullanılarak belirlenmiştir (Volkenborn 2007).

3. 4. Veri Değerlendirme Yöntemleri

3. 4. 1. Coğrafi Bilgi Sistemi İle Su ve Sediment Kalitesi Parametrelerinin Haritalandırılması

Konsantrasyonları belirlenen ağır metal ve diğer su ve sediment kalitesi parametrelerinin göldeki kirlilik dağılım haritaları ArcGIS 9.3 programının konumsal (uzaysal) analizler modülünün sürekli yüzeyler oluşturma aracının sunduğu IDW

modeli yardımıyla coğrafik konumları baz alınarak oluşturulan vektörel nokta verisinin öznitelik tablolarına girilen ağır metal ve su kalitesi parametreleri kullanılarak hazırlanmıştır.

Söz konusu parametrelerin coğrafik dağılım haritalarının CBS ortamında oluşturulmasında daha önceki DSİ ölçüm ve gözlem haritaları 1984, 1993, 1998, 2001 yıllarına ait sayısal uydu görüntüleri (Landsat TM5-7 uydu verileri) ve gölde yürütülen ön çalışmalar sonucu göl içerisinde 8 adet ve gölle bağlantılı ana kirletici kaynakları 5 ve göl çıkışı olmak üzere belirlenen 14 adet noktadan alınan örneklerde yapılan analiz sonuçları kullanılmıştır. Uluabat Gölü'nün sığ bir göl oluşu, özellikle yaz aylarında sürekli olarak öğleden sonraları esen ve su ve sediment örnekleri alımını imkansızlaştıran rüzgar varlığı gölde hızlı hareket edilmesini engelleyen balık ağları ve düşük hızlı balıkçı motorları nedeniyle su ve sediment örneklerinin alındığı istasyon sayıları güvenlik sorunları yaratan koşulları nedeniyle coğrafik dağılım haritalarının oluşturulması amacını karşılayacak ve göl bütünü temsil edecek biçimde sınırlı tutulmuştur. Coğrafik dağılım haritalarının oluşturulmasında seçilen noktaların belirlenen ve küresel konum belirleme aletine de yüklenen coğrafik koordinatları temel alınarak oluşturulan noktasal vektör haritaları ile bu noktalardan alınan su ve sediment analiz sonuçlarının kaydedildiği öznitelik tablolarından yararlanılmıştır. Öz nitelik tablolarına girilen su ve sediment sonuçlarına ait dağılım haritalarının (yüzey haritalarının) oluşturulmasında IDW (tersinir ağırlıklı mesafe) metodu kullanılmıştır. Söz konusu yöntemde noktaların bilinen değerleri yardımıyla bilinmeyen noktaların değerlerinin hesaplanmasında değeri bilinen noktalara olan mesafelerin (yakınlığına ve uzaklığına) bir fonksiyonu olarak oluşturulmuş matematiksel model kullanılmakta ve böylece bilinmeyen ara değerler hesaplanarak yüzey haritaları oluşturulmaktadır. Ayrıca, noktaların değerlerinin hesaplanmasında kullanılan matematiksel modelde nokta değerlerine farklı ağırlıklar tanımlanacağı gibi en çok kullanıldığı biçimiyle değeri bilinmeyen noktaların değerinin bilinmesinde kendisine en yakın değeri bilinen noktanın daha etkili olduğu 2 ve daha yüksek ağırlık değerleri seçilebilmektedir.

Söz konusu metodolojinin ArcGIS programının konumsal (uzaysal) modülünün IDW analiz aracının kullanımı sırasında minimum 12 nokta girilmesi istense de IDW metodolojisi daha az nokta sayısı ile de doğruya yakın yüzeyler oluşturulmasına izin vermektedir. Tüm interpolasyonla noktasal verilerden sürekli yüzeyler oluşturulmasında

kullanılan matematiksel modellerde olduğu gibi nokta sayısının fazla olması oluşturulan yüzey haritalarının (dağılım haritalarının) doğruluğunu ve değerler arasındaki geçişlerin doğallığını arttıracakları açıktır. Ancak açıklandığı üzere Uluabat Gölü meteorolojik koşulları su ve sediment örneklerinin alındığı nokta sayılarının minimum düzeyde seçilmelerine neden olmuştur.

Coğrafik dağılım haritalarının oluşturulmasında seçilen noktaların belirlenen ve küresel konum belirleme aletine de yüklenen coğrafik koordinatları temel alınarak oluşturulan noktasal vektör haritası ile bu noktalardan alınan su ve sediment analiz sonuçlarının kaydedildiği öznitelik tablolarından yararlanılmıştır. Öz nitelik tablolarına girilen her bir su ve sediment analiz sonuçlarına ait dağılım haritalarının oluşturulmasında IDW (tersinir ağırlıklı mesafe) metodu kullanılmıştır (Xu ve ark. 2001).

3. 4. 2. Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Ağır metallerin sudaki konsantrasyonları mg/l, askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan konsantrasyonları mg/kg (kuru ağırlık), sedimentteki konsantrasyonları mg/kg (kuru ağırlık), balık dokularındaki konsantrasyonları mg/kg (ıslak ağırlık) olarak belirlenmiştir.

Ötrotfikasyon ile ilgili olan ölçülen besin maddesi parametrelerinin ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TN, $\text{PO}_4\text{-P}$, TP) konsantrasyonları suda mg/l, sedimentte mg/kg olarak belirlenmiştir. Suda ölçülmüş olarak çözünmüş oksijen, BOI_5 , KOI , sertlik, alkalinite ve AKM değerleri mg/l olarak, seki derinliği ve su seviyesi m olarak ve suda ve sedimentte ölçülen elektriksel iletkenlik parametresi $\mu\text{s/cm}$ olarak belirlenmiştir. Ayrıca sedimentte ölçülen organik madde, C, N, kil, silt ve mil miktarları % cinsinden belirlenmiştir.

Yapılan tüm istatistiksel hesaplamalarda Minitab 15 istatistik programı kullanılmıştır. İncelenen tüm parametrelere ait konsantrasyonların yıllık ve mevsimsel olarak ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri hesaplanarak, göldeki konsantrasyonların yüzey ve dip derinliği, aylar ve istasyonlar arasındaki farklılıklarının, balık türleri ve balık dokularındaki ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının farklılıklarının önemli olup olmadığı varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir. Ayrıca birbirleriyle ilişkili olduğu düşünülen parametreler arasında r

korelasyon katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Farklılıkların ve ilişkilerin önemliliği $P=0,05$ 'e göre değerlendirilmiştir. Grafiklerin çiziminde SigmaPlot 10.0 kullanılmıştır.

3. 4. 3. Ölçüm Sonuçlarının Literatür İle Karşılaştırılması

Ağır metaller, iz elementler ve diğer su ve sediment kalitesi parametrelerinin ölçüm sonuçları benzer su kaynaklarında yapılan diğer çalışmalar ve çeşitli su ve sediment kalitesi standartları ve toksik etki sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır (Anonim 1982, 1987, 1989 a, 1989 b, 1993, 2000, 2002 a, 2003, 2004, 2005 a, 2005 b, 2006 a, 2006 b, 2006 c, 2006 d, Burton 2002, Nauen 1983).

3. 4. 4. Uluabat Gölü Ötrofikasyon Seviyesinin Belirlenmesi

Trofik seviye indeksi, göllerin mevcut durumunun geçmişteki ile karşılaştırılarak belirlenmesi için oldukça etkili bir yöntemdir. TSI değerleri klorofil-a ($\mu\text{g/l}$), seki derinliği (m), toplam fosfor ($\mu\text{g/l}$) ve toplam azot (mg/l) konsantrasyonları kullanılarak hesaplanmaktadır. Belirlenen TSI değerlerinin ortalamaları alınarak bir sonuç TSI değeri bulunmaktadır. Carlson (1977) tarafından bildirildiğine göre TSI formüllerine göre oluşturulan nümerik skalada 0-40 arası oligotrofik, 40-50 arası mezotrofik, 50 ve yukarısı ötrofiktir. Trofik seviyede ara geçişleri de belirleyebilmek için oligomezotrofik seviye ($30 < \text{TSI} < 40$), mezotrofikten ötrofik seviyeye geçiş ($40 < \text{TSI} < 60$), ötrofikten hipertrofik seviyeye geçiş ($60 < \text{TSI} < 70$) ve hipertrofik seviyeler ($\text{TSI} > 70$) belirlenmiştir (Coelho ve ark. 2007). Göllerin trofik seviyelerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler şöyledir:

$$\begin{aligned}
 1. \text{TSI}_{\text{SD}} &= 10^* \left(6 - \frac{\ln \text{SD}}{\ln 2} \right) & 2. \text{TSI}_{\text{CHL}} &= 10^* \left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln \text{CHL}}{\ln 2} \right) \\
 3. \text{TSI}_{\text{TP}} &= 10^* \left(6 - \frac{\ln \frac{48}{\text{TP}}}{\ln 2} \right) & 4. \text{TSI}_{\text{TN}} &= 10^* \left(6 - \frac{\ln \frac{1.47}{\text{TN}}}{\ln 2} \right)
 \end{aligned}$$

Uluabat Gölü'nde bu eşitlikler kullanılarak gölün ötrofik seviyesi belirlenmiştir.

3. 4. 5. Sedimentte ve Askıda Katı Maddede Bulunan Ağır Metal ve İz Elementlerin Dağılım Katsayıları İle Karşılaştırılması

Doğal ortamlarda ağır metaller ve bazı iz elementler sudaki ve katı materyallerin yüzeyinde bulunan ve suyla ilişkili olan ligandlarla reaksiyona girmektedirler. Katı matriksine bağlı olan metallerin reaksiyonları sorpsiyon reaksiyonları olarak adlandırılmaktadır. Metal dağılım katsayısı (K_d : sorpsiyon dağılım katsayısı) (3.2) denge halindeki, adsorblanmış metal ve iz element konsantrasyonunun (mg/kg) çözülmüş metal konsantrasyonuna (mg/l) oranıdır.

$$K_d = \frac{\text{Adsorblanan metal konsantrasyonu (mg / kg)}}{\text{Çözülmüş metal konsantrasyonu (mg / l)}} \quad (3.2)$$

Ağır metallerin ve bazı iz elementlerin sedimentteki ve askıda katı maddeye tutunmuş haldeki konsantrasyonlarının suda çözülmüş halde bulunan konsantrasyonlara oranlarının aylara ve istasyonlara göre değişimleri literatürdeki dağılım katsayıları ile karşılaştırılmıştır. Dağılım katsayısından daha büyük olan oranlara sahip metal ve iz elementlerin sedimentte veya askıda katı maddede daha çok adsorblandığını, daha küçük oranlara sahip olanların suya daha çok geçtiğini söylemek mümkündür. Ancak dağılım katsayısından büyük olan ağır metal ve iz elementlerin katı fazda biriktiği ve uygun koşullarda (sıcaklık, pH, redoks potansiyeli vb.) suya geçebileceği söylenebilmektedir. Yapılan çalışmalarda K_d katsayılarının çok büyük sayısal değerlere sahip olması sebebiyle genellikle Log (K_d) değerleri ile karşılaştırılmıştır (Anonim 2005c, Abdallah 2008, Kojima ve ark. 2003, Ciffroy ve ark. 2009, Chetelat ve Gaillardet 2005). Bu nedenle ağır metal ve iz elementler için belirlenen oranların logaritmaları alınarak literatürdeki Log (K_d) değerleri ile karşılaştırılıp, sedimentten ve askıda katı maddeden suya geçen ve geçebilecek olan elementler belirlenmiştir.

3. 4. 6. Su Kolonundan Sedimente Geçen Ağır Metal ve İz Element Akılarının Belirlenmesi

Göl ortamı bir reaktör olarak kabul ederek Fick Yasası'na göre kütle dengesi (3.3) aşağıdaki gibi yazılabilmektedir (Chapra 1997).

$$V \frac{dC}{dt} = -JA \quad (3.3)$$

V: hacim, C: konsantrasyon, t: zaman

J: akı, A: iki hacim arasındaki alan

$$J = V_s C$$

V_s: çökme hızı

Çökme hızı, parçacıkların tane büyüklüğüne ve yoğunluklarına bağlı olarak Stokes Yasası'na göre (Taillefert ve Gaillard 2002) aşağıdaki denklem (3.4) ile belirlenebilmektedir:

$$V_s = \frac{(\rho_p - \rho_w)gd^2}{18\eta} \quad (3.4)$$

ρ_p : parçacığın yoğunluğu (g/cm³)

ρ_w : su yoğunluğu (g/cm³)

g: yer çekimi sabiti (g/cm²)

d: parçacığın çapı (cm)

η : suyun viskozitesi (g/cm s)

Uluabat Gölü sedimentine çökelen ağır metal ve iz element miktarlarının mevsimsel ve yıllık ortalama değerleri, su kolonunda mevcut bulunan taneciklerin çapları ve yoğunlukları tahmin edilerek hesaplanan çökme hızları, AKMTH bulunan konsantrasyonlar ve göl yüzey alanı değerleri ile çarpılarak belirlenmiştir.

3. 4. 7. Balıktaki Transfer Faktörlerinin Belirlenmesi

Göl ekosistemindeki ağır metallerin balıklardaki birikimleri son yıllarda çalışılan bir konudur (Rashed 2001). Su, su bitkileri ve sediment gibi göl ekosisteminden balıklara geçen ağır metallerin balıktaki birikimleri transfer faktörü (3.5) ile tanımlanabilmektedir.

$$tf = \frac{\text{Balıkta Bulunan Kirlenici Konsantrasyonu}}{\text{Göl Ekosistemindeki Kirlenici Konsantrasyonu}} \quad (3.5)$$

Bu katsayı, ortamdan ağır metallerin alınabilirliğini ve balıkların bünyelerinde birikme oranlarını göstermektedir. Transfer faktörü 1'den büyük olduğu zaman biyoakümülyasyon olduğu anlaşılmaktadır. Uluabat Gölü'nde incelenen *Cyprinus carpio* ve *Esox lucius* türlerinin bünyelerindeki birikime suda çözünmüş, askıda katı maddelere tutunmuş ve sedimentteki toplam ağır metal ve iz elementlerin etkileri transfer faktörleri hesaplanarak değerlendirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4. 1. Uluabat Gölü Su Kalitesinin Derinliğe Ve Mevsimlere Göre Değişimi

4. 1. 1. Su Kalitesi Parametrelerinin Aylık Değişimlerinin İncelenmesi

Göllerdeki su kalitesinin değerlendirilebilmesi için havzanın karakteristiğinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Havzadaki kullanım alanlarının (Tarımsal, ormanlık alanlar, yerleşim alanları), su seviyesinin, uzun dönem yağış ve debi ortalamalarının, belirlenmesi önemlidir. Daha sonra, fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler yorumlanmaktadır.

Uluabat Gölü suyunun fiziko-kimyasal özelliklerinin incelenmesi sonucunda, parametrelerin mevsimsel olarak değişiklik gösterdiği görülmüştür. AKM, Klorofil-a, Sıcaklık, Top-N maksimum değerlerini yaz mevsiminde, minimum değerlerini ise kış mevsiminde almışlardır. Yaz ve kış arasındaki bu farklılık, yaz boyunca artan sıcaklık ve buharlaşma konsantrasyonlarda artışa, kışın meydana gelen yağışlar ve havzadan gelen yüzeysel akışlar nedeni ile meydana gelen seyrelmelere bağlanmıştır (Singh ve ark. 2008). TP parametresi maksimum değerini yazın minimum değerini ilkbaharda almıştır. Bunun nedeni olarak ilkbahar mevsiminde fotosentezin hızlanması sonucunda alglerin fosforu kullanmasının ve yağışların artmasıyla gölde seyrelmenin meydana gelmesinin olabileceği düşünülmüştür. pH değerlerinin mevsimsel ortalamaları birbirine yakın olmakla beraber en yüksek değer yaz mevsimi içerisinde Temmuz Ayı'nda (8,64) görülmüştür. Doğal suların pH aralıkları 6 ile 9 arasında bulunmaktadır. Bileşimleri ise asit ve baz ilişkilerinden etkilenmektedirler. Fotosentez, solunum gibi biyolojik aktiviteler, CaCO_3 'ün çökmesi ya da çözünmesi CO_2 'yi azaltıp artırdığı için pH'ı etkilemektedir. Oksitlenme reaksiyonları pH'ı düşürürken, denitrifikasyon ve sülfatın indirgenmesi pH'ı artırmaktadır (Stumm ve Morgan 1996). Temmuz Ayı'ndaki yüksek pH değerinin nedeni olarak yaz aylarında artan fotosentez sırasında planktonların çözülmüş inorganik karbonu asimile etmeleri sırasında asidik özelliğin azalması ve alkalitenin artmasının olabileceği düşünülmüştür. En yüksek alkalinite ortalaması 312,8 mg CaCO_3 /l olarak Mayıs Ayı'nda görülmüştür. Ancak Haziran, Temmuz ve Ağustos Ayları'nda da alkalitenin oldukça yüksek olduğu ve Mayıs Ayı'na yakın değerlere sahip oldukları görülmektedir. Yaz aylarında meydana gelen pH artışının, yarı bağlı CO_2 'nin buharlaşma ile su ortamından azalması ve mono-karbonatın

çökmesine bağlandığı da belirtilmektedir (Khan ve Chowdhary 1994). Uluabat Gölü Havzası toprak yapısında bulunan kalsit ve dolomit mineralleri yağışlarla ve sulama sonucunda meydana gelen yüzeysel akış ile göl suyuna karışabilmekte ve alkaliniteyi artırabilmektedir. Yüksek alkalinite ötrofikasyon meydana gelmiş su kütlelerinde görülmektedir. 100 mg/l'nin üzerindeki alkalinite değerleri nütrient bakımından zengin göllerde görülmüştür (Singh ve ark. 2008).

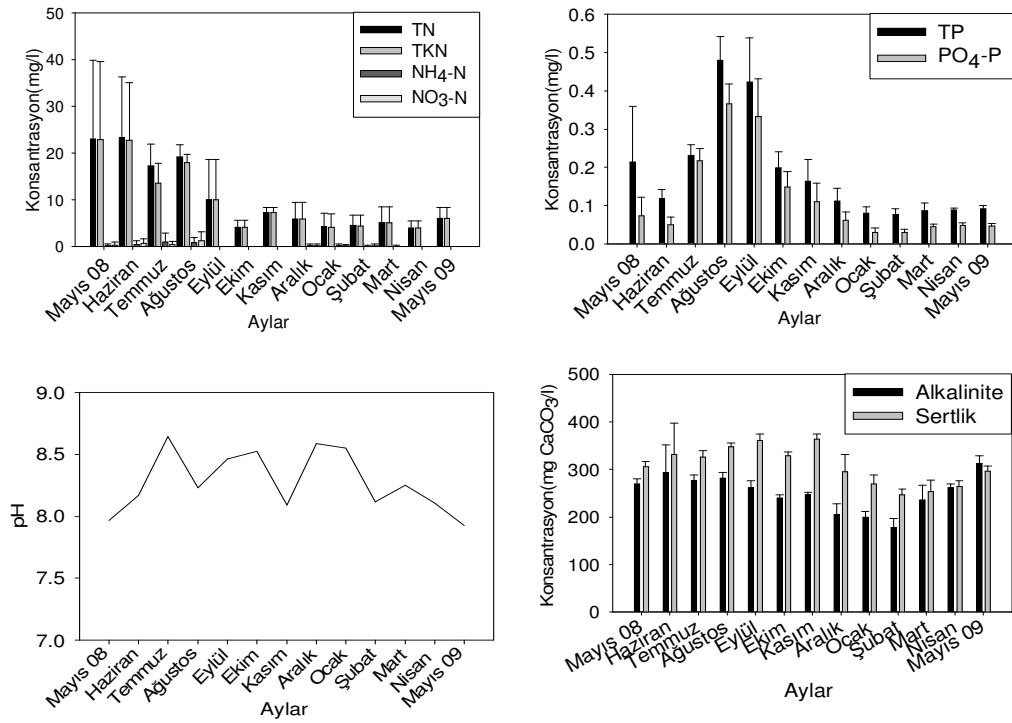
En yüksek sıcaklık hava şartlarının sıcak ve kurak geçtiği yaz mevsiminde Ağustos Ayı'nda (27,06 °C), en düşük sıcaklık ise 4,76 °C ile Aralık Ayı'nda görülmüştür. Yaz mevsiminin gelişile birlikte sıcaklıkların artması ve güneş ışığının doğrudan yeryüzüne ulaşması ile beraber fotosentez olayı hızlanmaktadır. Bunun sonucunda göllerde algler çoğalmakta ve yapılarında bulunan klorofil-a pigmentinin konsantrasyon seviyeleri de artmaktadır. Uluabat Gölü'nde yapılan incelemeler sonucunda, en yüksek klorofil-a değerleri Haziran (43,87 mg/m³) ve Temmuz (39,66 mg/m³) Ayları'nda bulunmuştur. İlkbahar ve sonbahar aylarında benzer konsantrasyonlara rastlanmıştır. En düşük konsantrasyon 6,80 mg/m³ ile Aralık Ayı'nda görülmüştür. Azot ve fosfor formları, fitoplanktonların birincil üretimde sınırlayıcı rol oynamaları sebebi ile değerlendirilmektedir. Yazın su seviyesinin üst kısımlarında, azot ve fosforun azalması, fitoplanktonların artması sebebi ile gerçekleşmektedir. NH₄-N fitoplanktonlar tarafından daha çok tercih edilmektedir. Kış sonu, ilkbaharın başında, en yüksek değerdedir. 250 µg/l değerinin üstünde (pH>9), balık ve omurgasızlar için toksik etki göstermektedir (Straskraba ve ark. 1993). Uluabat Gölü NH₄-N yıllık ortalama konsantrasyon değeri 222 µg/l 'dir.

Yazın su seviyesinin üst kısımlarında, azot ve fosforun azalması, fitoplanktonların artması sebebi ile gerçekleşmektedir (Straskraba ve ark. 1993). Toplam azot konsantrasyonları incelendiğinde en yüksek değer Haziran Ayı'nda 23,23 mg/l en düşük konsantrasyon da 3,89 mg/l ile Nisan Ayı'nda bulunmuştur. Toplam fosfor konsantrasyonları arasında en yüksek ve en düşük değerler Ağustos ve Şubat Ayları'nda 0,480 ve 0,076 mg/l olarak bulunmuştur. Toplam fosfor değerinin Eylül Ayı'nda da yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. Klorofil-a değerlerinin Haziran ve Temmuz Ayları'nda çok yükseldiği, diğer aylarda düşme eğiliminde olduğu görülmüştür. Buna karşılık TP değerlerinin klorofil-a'nın yükselmesiyle ters orantılı bir ilişki içerisinde olduğu bu aylarda düşüş gösterdiği belirlenmiştir. Kış aylarında her

ikisinin de düşüş gösterdiği görülmektedir. TN konsantrasyonlarının klorofil-a parametresine benzer şekilde yaz aylarında daha yüksek olduğu, sonbahar ve kış aylarına doğru düşüş gösterdiği görülmektedir.

Gölde bulunan nütrient konsantrasyonlarının miktarı, içsel ve dışsal kaynaklardan gelen nütrient yüklerine (noktasal ve yayılı kirletici kaynaklar), sedimantasyona, gölü besleyen ve boşalmasını yapan akarsuların debi miktarlarına ve fitoplanktonların nütrientleri kullanmalarına bağlıdır (Hejzlar ve Vyhnaek 1998). Birincil üretimi sınırlandıran en önemli element fosfordur. Sınırlanmamış fitoplankton popülasyonlarında, azot ve fosforun biyomastaki oranı 16:1'dir. Çekoslovak rezervuarlarında, 500:1'dir. Fosfor, birincil üretimin artıp, bitkilerin yoğunlaştığı dönemde, özellikle yüzeyde, azalmaktadır (Straskraba ve ark. 1993). Klorofil-a ya da biyomas olarak ölçülen fitoplanktonlar trofik koşulların değerlendirilebilmesi için önem taşımaktadırlar. Genellikle, klorofil-a limitleyici faktör olan fosfor ile ilişkilendirilmektedir. Bu iki parametre arasındaki ilişki eksponensiyel olarak artmakta ve toplam fosfor belirli bir konsantrasyona geldiğinde, Klorofil-a artışı durmaktadır. Bunun yanı sıra Klorofil-a konsantrasyonu, ışık geçirgenliği, bulanıklık, derinlik, bekleme süresi gibi bazı parametrelere de bağlıdır. Ayrıca, fosforun kalkerli sularda çökmesi sebebiyle Klorofil-a kalkerli sularda daha düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Fitoplanktonlar, toplam fosfor konsantrasyonunun 20 mg/m³'ün üzerine çıktığı durumlarda, fosfora karşı çok hassas değildirler. TP 70-80 mg/m³ değerinin üzerinde, ışık ve CO₂ gibi diğer sınırlayıcı faktörler etkili olmaktadır. Azot ve fosforun ağırlıkça oranı 10'dan küçük olduğunda (N:P<10) sınırlayıcı faktörün azot olduğu bilinmektedir. Uluabat Gölü'nün yıllık ortalama TP değeri 0,1789 mg/l'dir. N:P oranı da 51,375 olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre 0,07 mg/l TP değerine kadar sınırlayıcının fosfor olduğu, bu konsantrasyon aşıldıktan sonra ışık ve CO₂'in sınırlayıcı faktör olduğu anlaşılmıştır. Nütrient konsantrasyonundaki ve fitoplankton miktarındaki değişim, ortamın hidrodinamik özelliklerinden etkilenmektedir. Nütrient konsantrasyonlarındaki maksimum değişim, uzun bekleme süresi, yüksek sedimentasyon hızı ve advectif akımın baskın olması ile birlikte artmakta, kısa bekleme süresi, düşük sedimentasyon hızı ve dispersiv akım rejiminde ise minimum değişim göstermektedir. Dispersiv akım rejmi, rüzgarın etkisi ile oluşan karışımdan dolayı meydana gelmektedir (Hejzlar ve Vyhnaek 1998).

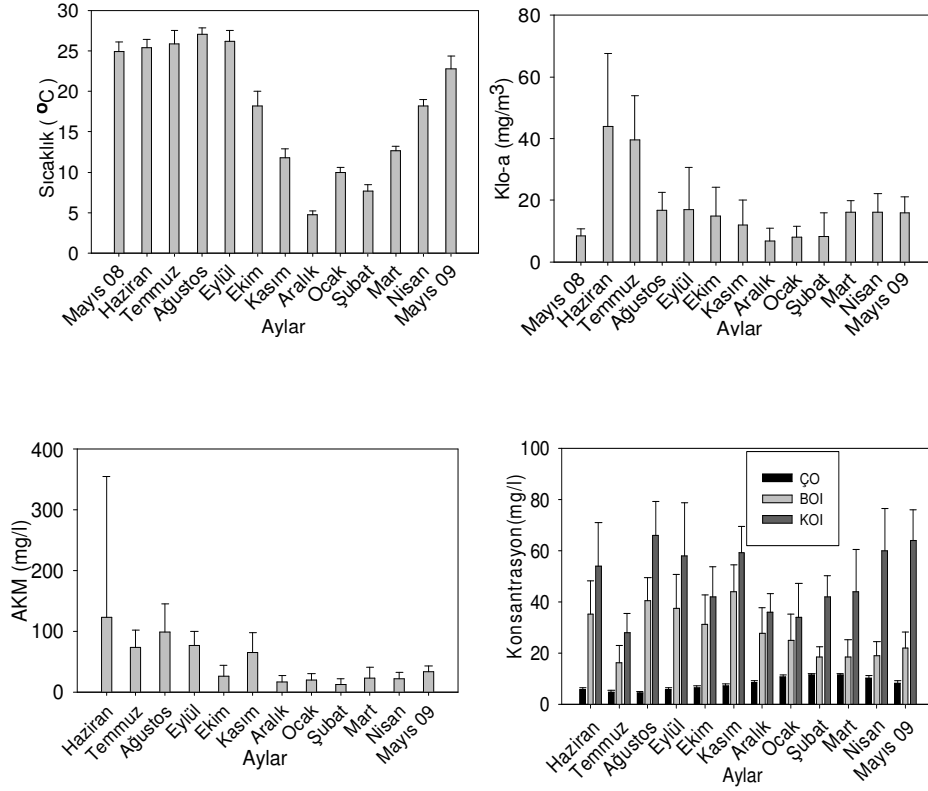
Sudaki fosfor konsantrasyonunun azalmasında, çökeltme önemli bir mekanizmadır. Çökeltme ile oluşan net kayıp sığ göllerde çok azdır. Bunun sebebi, stabil olmayan tabakalaşma, çöken materyalin tekrar askıda hale geçmesi ve nütrientlerin sedimentten serbest hale geçerek suya karışmasıdır. Bu nedenlerden dolayı, sığ göller derin göllere göre daha yüksek fosfor konsantrasyonuna ve fitoplankton biyomasına sahiptirler (Hejzlar ve Vyhalek 1998). Sudaki alkalinite, sertlik, pH, azot ve fosfor formlarının aylara göre değişimi şekil 4. 1.1’de gösterilmiştir.



Sularda organik kirlenmeyi gösteren parametrelerden olan çözülmüş oksijen, BOİ ve KOİ konsantrasyonlarının aylara göre değişimleri incelenmiştir. Ağustos Ayı çözülmüş oksijenin en düşük, KOİ'nin en yüksek olduğu aydır. Bu ayda BOİ de oldukça yüksek konsantrasyonda bulunmuştur. Bu ayda çözülmüş oksijen değeri, 4,49 mg/l, KOİ değeri 66 mg/l, BOİ 40,62 mg/l bulunmuştur. BOİ'nin maksimum değeri Kasım Ayı'nda 44,125 mg/l olarak belirlenmiştir. Kasım Ayı'nda KOİ değeri 59,37 mg/l olarak bulunmuş olup yine yüksek değerdedir. Bunun sebebinin yeni başlayan

yağışların neden olduğu yüzeysel akış sonucu sudaki organik maddelerin artması olarak düşünülmüştür. Yaz aylarında mikrobiyal aktivitenin artması sebebiyle organik maddelerin bozunma hızları artmaktadır. Bu nedenle de çözülmüş oksijen seviyesi düşmekte, BOİ ve KOİ artmaktadır. Bahar ve kış aylarında yağmurların ve rüzgarların şiddetinin artmasıyla sirkülasyon oluşması ve gölü besleyen su debilerinin artması sebebiyle meydana gelen karışımların etkisiyle göl suyu tekrar oksijen kazanmaktadır. (Singh, 2008). Ayrıca seyrelmenin artmasıyla organik kirleticilerin konsantrasyonları düşmektedir. Çözülmüş oksijen maksimum değere (11,54 mg/l) Şubat Ayı'nda ulaşmıştır. Şubat Ayı'nda BOİ diğer aylara göre oldukça düşük değerde olup 18,62 mg/l, KOİ göl ortalamasına yakın bir değerde olup 42 mg/l olarak bulunmuştur. BOİ ve KOİ 2008'in Mayıs Ayı'nda minimum değerlere sırasıyla 13,43 ve 24 mg/l ile ulaşmışlardır. Çözülmüş oksijen 2008 Mayıs'ta ölçülmemiştir. Şekil 4. 1. 2'de Uluabat Gölü ortalamasına göre incelenen sıcaklık, K₁o-a, AKM, ÇO, BOİ₅ ve KOİ parametrelerinin aylara göre değişimleri gösterilmektedir.

Uluabat Gölü'nün önemli bir sorunu olan AKM'nin göl ortalaması 47,73 mg/l olup, maksimum değeri Haziran Ayı'nda 122,75 mg/l, minimum değeri ise 12 mg/l ile Şubat Ayı'nda bulunmuştur. Bunun sebebinin Uluabat Gölü ve çevresinin yaz aylarında rüzgarlı olması nedeni ile oluşan akıntı ve dalgaların sediment tabakasını kaldırması ve su seviyesinin az olması nedeniyle suya karışması olduğu düşünülmüştür. AKM konsantrasyonları senelik ortalama değerleri istasyonlara göre incelendiğinde, en yüksek konsantrasyon 2. istasyonda görülmüştür. Bunun nedeni olarak bu bölgenin çok rüzgar alması ve dolayısıyla sediment karışımının meydana gelmesi olarak düşünülmüştür. Diğer istasyonlardaki değerlerin bir birine çok yakın olduğu görülmüştür. Yaz aylarında alglerin çoğalmaya başlaması ile AKM'nin arttığı bilinmektedir (Stumm ve Morgan, 1996).

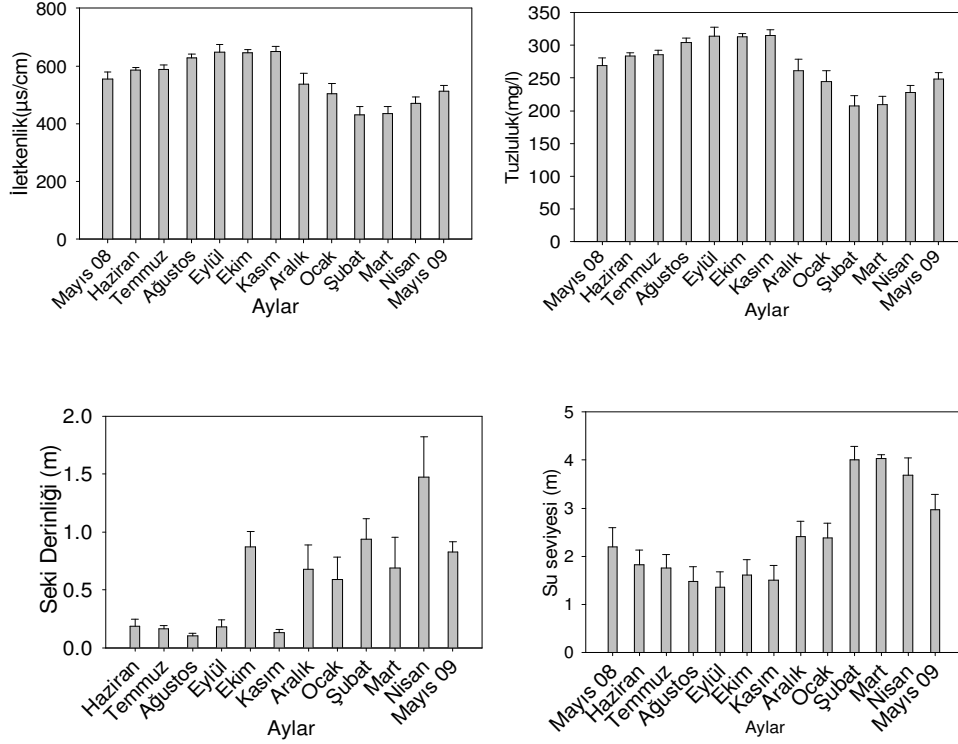


Şekil 4. 1. 2. Sıcaklık, K10-a, AKM, CO, BOI₅ ve KOI parametrelerinin aylara göre değişimleri

Işık geçirgenliğinin bir göstergesi olan seki derinliği çözünmüş minerallere bağlı olarak oluşan renge, aşırı yağışların getirdiği askıda katı maddelere, rüzgarın etkisi nedeni ile oluşan dalgalanma ile meydana gelen sedimentin tekrar suya karışmasıyla ve alg miktarına bağlı olarak değişmektedir. Alg miktarı, sonbahardan ilkbahara kadar minimum değişim, ilkbahardan yazıya kadar ise maksimum değişim görülmektedir. Bulanıklığın ilkbahar ve yaz arasındaki değişimi, ötrofikasyon derecesinin de bir göstergesidir (Straskraba ve ark. 1993). Uluabat Gölü'nde ilkbaharla yaz arasında maksimum alg değişimi görülmüş bu dönemde bulanıklık çok artmış ve seki derinliği de çok azalmıştır. Sonbahardan ilkbahara doğru alg popülasyonunun minimum hızla arttığı görülmüştür. Bu dönemde seki derinliğinde artış ve azalışlar görülmüştür. Bu değişimleri alglere bağlamak mümkün değildir. Kış mevsiminde meydana gelen yağışlar ve akarsu debilerinin artmasıyla göle karışan askıda katı madde ilişkisini kurmak daha doğru olmuştur.

Göllerdeki su ortamında çözülmüş ve çözünmemiş formda organik maddeler bulunmaktadır. Her iki formun miktarını, toprak yapısı, bitki örtüsü, ormanlık ve tarımsal alanların yüzey alanları, endüstri ve yerleşim merkezleri etkilemektedir. Genel olarak çözülmüş organik maddelerin konsantrasyonları, çözünmemiş bileşiklerden 5-10 kat fazla bulunmaktadır. Ancak debinin artmasıyla beraber çözünmemiş organik bileşikler artar ve çözülmüş maddelerden daha yüksek seviyeye gelebilmektedir. Bu durum genel olarak havzadaki erozyona ve taşınan askıda katı madde yüküne bağlıdır. Gölde bulunan çözünmemiş organik bileşikler daha çok sedimentte birikmektedir. Kısmen parçalanabilmekte kısmen de kalıcı olmaktadır. Buna karşın çözülmüş organik bileşiklerin bozunması zaman almaktadır. KOI_{Cr} ile belirlenebilen çözülmüş organik bileşikler karanlık ortamda gerçekleştirilen 100 günlük inkübasyon sonucunda ancak %20 oranında bozunabilmiştir. Çözülmüş organik bileşiklerin oksijen rejimine etkisi olmamasına rağmen, suyun tadını ve suyunu bozabilmektedir (Straskraba ve ark. 1993). Suyun elektrik iletme kapasitesini belirleyen, çözülmüş iyonların konsantrasyonlarını gösteren iletkenlik ve tuzluluğun minimum değerleri $430,18 \mu\text{s/cm}$ ve $207,937 \text{ mg/l}$ olarak Şubat Ayı'nda bulunmuştur. Şubat Ayı göl su derinliğinin en yüksek olduğu aylardan biridir. Dolayısıyla kirlilik parametrelerinde seyrelmeler görülmüştür. En yüksek oldukları aylar da $649,18 \mu\text{s/cm}$ ve $314,43 \text{ mg/l}$ ile Kasım Ayı'nda bulunmuşlardır. Kasım Ayı'nda KOI' 'nin de yıllık ortalama değerinin üstünde $59,375 \text{ mg/l}$ olduğu görülmüştür. Değerlendirilen parametrelerin haricinde, küresel iklim değişikliğinin neden olduğu göllerdeki su seviyesindeki azalma, su kalitesini etkilemektedir. Ayrıca su sıcaklığının artması, düşük oksijen seviyesi, uzun bekletme süresi, artan tuzluluk, içteki fosfor yükünün artması ve denitrifikasyonun durması ile ilişkilendirilmektedir. Sıcaklığın artması ile meydana gelen oksijen azalması ve bekletme süresinin artmasının yol açtığı tuzluluk artışı balık ve bazı canlı türlerinin ölümüne yol açmaktadır (Beklioğlu ve ark. 2006, Beklioğlu ve Özen 2007) Uluabat Gölü'nde yapılan gözlemler sırasında, Ağustos Ayı'nda balık ölümlerinin olduğu görülmüştür. Ayrıca daha önce kerevit açısından zengin olan gölde bugünlerde kerevit bulunmamaktadır. Kurak ya da yarı kurak bölgelerde bulunan sığ göller, su miktarına karşı hassastırlar. Hidrolojik koşullara karşı olan bu hassaslık tuzluluk ve iletkenlikle belirlenen başlıca iyonlar ve nütrientlerin miktarlarını etkilemektedir. Göldeki su hacminin göle giren su miktarına bölünmesiyle elde edilen hidrolik bekletme süresi

hidrolojik değişimlerin bir göstergesidir. Artan bekletme süresinin tuzluluğu artırdığı bilinmektedir. Bu sebeple bekletme süresinin ve su seviyesinin aylara göre incelenmesi ve tuzlulukla ilişkilendirilmesi önemlidir (Beklioğlu ve ark. 2006, Beklioğlu ve Özen 2007).



Şekil 4. 1. 3. İletkenlik, tuzluluk, seki serinliği ve su seviyesinin aylara göre değişimleri

Şekil 4.1.3'te iletkenlik, tuzluluk, seki serinliği ve su seviyesinin aylara göre değişimleri gösterilmiştir. Laboratuvar ve saha çalışmaları ile göl içindeki 8 istasyonda belirlenen tüm parametrelerin mevsimsel ve yıllık ortalama değerleri alınarak, standart sapmaları, maksimum ve minimum değerleri belirlenmiştir. Çizelge 4. 1. 1.ve çizelge 4. 1. 2.'de su kalitesi parametrelerinin sırasıyla mevsimsel ortalama, yıllık ortalama, maksimum-minimum ve standart sapma değerleri gösterilmiştir. Ayrıca çizelge 4. 1. 3.'te farklı sığ göllerde bulunan değerler ile karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 4. 1. 1. Uluabat Gölü Su Kalitesi Parametreleri mevsimsel ortalama değerleri

| Parametre | Yaz | Sonbahar | Kış | İlkbahar |
|---|---------|----------|--------|----------|
| Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) | 26,10 | 19,29 | 7,47 | 19,43 |
| pH Parametresi | 8,348 | 8,36 | 8,419 | 8,094 |
| İletkenlik($\mu\text{s}/\text{cm}$) | 600,43 | 648,04 | 490,91 | 472,68 |
| TDS (mg/l) | 304,083 | 314,041 | 237,75 | 228,56 |
| Ç O (mg/l) | 5,082 | 6,591 | 10,316 | 10,004 |
| AKM (mg/l) | 98,08 | 55,73 | 16 | 25,66 |
| Alkalinite (mg CaCO_3/l) | 282,85 | 249,17 | 194,27 | 270,1 |
| Sertlik (mg CaCO_3/l) | 335,25 | 351,08 | 269,91 | 271,208 |
| BOI (mg/l) | 30,73 | 37,62 | 23,79 | 19,91 |
| KOI (mg/l) | 49,33 | 53,125 | 37,33 | 56 |
| Klorofil-a (mg/ m^3) | 33,43 | 14,64 | 7,72 | 16,08 |
| $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l) | 0,802 | 0 | 0,073 | 0,014 |
| $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l) | 0,685 | 0 | 0,116 | 0 |
| TN (mg/l) | 19,87 | 7,061 | 4,841 | 4,987 |
| $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l) | 0,211 | 0,1959 | 0,0402 | 0,0464 |
| TP (mg/l) | 0,2758 | 0,2621 | 0,0894 | 0,0884 |

Çizelge 4. 1. 2. Uluabat Gölü Su Kalitesi Parametreleri yıllık ortalama ve maksimum-minimum değerleri

| Parametre | Ort±SD | Mak-Min |
|--------------------------------------|---------------|--------------|
| Sıcaklık (°C) | 18,053±7,709 | 28,9-4,1 |
| pH Parametresi | 8,305±0,287 | 9,7-7,16 |
| İletkenlik (µs/cm) | 553,02±82,57 | 686-403 |
| TDS (mg/l) | 271,109±40,24 | 332-195 |
| ÇO (mg/l) | 7,998±2,546 | 12,09-3,43 |
| AKM (mg/l) | 48,87±77,06 | 980-4 |
| Seki Derinliği(cm) | 56,87±44,01 | 200-5 |
| Alkalinite (mg CaCO ₃ /l) | 249,35±44,5 | 407,5-157,5 |
| Sertlik (mgCaCO ₃ /l) | 306,86±46,87 | 490-228 |
| BOI (mg/l) | 28,01±12,73 | 52,5-5 |
| KOI (mg/l) | 48,94±17,71 | 80-16 |
| Klorofil-a (mg/m ³) | 17,97±14,94 | 90,36-2,035 |
| NH ₄ -N (mg/l) | 0,222±0,812 | 7-0 |
| NO ₃ -N (mg/l) | 0,2005±0,736 | 4,2-0 |
| TOP-N (mg/l) | 9,191±8,239 | 63,7-1,4 |
| PO ₄ -P (mg/l) | 0,1234±0,12 | 0,4267-0,009 |
| TOP-P (mg/l) | 0,1789±0,138 | 0,5572-0,048 |
| Su seviyesi (m) | 2,41±1,01 | 4,5-0,7 |

Çizelge 4. 1. 3. Uluabat Gölü su kalitesi parametreleri yıllık ortalama değerleri ve farklı sığ göller

| Parametre | Kaynak | Mak-Min | Ort ± SD |
|------------------------|--|------------|---------------|
| ÇO (mg/l) | (Papatheodorou ve ark. 2006), Pamvotis Gölü | 11,2-1,1 | 8,2±2,01 |
| | (Karakoç ve ark. 2003), Gölbaşı Gölü | 10,8-1,3 | 7,49 ±2,98 |
| | (Kazama ve Shrestha 2006), Fuji Nehri | 15-5,2 | 9,76±1,5 |
| | (Çalışma sonuçları) | 12,09-3,43 | 7,998±2,546 |
| pH | (Papatheodorou ve ark. 2006), Pamvotis Gölü | 8,3-6,4 | 7,47±0,47 |
| | (Albay ve Akçaalan 2007), Manyas Gölü | 8,9-,4 | 8,1 |
| | (Albay ve Akçaalan 2007), Manyas Gölü | 8,4-7,8 | 8 |
| | (Gondar ve ark. 2008), Esthwaite | 8-7,38 | 7,714 |
| | (Çelik ve Ongun 2008), Manyas Gölü | 10,3-7,1 | 8,66±0,416 |
| | (Çalışma sonuçları) | 9,7-7,16 | 8,305±0,287 |
| İletkenlik (µs/cm) | (Papatheodorou ve ark. 2006) Pamvotis Gölü | 420-255 | 320±32 |
| | (Gondar ve ark. 2008), Esthwaite | 128-104 | 117 |
| | (Karakoç ve ark. 2003), Gölbaşı Gölü | 1971-513 | 1042 ±532,16 |
| | (Albay ve Akçaalan 2007), Manyas Gölü | 8860-980 | 2830 |
| | (Albay ve Akçaalan 2007), Sapanca Gölü | 253-157 | 205 |
| Sıcaklık (°C) | (Çalışma sonuçları) | 686-403 | 553,02±82,57 |
| | (Karakoç ve ark. 2003), Gölbaşı Gölü | 27,7-9,6 | 17,2 ±7,06 |
| | (Albay ve Akçaalan 2007), Manyas Gölü | 27,1-7,1 | 18,6 |
| | (Albay ve Akçaalan 2007),Sapanca Gölü | 27,1-8 | 19,9 |
| Su seviyesi (m) | (Çalışma sonuçları) | 28,9-4,1 | 18,053±7,709 |
| | (Wang ve ark. 2008), Meiliang Körfezi | | 1,87 |
| | (Wang ve ark. 2008), Gonghu Körfezi | | 1,34 |
| Seki derinliği (cm) | (Çalışma sonuçları) | 4,5-0,7 | 2,41±1,01 |
| | (Albay ve Akçaalan 2007), Manyas Gölü | 0,34-0,16 | 0,216 |
| | (Albay ve Akçaalan 2007),Sapanca Gölü | 3,80-1 | 2,76 |
| | (Çelik ve Ongun 2008), Manyas Gölü | 0,3-0,1 | 0,153±0,035 |
| | (Çalışma sonuçları) | 2,00-0,05 | 0,5687±0,4401 |

Çizelge 4. 1. 3. (Devam) Uluabat Gölü su kalitesi parametreleri yıllık ortalama değerleri ve farklı sığ göller

| Parametre | Kaynak | Mak-Min | Ort ± SD |
|------------------------------------|---|--------------|---------------|
| KOI (mg/l) | (Karakoç ve ark. 2003), Gölbaşı Gölü | 113-14 | 48,34 ±28,98 |
| | (Akçay ve ark. 2003), Büyük Menderes | 46,3-38,5 | 42,4±5,51 |
| | (Akçay ve ark. 2003), Gediz | 48-41,5 | 44,75±4,59 |
| | Çalışma sonuçları | 80-16 | 48,94±17,71 |
| Klorofil - a (mg/m ³) | (Gondar ve ark. 2008), Esthwaite | 52,9-1,8 | 17,61 |
| | (Çelik ve Ongun 2008), Manyas Gölü | 105-71 | 84,66±6,806 |
| | Çalışma sonuçları | 90,36-2,035 | 17,97±14,94 |
| NH ₄ -N (mg/l) | (Papatheodorou ve ark. 2006), Pamvotis Lake | 1,824-0 | 0,226±0,328 |
| | (Çelik ve Ongun 2008), Manyas Gölü | 0,04-0,0001 | 0,0067±0,0097 |
| | (Kazama ve Shrestha 2006), Fuji Nehri | 3-0,01 | 0,83±2,35 |
| | Çalışma sonuçları | 7-0 | 0,222±0,812 |
| NO ₃ -N (mg/l) | (Papatheodorou ve ark. 2006), Pamvotis Lake | 3,63-0 | 0,941±0,834 |
| | (Çelik ve Ongun 2008), Manyas Gölü | 6,8-2,9 | 4,36±0,805 |
| | (Kazama ve Shrestha 2006), Fuji Nehri | 2,56-0,13 | 1,17±0,04 |
| | Çalışma sonuçları | 4,2-0 | 0,2005±0,736 |
| Toplam Azot (mg/l) | (Wang ve ark. 2008), Meiliang Körfezi | | 3,73 |
| | (Wang ve ark. 2008), Gonghu Körfezi | | 1,66 |
| | Çalışma sonuçları | 63,7-1,4 | 9,191±8,239 |
| PO ₄ -P (mg/l) | (Albay ve ark. 2007), Manyas Gölü | 0,324-0,040 | 0,168 |
| | (Albay ve ark. 2007), Sapanca Gölü | 0,016-0,002 | 0,0052 |
| | (Çelik ve Ongun 2008), Manyas Gölü | 0,69-0,09 | 0,266±0,168 |
| | Çalışma sonuçları | 0,4267-0,009 | 0,1234±0,12 |
| Toplam fosfor (mg/l) | (Papatheodorou ve ark. 2006), Pamvotis Gölü | 1,159-0,013 | 0,147±0,211 |
| | (Karakoç ve ark. 2003), Gölbaşı Gölü | 1,6-0,07 | 0,562 ±0,543 |
| | (Wang ve ark. 2008), Meiliang Körfezi | | 0,23 |
| | (Wang ve ark. 2008), Gonghu Körfezi | | 0,04 |
| | (Albay ve ark. 2007), Manyas Gölü | 0,922-0,164 | 0,628 |
| | (Albay ve ark. 2007), Sapanca Gölü | 0,038-0,0045 | 0,012 |
| | Çalışma sonuçları | 0,5572-0,048 | 0,1789±0,138 |
| AKM (mg/l) | (Karakoç ve ark. 2003), Gölbaşı Gölü | 747-7 | 133,1 ±208 |
| | Çalışma sonuçları | 980-4 | 48,87±77,06 |
| Sertlik (mg CaCO ₃ /l) | (Papatheodorou ve ark. 2006), Pamvotis Gölü | 195-90 | 138±21,6 |
| | Çalışma sonuçları | 490-228 | 306,86±46,87 |
| Alkalinite(mgCaCO ₃ /l) | (Gondar ve ark. 2008), Esthwaite | 312-206 | 254,1 |
| | Proje Sonuçları | 407,5-157,5 | 249,35±44,5 |

Uluabat Gölü su kalitesi Türkiye ve Dünya'daki standart değerler ile karşılaştırılmıştır. Parametrelere göre su kalitesi sınıfları belirlenirken 8 istasyonun yıllık ortalama değerleri göz önüne alınmıştır.

SKKY Teknik Usüller Tebliği'nde verilmiş olan "Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri" Tablosu (Anonim 1991) ile karşılaştırıldığında sıcaklık, $\text{NO}_3\text{-N}$ ve $\text{NH}_4\text{-N}$ parametrelerine göre 1. sınıf, iletkenlik, BOI_5 ve tuzluluk değerlerine göre 2. sınıf, AKM'ye göre 4. sınıf bulunmuştur. pH için verilen aralığa göre 1., 2. ve 3. sınıf sulama standart değerlerine uymaktadır. En yüksek sınıftaki parametreye göre değerlendirme yapılması nedeni ile Uluabat Gölü, sulama suyu kriterlerine göre 4. sınıfta bulunmuştur.

Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Su Ürünleri Yönetmeliği (SÜY), "İç Sulara ve Denizlerdeki İstihsal Yerlerine Dökülmesi Yasak Olan Zararlı Maddeler ve Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerler Listesi, Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerler" (Anonim 2005a) tablosunda verilen standart değerlere göre bu bölümde incelenen parametreler değerlendirildiğinde, $\text{NO}_3\text{-N}$ ve $\text{PO}_4\text{-P}$ parametreleri sınır değerlerin altında, $\text{NH}_4\text{-N}$ sınır değerinin üstünde bulunmuştur.

TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular kriterlerinin (Anonim 2005b) sınıflandırma tablolarına göre $\text{NO}_3\text{-N}$ ve pH'a göre 1. sınıf, $\text{NH}_4\text{-N}$ 'e göre 2. sınıf, iletkenlik değerine göre de 2. sınıf sınır değerini aşmış bulunmaktadır. Bu kriterlere göre Uluabat Gölü içme ve kullanma sınır değerlerini aşmış bulunmaktadır.

WHO içme suyu standartlarına (Anonim 2006 b) göre $\text{NO}_3\text{-N}$ 'nin sınır değerinin (50 mg/l) altında olduğu ancak sertlik, tuzluluk, pH, KOI ve $\text{PO}_4\text{-P}$ parametrelerine ait standart değerlerin bulunmaması nedeniyle bir değerlendirme yapılamamıştır.

Uluabat Gölü su kalitesinin değerlendirilmesinde kullanma, sulama suyu, içme suyu ve alıcı ortam standartları çizelge 4. 1. 4.'te verilmiştir (Anonim 1991, Anonim 2005a, Anonim 2005b).

Uluabat Gölü su kalitesinin Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)'inde verilen "Kıta içi Yüzeysel Suların Kalitelerine Göre Sınıflandırılması" ve "Kıta içi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" tablolarından faydalanılarak, ölçüm istasyonlarındaki parametre grupları için (A, B, C) ayrı ayrı kalite sınıfları belirlenmiştir. Parametrelere göre su kalitesi sınıfları belirlenirken 8 istasyonun yıllık ortalama değerleri göz önüne alınmıştır.

Sıcaklığa göre 1. sınıfa, pH'a göre, 1. ve 2. sınıfa birden girmektedir. Çözünmüş oksijene göre 1. sınıf, toplam çözünmüş maddeye göre 1. sınıf, BOİ'ye göre 4.sınıf, KOİ'ye göre 2. sınıf, NH₄-N'e göre 2.sınıf, NO₃-N'e göre 1. sınıf, TKN'ye göre 4. sınıf, TP'a göre 3. sınıf olarak bulunmuştur. Ancak bu parametrelerin tümü birden değerlendirildiğinde, BOİ ve TKN'nin 4. sınıfa girmesi sebebiyle su kalitesi 4. sınıf olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 4.1.5'te SKKY "Kıtaçi Yüzeysel Suların Kalitelerine Göre Sınıflandırılması" ve "Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" tablosu verilmiştir (Anonim 2004).

Çizelge 4. 1. 4. Uluabat Gölü su kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan sulama suyu, içme suyu ve alıcı ortam standartları (Anonim 1991, Anonim 2005a, Anonim 2005b).

| Parametreler | SKKY, Tek. Usül. Teb., 1991 ^c | | | | | SÜY 2005 ^d | TS266, 2005 | |
|--|--|---------|----------|---------------|---------|--------------------------|-----------------------------|---------------|
| | I | II | III | IV | V | Tolere değer | Sınıf 1 ve sınıf 2 Tip 1 | Sınıf 2 Tip 2 |
| Sıcaklık (°C) | 30 | 30 | 35 | 40 | >40 | - | - | - |
| pH | 6,5-8,5 | 6,5-8,5 | 6,5-8,5 | 6,5-9,0 | <6 - >9 | - | 6,5<pH<9,5 | 6,5<pH<9,5 |
| Derinlik (cm) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Seki disk derinliği (cm) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Elektriksel iletkenlik (μScm^{-1}) | 0-250 | 250-750 | 750-2000 | 2000- 3000 | > 3000 | - | 0,65 | 2,6 |
| Çözünmüş oksijen (mg l^{-1}) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Toplam azot (mg l^{-1}) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Nitrat iyonu (NO_3^-) (mg l^{-1}) | 0-5 | 5-10 | 10-30 | 30-50 | > 50 | 4,2 | 25 | 50 |
| Nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) (mg l^{-1}) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Amonyum iyonu (NH_4^+) (mg l^{-1}) | 0-5 | 5-10 | 10-30 | 30-50 | > 50 | 0,02 | 0,05 | 0,50 |
| Amonyum azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) (mg l^{-1}) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Toplam fosfor (mg l^{-1}) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Orto-fosfat iyonu (PO_4^{3-}) (mg l^{-1}) | - | - | - | - | - | 15 | - | - |
| Orto-fosfat fosforu ($\text{PO}_4\text{-P}$) (mg l^{-1}) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Kalsiyum (Ca^{++}) (mg l^{-1}) | - | - | - | - | - | 800 | - | - |
| Magnezyum (Mg^{++}) (mg l^{-1}) | - | - | - | - | - | 14 | - | - |
| Sodyum (Na^+) (mg l^{-1}) | - | - | - | - | - | 85 | - | - |
| Potasyum (K^+) (mg l^{-1}) | - | - | - | - | - | 50 | - | - |
| Klorür (Cl^-) (mg l^{-1}) | 0-142 | 142-249 | 249-426 | 426-710 | >710 | 170 | - | - |
| Karbonat (CO_3^{2-}) (mg l^{-1}) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Bikarbonat (HCO_3^-) (mg l^{-1}) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Sülfat (SO_4^{2-}) (mg l^{-1}) | 0-192 | 192-336 | 336-575 | 575-960 | >960 | 90 | - | - |
| Sertlik ($\text{mg l}^{-1} \text{CaCO}_3$) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Biyolojik oksijen ihtiyacı (mg l^{-1}) | 0-25 | 25-50 | 50-100 | 100-200 | >200 | - | - | - |
| Kimyasal oksijen ihtiyacı (mg l^{-1}) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Toplam çözünmüş madde (mg l^{-1}) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Askıda katı madde (mg l^{-1}) | 20 | 30 | 45 | 60 | >100 | - | - | - |
| Toplam tuz konsantrasyonu (mg l^{-1}) | 0-175 | 175-525 | 525-1400 | 1400- 2100 | >2100 | - | - | - |
| Sodyum adsorbsiyon oranı | <10 | 10-18 | 18-26 | >26 | - | - | - | - |

Çizelge 4. 1. 5. SKKY, Kıtaiçi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (Anonim 2004).

| SU KALİTE PARAMETRELERİ | SU KALİTE SINIFLARI | | | |
|---|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| | I | II | III | IV |
| A) Fiziksel ve inorganik- kimyasal Parametreler | | | | |
| 1) Sıcaklık (°C) | 25 | 25 | 30 | > 30 |
| 2) pH | 6,5-8,5 | 6,5-8,5 | 6,0-9,0 | 6,0-9,0 dışında |
| 3) Çözünmüş oksijen (mg O ₂ /L) ^a | 8 | 6 | 3 | < 3 |
| 4) Oksijen doygunluğu (%) ^a | 90 | 70 | 40 | < 40 |
| 5) Klorür iyonu (mg Cl ⁻ /L) | 25 | 200 | 400 ^b | > 400 |
| 6) Sülfat iyonu (mg SO ₄ ⁻ /L) | 200 | 200 | 400 | > 400 |
| 7) Amonyum azotu (mg NH ₄ ⁺ -N/L) | 0,2 ^c | 1 ^c | 2 ^c | > 2 |
| 8) Nitrit azotu (mg NO ₂ ⁻ -N/L) | 0,002 | 0,01 | 0,05 | > 0,05 |
| 9) Nitrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/L) | 5 | 10 | 20 | > 20 |
| 10) Toplam fosfor (mg P/L) | 0,02 | 0,16 | 0,65 | > 0,65 |
| 11) Toplam çözünmüş madde (mg/L) | 500 | 1500 | 5000 | > 5000 |
| 12) Renk (Pt-Co birimi) | 5 | 50 | 300 | > 300 |
| 13) Sodyum (mg Na ⁺ /L) | 125 | 125 | 250 | > 250 |
| B) Organik parametreler | | | | |
| 1) Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L) | 25 | 50 | 70 | > 70 |
| 2) Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) (mg/L) | 4 | 8 | 20 | > 20 |
| 3) Toplam organik karbon (mg/L) | 5 | 8 | 12 | > 12 |
| 4) Toplam kjeldahl-azotu (mg/L) | 0,5 | 1,5 | 5 | > 5 |
| 5) Yağ ve gres (mg/L) | 0,02 | 0,3 | 0,5 | > 0,5 |
| 6) Metilen mavisi ile reaksiyon veren yüzey aktif maddeleri (MBAS) (mg/L) | 0,05 | 0,2 | 1 | > 1,5 |
| 7) Fenolik maddeler (uçucu) (mg/L) | 0,002 | 0,01 | 0,1 | > 0,1 |
| 8) Mineral yağlar ve türevleri (mg/L) | 0,02 | 0,1 | 0,5 | > 0,5 |
| 9) Toplam pestisid (mg/L) | 0,001 | 0,01 | 0,1 | > 0,1 |
| C) İnorganik kirlenme parametreleri^d | | | | |
| 1) Civa (µg Hg/L) | 0,1 | 0,5 | 2 | > 2 |
| 2) Kadmiyum (µg Cd/L) | 3 | 5 | 10 | > 10 |
| 3) Kurşun (µg Pb/L) | 10 | 20 | 50 | > 50 |
| 4) Arsenik (µg As/L) | 20 | 50 | 100 | > 100 |
| 5) Bakır (µg Cu/L) | 20 | 50 | 200 | > 200 |
| 6) Krom (toplam) (µg Cr/L) | 20 | 50 | 200 | > 200 |
| 7) Krom (µg Cr ⁺⁶ /L) | Ölçülmeyecek kadar az | 20 | 50 | > 50 |
| 8) Kobalt (µg Co/L) | 10 | 20 | 200 | > 200 |
| 9) Nikel (µg Ni/L) | 20 | 50 | 200 | > 200 |
| 10) Çinko (µg Zn/L) | 200 | 500 | 2000 | > 2000 |
| 11) Siyanür (toplam) (µg CN/L) | 10 | 50 | 100 | > 100 |
| 12) Florür (µg F ⁻ /L) | 1000 | 1500 | 2000 | > 2000 |
| 13) Serbest klor (µg Cl ₂ /L) | 10 | 10 | 50 | > 50 |
| 14) Sülfür (µg S ⁻² /L) | 2 | 2 | 10 | > 10 |
| 15) Demir (µg Fe/L) | 300 | 1000 | 5000 | > 5000 |
| 16) Mangan (µg Mn/L) | 100 | 500 | 3000 | > 3000 |
| 17) Bor (µg B/L) | 1000 ^e | 1000 ^e | 1000 ^e | > 1000 |
| 18) Selenyum (µg Se/L) | 10 | 10 | 20 | > 20 |
| 19) Baryum (µg Ba/L) | 1000 | 2000 | 2000 | > 2000 |
| 20) Alüminyum (mg Al/L) | 0,3 | 0,3 | 1 | > 1 |
| 21) Radyoaktivite (pCi/L) | | | | |
| alfa-aktivitesi | 1 | 10 | 10 | > 10 |
| beta-aktivitesi | 10 | 100 | 100 | > 100 |
| D) Bakteriyolojik parametreler | | | | |
| 1) Fekal koliform(EMS/100 mL) | 10 | 200 | 2000 | > 2000 |
| 2) Toplam koliform (EMS/100 mL) | 100 | 20000 | 100000 | > 100000 |

(a) Konsantrasyon veya doygunluk yüzdesi parametrelerinden sadece birisinin sağlanması yeterlidir.

(b) Klorüre karşı hassas bitkilerin sulanmasında bu konsantrasyon limitini düşürmek gerekebilir.

(c) PH değerine bağlı olarak serbest amonyak azotu konsantrasyonu 0.02 mg NH₃ N/L değerini geçmemelidir.

(d) Bu gruptaki kriterler parametreleri oluşturan kimyasal türlerin toplam konsantrasyonlarını vermektedir.

4. 1. 1. 1. Su ve Sediment Kalitesi Parametrelerinin İstatistiksel Analizi

Korelasyon Analizi

Uluabat Gölü'nde, su kolonunda yüzey ve dip tabakalarından, sedimentin yüzey tabakasından alınan, örneklerde yapılan incelemelerde su kalitesinin değişimlerini ve bu değişimlerin nedenlerini açıklayabilmek amacıyla parametrelerin birbirleri arasındaki korelasyonları belirleyen r değerleri ve önemlilik durumlarını açıklayan p değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Minitab 15 istatistik programı kullanılmıştır.

Uluabat Gölü'nün 2008-2009 yılında ve daha önceki yıllarda ötrofik seviyede olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle ötrofikasyon ile meydana gelen reaksiyonları daha iyi anlayabilmek amacıyla yapılan göl içinde bulunan 8 istasyonun 12 aylık değerleri kullanılarak elde edilen hesaplamalar sonucunda, TN, NH₄-N, NO₃-N, TP, PO₄-P, klorofil-a, seki derinliği, çözünmüş oksijen, pH ve sıcaklığın birbirleri arasındaki ilişkiler önemli bulunmuşlardır.

Göldeki bulanıklığın bir göstergesi olan seki derinliğinin klorofil-a ile olan ilişkisi gibi negatif değerlikli r değerleri, parametrelerin ters orantılı olarak ilişkili olduklarını göstermektedir. Ayrıca, seki derinliğinin göldeki tüm nütrientler ile olan korelasyonları sonucunda elde edilen r değerlerinin de negatif ve önemli oldukları belirlenmiştir. Bu durumu, alglerin nütrientlerle beslenmeleri sonucunda çoğalmaları ve bunun neticesinde de bulanıklığın artarak seki derinliğinin azalmasına yol açtukları ile açıklamak mümkündür. Klorofil-a'nın alkalinite ile olan ilişkisi de önemli bulunmuştur. Alkalinite, H⁺ ve OH⁻ iyonlarının konsantrasyonlarının değişiminden, tüm üretim ve tüketim faaliyetlerinden etkilenmektedir. Çözünebilir demir iyonlarının (Fe⁺²) demir oksite (Fe₂O₃) dönüşmesi alkaliniteyi azaltırken, MnO₂'nin indirgenmesi ve Mn⁺² nin serbest kalması alkaliniteyi artırmaktadır. Fotosentetik reaksiyonlar sonucunda NO₃-N'in kullanılması alkaliniteye artışa, NH₄-N'ün kullanılması azalmaya neden olmaktadır. Bunların haricinde, nitrifikasyonla azalma, denitrifikasyon ile artma, CaCO₃'ün çözünmesi ile oluşan HCO₃⁻ iyonu alkaliniteye artışa neden olmaktadır (Stumm ve Morgan 1996). Gölün kirliliğinde önemli bir sorun olan askıda katı madde ile azot ve fosfor formları arasında, ilişki önemli bulunmuştur. Bu durum göle giren askıda katı maddenin organik kirlilik yükü taşıdığını göstermektedir. Ayrıca kirlilik konsantrasyonları ile iletkenliğin doğru orantılı olabileceği görülmüştür. Özellikle,

mevsimsel olarak değişen sıcaklığın parametrelerin çoğunluğunu önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Sıcaklığın dışında, göldeki su kalitesinin en önemli parametrelerinden biri olan çözünmüş oksijenin diğer tüm parametrelerle ilişkisi olduğu görülmüştür. Kirlilik artışıyla birlikte çözünmüş oksijenin azaldığı r değerlerinin negatif olması sebebiyle anlaşılmaktadır. Sertlik ile PO₄-P arasında önemli bir ilişki bulunmuştur. CaCO₃'ün çözünmesi ile serbest kalan Ca⁺², PO₄-P ile tepkimeye girerek CaPO₄ olarak çökelmektedir (Hejzlar ve Vyhnaek 1998). Bu durum PO₄-P ile sertliğin birbiri ile paralel olarak birbirini etkilediklerini göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda, 8. ve 1. istasyonların organik kirlilik bakımından en kirliliği iki bölgede oldukları belirlenmiştir. Bu iki istasyonun dışında da 4. istasyon gölü besleyen en önemli kaynak olan Mustafakemalpaşa Çayı'nın girişinde olması sebebiyle, kirleticilerin ve yüksek miktarda debinin giriş yaptığı, dispersiyon ve adveksiyonun çok olduğu bölgede bulunmaktadır. Bu nedenlerden dolayı belirtilen üç istasyon, numunelerin alındığı 8 istasyon içerisinde kirlilik parametrelerinin birbirleriyle olan ilişkilerinin daha belirgin olarak görülebileceği bölgeler olarak düşünölmüştür. Her üç istasyonda da, sıcaklıkla alkalinite ve klorofil-a arasındaki, TP ile PO₄-P arasındaki, çözünmüş oksijenin ve iletkenliğin sertlik ve derinlik arasındaki, toplam çözünmüş katı maddenin sertlik ile arasındaki r değerleri önemli bulunmuştur. 8. istasyonda, diğerlerinden farklı olarak BOİ'nin su derinliği ve seki derinliği arasındaki ilişkilerinin önemli bulunması dikkat çekicidir. Organik kirlilik nedeni ile BOİ'nin arttığı ve bu nedenle de bulanıklığın yükseldiği ve seki derinliğinin azaldığını söylemek mümkündür. Mustafakemalpaşa Çayı'nın giriş yaptığı 4. istasyonda ise TP'un BOİ, KOİ ve Klo-a ilişkileri önemli bulunmuştur. Gölün çıkışına yakın bölgede bulunan 1. istasyonda da çözünmüş oksijenin alkalinite ve askıda katı madde ile olan ilişkileri önemli bulunmuştur.

Su numuneleri ile eş zamanlı olarak alınan sediment numunelerinde incelenen bazı kirlilik parametreleri arasında olan ilişkiler incelenmiştir. İncelenen parametrelerde, % organik madde'nin azot formları, iletkenlik ve sıcaklıkla ilişkilerinin önemli olduğu görülmüştür. Ancak % organik maddenin TP ve PO₄-P ile arasında olan ilişkilerinin önemli olmadığı belirlenmiştir. Sıcaklığın tüm nütrientler üzerindeki etkisinin büyük olduğu belirlenmiştir. Burada dikkat çekici olan nokta, sıcaklığın PO₄-P ile olan r değeri pozitifken, TP ile olan korelasyon değerlerininse negatif olmasıdır. Bu da fosforun

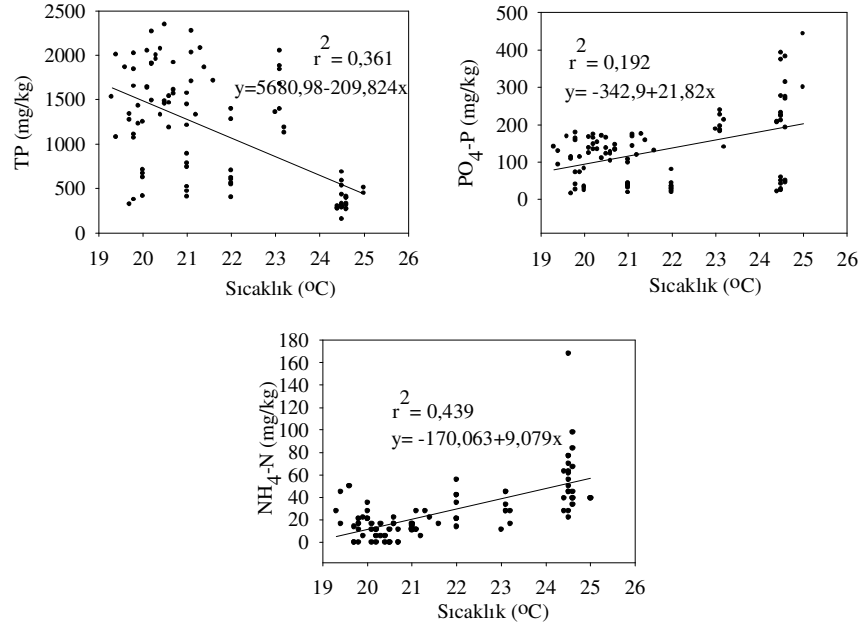
sedimentten suya sıcaklığın etkisi ile geçtiğinin göstermektedir. Aynı durum pH ve TP arasındaki ilişkide de görülmektedir. pH ve iletkenlik TN’u pozitif yönde etkilemektedir. Ayrıca nütrientlerin çoğu birbirleriyle etkileşim içindedirler. Sedimentteki kirlilik parametrelerinin birbirleriyle olan ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayısı değerleri çizelge 4.1.6.’da ve korelasyon grafikleri şekil 4.1.4’te gösterilmiştir.

Su kalitesi parametrelerinde incelendiğine benzer olarak 8., 4. ve 1. istasyonlarda sediment kalitesi parametrelerinin r değerleri incelenmiştir. Organik kirliliğin en yoğun yaşandığı 8. istasyonda TN-TP arasındaki r değerinin en yüksek olduğu görülmüştür. 8. istasyonda, iletkenlikle NH₄-N arasındaki ilişki önemli bulunurken, 4. ve 1. istasyonlarda iletkenliğin PO₄-P ile olan ilişkisi önemli bulunmuştur. Sıcaklığın ise her üç istasyonda da önemli olduğu belirlenmiştir. Su kalitesi parametrelerinin birbirleriyle ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayısı değerleri çizelge 4.1.7. ve şekil 4.1.5’te gösterilmektedir.

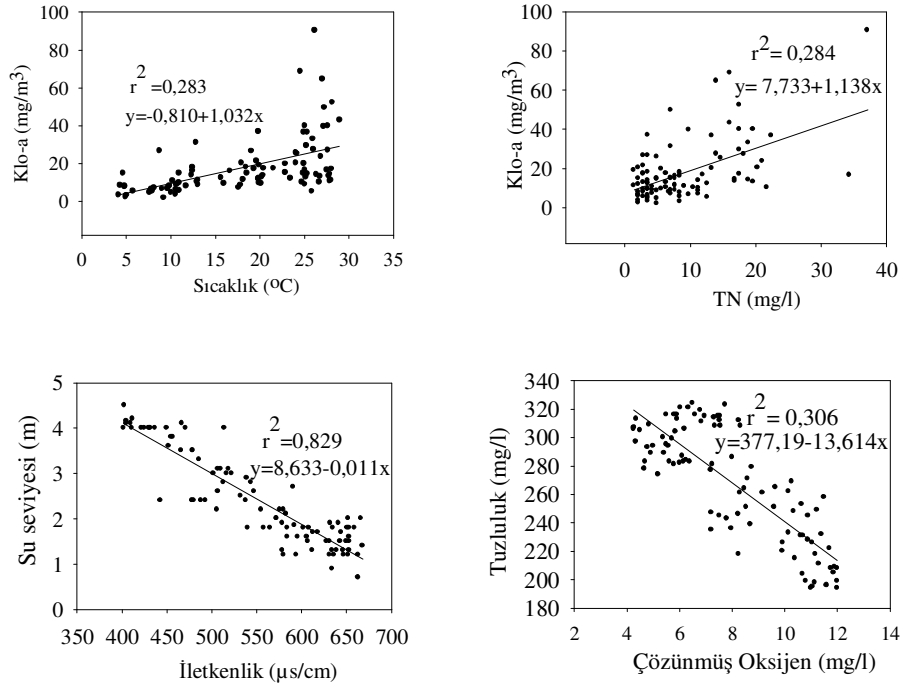
Çizelge 4. 1. 6. Sedimentteki kirlilik parametrelerinin birbirleriyle olan ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayısı değerleri

| | Organik Madde (%) | Sıcaklık | pH | İletkenlik | NH ₄ -N | NO ₃ -N | TN | PO ₄ -P |
|--------------------|-------------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|--------------------|---------------|--------------------|
| Sıcaklık | 0,285 | | | | | | | |
| pH | -0,014 | -0,021 | | | | | | |
| ilet | 0,303 | 0,122 | -0,099 | | | | | |
| NH ₄ -N | 0,286 | 0,663 | 0,106 | 0,144 | | | | |
| NO ₃ -N | 0,254 | 0,53 | 0,11 | 0,181 | 0,486 | | | |
| TN | 0,3 | 0,669 | 0,246 | 0,453 | 0,674 | 0,526 | | |
| PO ₄ -P | 0,037 | 0,439 | -0,102 | 0,18 | 0,002 | 0,157 | 0,116 | |
| TP | -0,077 | -0,601 | -0,294 | -0,016 | -0,497 | -0,421 | -0,606 | 0,08 |

* P< 0,05 önemli olarak kabul edilmiştir



Şekil 4.1.4. Sedimentteki kirlilik parametrelerinin birbirleriyle olan ilişkilerini gösteren korelasyon grafikleri



Şekil 4.1.5. Su kalitesi parametrelerinin birbirleriyle ilişkilerini gösteren korelasyon grafikleri

Çizelge 4. 1. 7. Su kalitesi parametrelerin birbirleriyle ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayısı değerleri

| | KOI | BOI ₅ | Alkalinite | Sertlik | Klo-a | Seki Der. | Su seviyesi | TN | TP | PO ₄ -P | NH ₄ -N | NO ₃ -N | ÇO | AKM | pH | İletkenlik |
|--------------------|---------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------|--------------|--------------|-------------|
| BOI ₅ | 0,654 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alkalinite | 0,284 | 0,067 | | | | | | | | | | | | | | |
| Sertlik | 0,128 | 0,434 | 0,554 | | | | | | | | | | | | | |
| Klorofil-a | 0,168 | 0,168 | 0,361 | 0,155 | | | | | | | | | | | | |
| Seki Derinliği (m) | -0,002 | -0,399 | -0,218 | -0,592 | -0,271 | | | | | | | | | | | |
| Su seviyesi (m) | -0,069 | -0,527 | -0,323 | -0,786 | -0,202 | 0,676 | | | | | | | | | | |
| TN | 0,076 | 0,212 | 0,407 | 0,426 | 0,533 | -0,557 | -0,407 | | | | | | | | | |
| TP | 0,18 | 0,336 | 0,297 | 0,594 | 0,005 | -0,537 | -0,596 | 0,452 | | | | | | | | |
| PO ₄ -P | 0,132 | 0,316 | 0,306 | 0,609 | 0,034 | -0,535 | -0,623 | 0,455 | 0,968 | | | | | | | |
| NH ₄ -N | -0,165 | -0,122 | 0,172 | 0,16 | 0,229 | -0,286 | -0,179 | 0,324 | 0,278 | 0,319 | | | | | | |
| NO ₃ -N | 0,053 | 0,118 | 0,139 | 0,15 | 0,09 | -0,282 | -0,231 | 0,464 | 0,288 | 0,311 | 0,351 | | | | | |
| ÇO | -0,241 | -0,368 | -0,506 | -0,589 | -0,203 | 0,477 | 0,571 | -0,516 | -0,456 | -0,453 | -0,182 | -0,327 | | | | |
| AKM | -0,064 | -0,001 | 0,114 | 0,234 | -0,057 | -0,271 | -0,119 | 0,299 | 0,329 | 0,33 | 0,391 | 0,505 | -0,226 | | | |
| pH | -0,26 | 0,055 | -0,233 | 0,072 | 0,273 | -0,196 | -0,311 | 0,026 | | 0,16 | 0,169 | -0,126 | 0,031 | -0,1 | | |
| ilet | 0,079 | 0,482 | 0,417 | 0,856 | 0,153 | -0,577 | -0,911 | 0,382 | 0,658 | 0,679 | 0,165 | 0,174 | -0,551 | 0,245 | 0,226 | |
| TDS (mg/l) | 0,077 | 0,482 | 0,418 | 0,858 | 0,157 | -0,582 | -0,913 | 0,385 | 0,654 | 0,676 | 0,167 | 0,177 | -0,554 | 0,244 | 0,227 | |
| Sıcaklık | 0,321 | 0,186 | 0,784 | 0,472 | 0,527 | -0,364 | -0,429 | 0,511 | 0,551 | 0,571 | 0,297 | 0,267 | -0,4 | 0,199 | -0,037 | 0,47 |

* Not: * P< 0,05 önemli olarak kabul edilmiştir

Varyans analizi

Uluabat Gölü su numuneleri, 8 farklı ölçüm istasyonundan, su kolonu boyunca yüzeyden ve dipten olmak üzere iki farklı bölgeden alınarak incelenmiştir. Bu sebeple su kalitesi parametrelerinin su kolonu boyunca, yüzey ve dip arasındaki farklılığının, gölün farklı alanlarını temsil eden istasyonlar arasındaki değişiminin ve bütün bir yıl boyunca meydana gelen aylık artış ve azalışlarının belirlenmeleri önemlidir.

Su kalitesi parametreleri, varyans analizi yapılarak ANOVA tablosu ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda parametrelerin istasyonlar arası, derinlikler arası ve aylar arasında farklılık gösterip göstermedikleri belirlenmiştir. Su numuneleri ile eş zamanlı olarak alınan sediment numunelerinde, organik madde miktarı %, sıcaklık, pH, iletkenlik, NH₄-N, NO₃-N, TN, PO₄-P, TP parametreleri incelenmiştir. Sedimentin yüzey tabakasından alınan numunelerinin istasyonlara ve aylara göre değişimlerinin önemli olup olmadığının belirlenmesi su kalitesi ile ilişkisinin kurulabilmesi açısından önemlidir. Sedimentin asidik veya bazik olması, içerdiği tuz oranı, su tutma kapasitesi, suyun sıcaklığı kirleticilerin suya geçişlerini etkilemektedir.

Her bir parametre diğerlerinden ayrı olarak değerlendirilmiştir. Hesaplamalarda Minitab 15 istatistik programı kullanılarak yapılan hesaplama sonuçları aşağıda detaylı olarak verilmiştir. Varyans analizinde, iki farklı önermeye göre değerlendirilme yapılmıştır. 1. önermede, parametrenin, istasyonlara, bölgelere (su kolununun yüzey ve dip bölgeleri), aylara ve istasyon*bölgeye (her istasyondaki bölgelerde) göre değişim göstermediği yani aynı olduğu, 2. önermede ise, değişim gösterdiği yani farklı oldukları kabul edilmiştir. Sedimentteki hesaplamalarda ise bölgelerin olmaması, numunelerin sadece yüzey tabakasından alınması dolayısıyla istasyon ve aylara göre analiz yapılmıştır. Önem derecesi p=0,05 olarak kabul edilmiştir. Çizelge 4. 1. 8. ve çizelge 4. 1. 9.'da su ve sediment kalitesi parametrelerine ait varyans analizi sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 4. 1. 8. Sediment kalitesi parametreleri varyans analizi sonuçları

| Parametre | İstasyon | Aylar |
|--------------------|----------|---------|
| % Organik Madde | Önemli | Önemli |
| | P=0 | P=0 |
| pH | Önemsiz | Önemli |
| | P=0,363 | P=0 |
| İletkenlik | Önemli | Önemsiz |
| | P=0 | P=0,032 |
| TN | Önemli | Önemli |
| | P=0 | P=0 |
| NH ₄ -N | Önemsiz | Önemli |
| | P=0,144 | P=0 |
| NO ₃ -N | Önemsiz | Önemli |
| | P=0,575 | P=0 |
| TP | Önemli | Önemli |
| | P=0 | P=0 |
| PO ₄ -P | Önemli | Önemli |
| | P=0 | P=0 |

Çizelge 4. 1. 9. Su kalitesi parametreleri varyans analizi sonuçları

| Parametre | İstasyon | Bölge | Aylar | İstasyon*Bölge |
|--------------------|---------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Sıcaklık | Önemli P=0 | Önemli P=0,01 | Önemli P=0 | Önemsiz P=0,949 |
| ÇO | Önemli P=0,022 | Önemsiz P=0,698 | Önemli P=0 | Önemsiz P=0,987 |
| AKM | Önemsiz P= 0,109 | Önemli P= 0,0019 | Önemli P= 0 | Önemsiz P= 0,473 |
| pH | Önemli P= 0 | Önemsiz P= 0,609 | Önemli P= 0 | Önemsiz P= 0,656 |
| İletkenlik | Önemli P= 0 | Önemsiz P= 0,423 | Önemli P= 0 | Önemsiz P=0,996 |
| NH ₄ -N | Önemsiz P= 0,184 | Önemli P= 0,041 | Önemli P= 0 | Önemli P=0,021 |
| NO ₃ -N | Önemsiz P= 0,437 | Önemsiz P= 0,941 | Önemli P= 0 | Önemsiz P=0,627 |
| TN | Önemli P= 0 | Önemsiz P= 0,578 | Önemli P= 0 | Önemsiz P=0,812 |
| PO ₄ -P | Önemli P= 0 | Önemsiz P= 0,504 | Önemli P= 0 | Önemsiz P= 0,977 |
| TP | Önemli P= 0,001 | Önemli P= 0,007 | Önemli P=0 | Önemsiz P= 0,995 |
| KOİ | Önemli P= 0 | – | Önemli P= 0 | – |
| BOİ | Önemli P= 0 | – | Önemli P= 0 | – |
| Alkalinite | Önemli P= 0,014 | – | Önemli P= 0 | – |
| Sertlik | Önemsiz P= 0,209 | – | Önemli P= 0 | – |
| Klorofil-a | Önemli P= 0 | – | Önemli P= 0 | – |

Su kalitesi parametreleri için yapılan varyans analizi sonuçları değerlendirildiğinde, AKM, NH₄-N, NO₃-N ve sertlik parametrelerinin istasyonlara göre farklılık göstermediği, diğer parametrelerin ise istasyonlara göre değişim gösterdikleri belirlenmiştir. Yüzey ve dip farklılığının anlaşılabilmesi için bölgelere göre yapılan analiz sonucunda, ÇO, pH, iletkenlik, NO₃-N, TN, ve PO₄-P parametrelerinin bölgelere göre değişim göstermedikleri, sıcaklık, AKM, NH₄-N ve TP parametrelerinin ise farklılık gösterdikleri belirlenmiştir. Uluabat Gölü sığ bir göl olmasına ve katmanlaşmanın yaşanmamasına rağmen bazı parametrelerin su kolonu boyunca konsantrasyonlarının değişim gösterdiği ispatlanmıştır. Özellikle rüzgarın bu bölgede etkisini çok göstermesi, sediment tabakasının kalkmasına neden olmaktadır. Ayrıca, ötrofikasyon seviyesini aşan Uluabat Gölü'nün, yoğun bir kirliliğe maruz kalmasından dolayı meydana gelen sedimentteki kirlilik birikiminden de etkilenerek kirleticilerin suya geçtiğini göstermektedir. Bölgelere göre farklılık gösteren sıcaklık, AKM, NH₄-N ve TP parametreleri incelendiğinde, sıcaklık ve NH₄-N'in yüzeyde, AKM ve TP'un da dipte daha yüksek konsantrasyonlara sahip oldukları görülmüştür. Parametrelerin Yüzey ve dip ortalama değerleri çizelge 4. 1. 10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4. 1. 10. Su kalitesi parametreleri yüzey ve dip ortalama değerleri

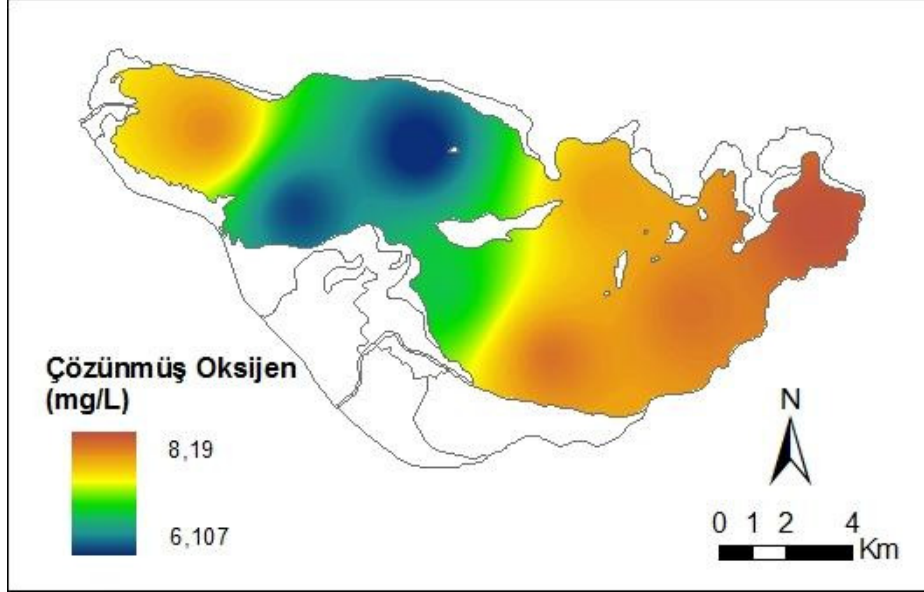
| Parametre | Yüzey | Dip |
|---------------------------|-------|-------|
| Sıcaklık (°C) | 18,19 | 17,66 |
| Çözünmüş Oksijen (mg/l) | 8,07 | 7,92 |
| AKM (mg/l) | 37,15 | 60,7 |
| pH | 8,3 | 8,31 |
| EC (µs/cm) | 551,8 | 554,3 |
| NH ₄ -N (mg/l) | 0,328 | 0,116 |
| NO ₃ -N (mg/l) | 0,204 | 0,196 |
| TN (mg/kg) | 8,995 | 9,389 |
| PO ₄ -P (mg/l) | 0,121 | 0,125 |
| TP (mg/l) | 0,17 | 0,187 |

Parametrelerin tümünde mevsimsel değişimlerle birlikte sıcaklık ve güneş ışığının yoğunluğunun değişiklik göstermesi sebebiyle aylara göre farklılık görülmüştür. $\text{NH}_4\text{-N}$ parametresi dışında, diğer tüm parametrelerin bölgelere göre değişimleri her istasyonda aynı olmuştur.

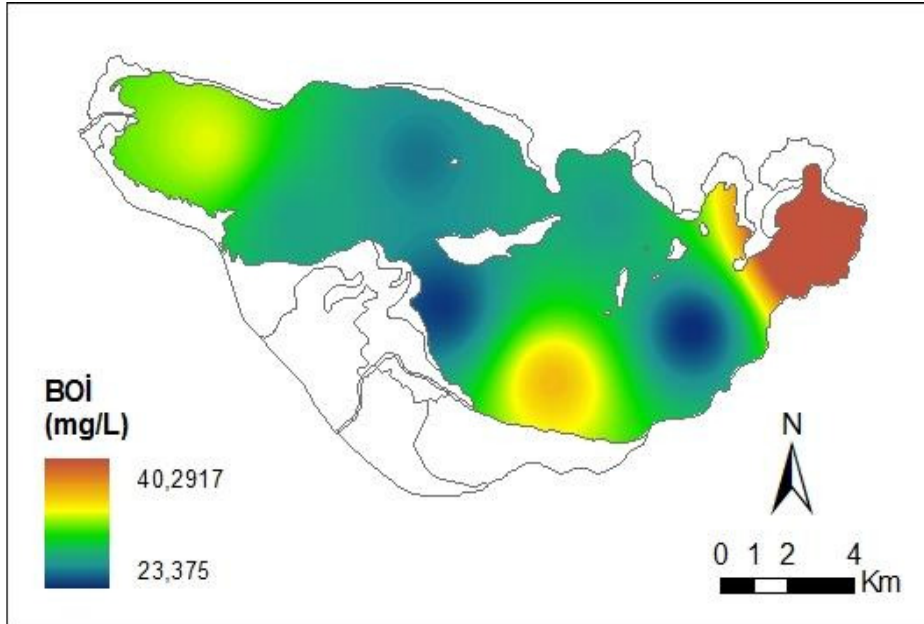
Organik kirlilik göstergesi olan BOI ve KOI parametrelerinin ve Klo-a konsantrasyonlarının 8. istasyonda maksimum seviyede olduğu görülmüştür. ÇO ve pH ta bu istasyonda maksimum seviyelerde bulunmuşlardır. Bu durum Akçalar Deresi'nin yakınlarında bulunan 8. istasyonun organik kirlilik bakımından da oldukça yüksek seviyelerde olduğunu göstermektedir. TN ve $\text{NO}_3\text{-N}$ bakımından maksimum değerler 1. istasyonda görülmüştür. İletkenlik, $\text{NH}_4\text{-N}$ ve TP parametrelerinin 8. istasyonda minimum seviyelerde olduğu görülmektedir. Burada ötrofikasyonun oldukça yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Alglerin iyonlaşmış halde bulunan besin maddelerini ve fosforu kullanmaları, iletkenliğin $\text{NH}_4\text{-N}$ ve TP 'un azalmasına yol açmıştır. Çizelge 4.1.11'de su kalitesi parametrelerinin istasyonlara göre ortalama değerleri gösterilmiştir. Şekil 4.1.6.- şekil 4.1.12.'de sırasıyla ÇO , BOI , KOI , TN , TP , $\text{PO}_4\text{-P}$ ve Klorofil-a konsantrasyonları dağılım haritaları gösterilmiştir. Varyans analizi sonucunda istasyonlara göre değişimleri önemli olduğu belirlenen parametreler diğer haritalardan seçilerek bu bölümde sunulmuştur.

Sediment kalitesi parametrelerine ait varyans analizi sonuçları incelendiğinde, pH , $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ 'in istasyonlara göre ortalama değerlerinin birilerinden farklı olmadıkları belirlenmiştir. Sedimentle paralel olarak su kalitesi parametrelerinin analizinde de $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ 'in istasyonlara göre ortalama değerlerinin birilerinden farklı olmadıkları görülmektedir. % Organik Madde ve sudakine benzer olarak İletkenlik, TN , TP ve $\text{PO}_4\text{-P}$ parametrelerinin ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimlerinin önemli olduğu, farklı oldukları anlaşılmıştır. İletkenlik dışında diğer tüm parametrelerin aylara göre olan değişimlerinin önemli oldukları görülmüştür. Görüldüğü gibi su ve sedimentteki kirlilik parametrelerinin değişimleri birbirlerine benzerdir. Çizelge 4. 1. 12.'de Sediment kalitesi parametrelerinin istasyonlara göre ortalama değerleri gösterilmiştir. Organik Madde%, İletkenlik, TN , TP parametreleri bakımından en kirli istasyon sudakilere benzer olarak 8. istasyon olduğu görülmüştür. Suda en kirli istasyonlardan biri olan 1. istasyonda, $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{PO}_4\text{-P}$ parametreleri maksimum konsantrasyonlarda bulunmuşlardır. Şekil 4. 1. 13.- şekil 4. 1. 16'da Organik madde %,

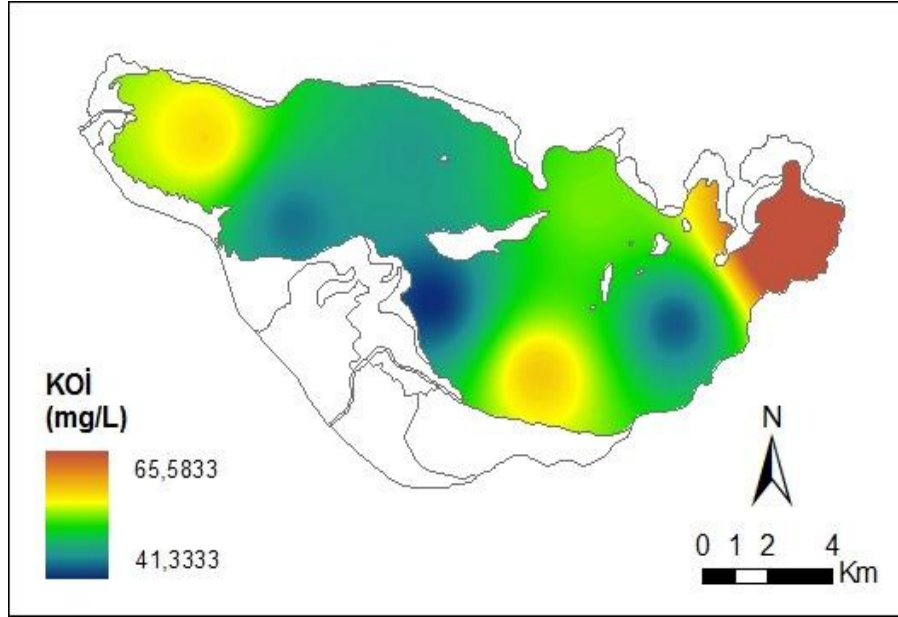
TN, TP ve PO₄-P konsantrasyonları dağılım haritaları gösterilmiştir. Su kalitesi parametrelerine benzer olarak varyans analizi sonucunda istasyonlara göre değişimleri önemli olduğu belirlenen parametreler diğer haritalardan seçilerek bu bölümde sunulmuştur.



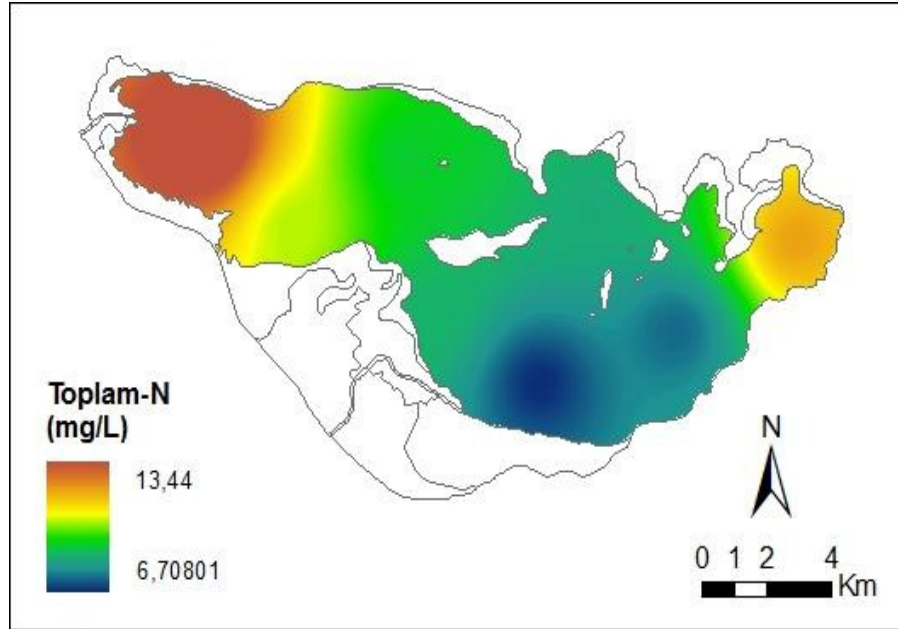
Şekil 4. 1. 6. ÇO konsantrasyonları dağılım haritası



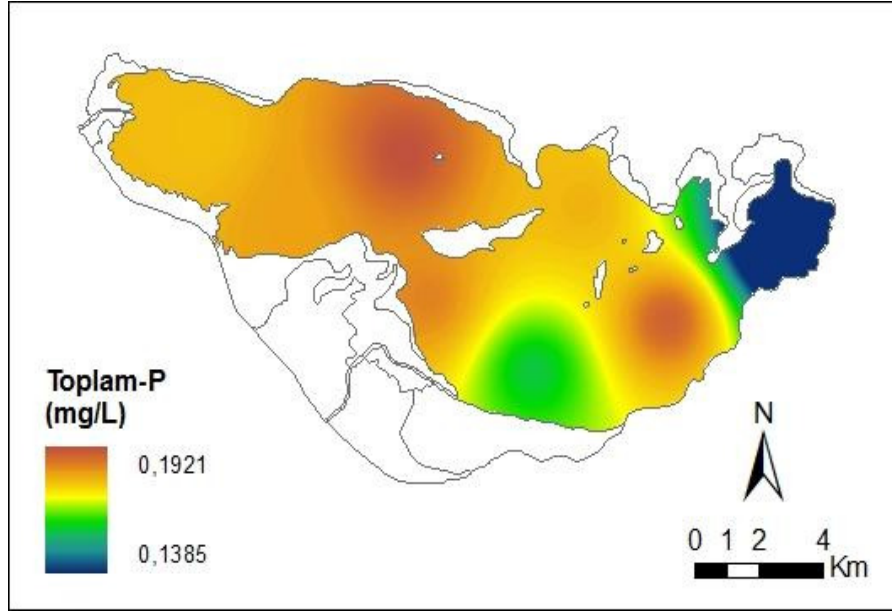
Şekil 4. 1. 7. BOİ konsantrasyonları dağılım haritası



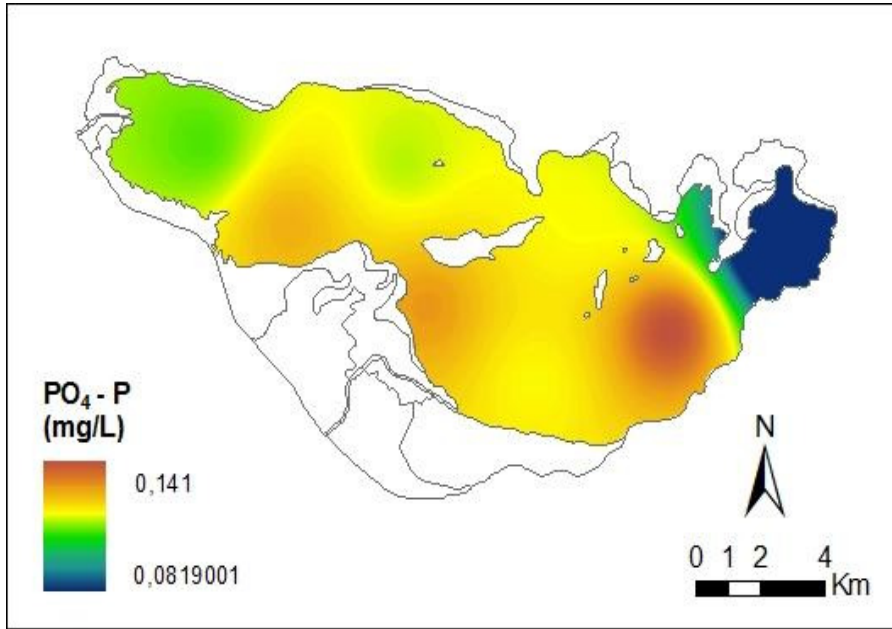
Şekil 4. 1. 8. KOİ konsantrasyonları dağılım haritası



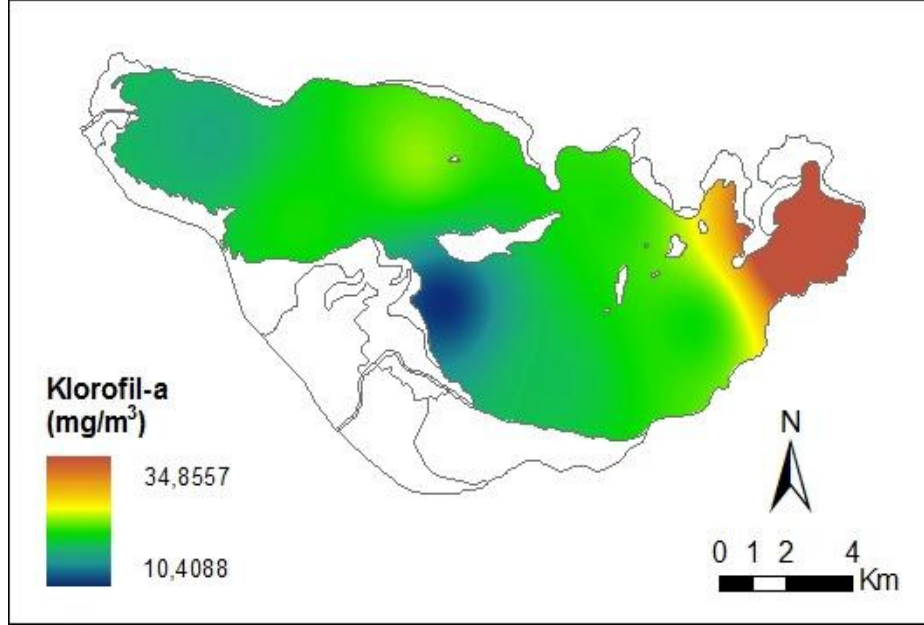
Şekil 4. 1. 9. Sudaki TN konsantrasyonları dağılım haritası



Şekil 4. 1. 10. Sudaki TP konsantrasyonları dağılım haritası



Şekil 4. 1. 11. Sudaki PO₄-P konsantrasyonları dağılım haritası



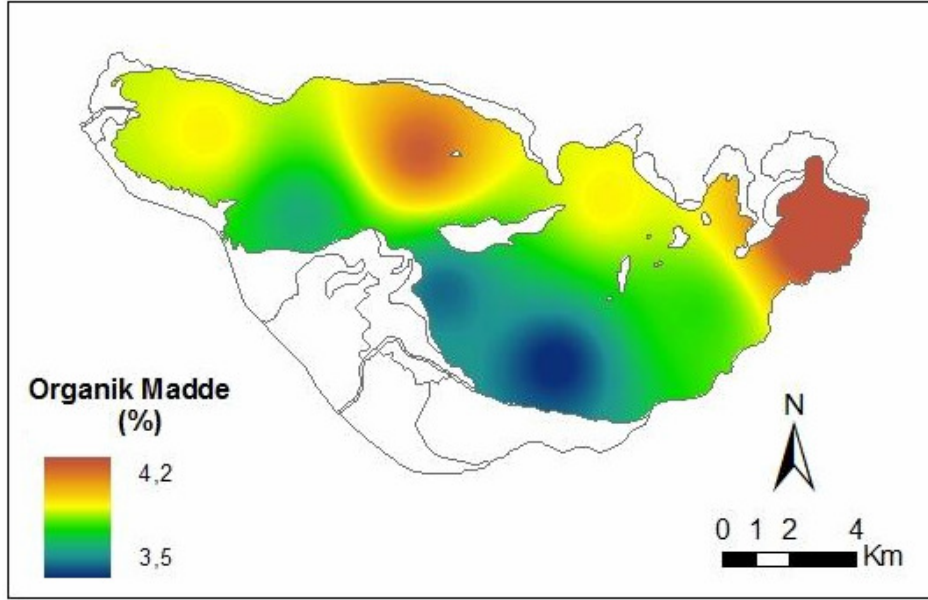
Şekil 4. 1. 12. Klorofil-a konsantrasyonları dağılım haritası

Çizelge 4. 1. 11. Su kalitesi parametrelerinin istasyonlara göre ortalama değerleri

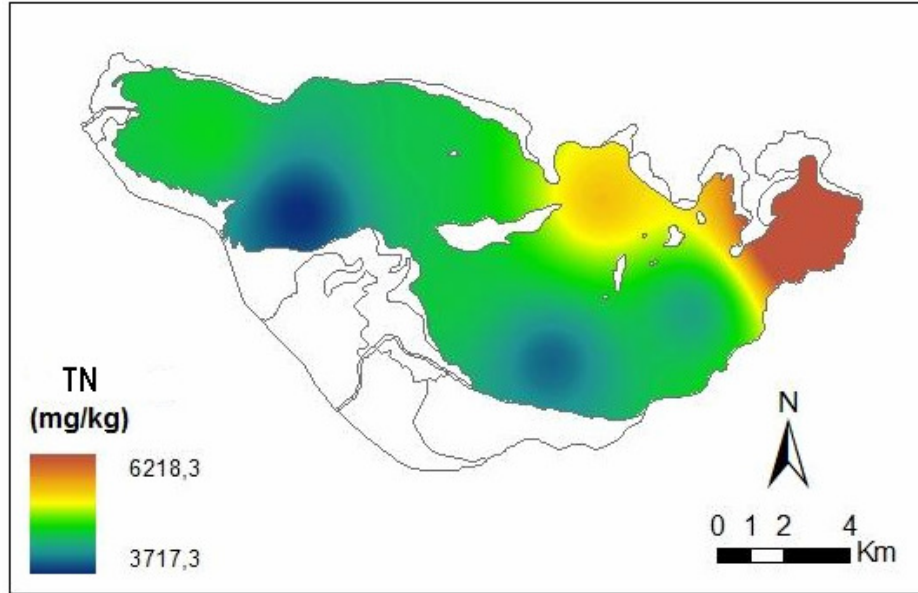
| Parametre | 1. İst | 2. İst | 3. İst | 4. İst | 5. İst | 6. İst | 7. İst | 8. İst |
|-------------------------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| pH | 8,28±0,295 | 8,24±0,256 | 8,33±0,226 | 8,19±0,239 | 8,3±0,257 | 8,31±0,262 | 8,25±0,262 | 8,5±0,4 |
| EC (µs/cm) | 552,45±83,71 | 546,54±86,83 | 548,16±90,89 | 572,58±69,74 | 565,29±77,11 | 555,45±88,96 | 551,5±91,91 | 532,16±74,49 |
| Sıcaklık (°C) | 16,775±7,51 | 16,928±7,57 | 16,991±7,8 | 18,678±7,5 | 19,204±8,09 | 19,044±8,28 | 18,017±7,612 | 18,904±7,96 |
| TDS (mg/l) | 267,5±40,92 | 264,79±42,42 | 265,29±44,24 | 277,5±33,83 | 273,91±37,49 | 269,12±43,23 | 267,12±44,76 | 257,87±36,54 |
| Çözünmüş Oksijen (mg/l) | 7,863±2,31 | 6,282±1,082 | 6,107±1,448 | 6,857±2,235 | 7,958±2,746 | 7,963±2,631 | 7,786±2,916 | 8,19±2,68 |
| Seki Derinliği (m) | 0,6375±0,5649 | 0,5475±0,43115 | 0,5125±0,4452 | 0,5125±0,3742 | 0,6233±0,5122 | 0,585±0,4408 | 0,4875±0,3418 | 0,6442±0,4758 |
| Su Seviyesi (m) | 2,654±1,004 | 2,583±0,9833 | 2,792±0,9633 | 1,892±1,074 | 2,225±1,066 | 2,363±1,043 | 2,442±1,014 | 2,383±1,0303 |
| Alkalinite (mgCaCO ₃ /l) | 251,81±40,53 | 233,37±43,36 | 239,75±39,17 | 257,04±38,43 | 258,91±37,01 | 254,79±56,89 | 259,37±62,76 | 239,95±34,73 |
| Sertlik (mgCaCO ₃ /l) | 312,54±43,25 | 300,08±44,34 | 304,33±39,83 | 314,83±30,64 | 308,00±49,07 | 306,33±48,56 | 318,83±70,65 | 291,66±47,99 |
| AKM (mg/l) | 40,83±32,81 | 94,04±193,9 | 45,00±36,89 | 44,75±45,61 | 41,08±29,52 | 44,54±41,14 | 39,00±27,96 | 41,70±37,08 |
| NH ₄ -N (mg/kg) | 0,32±0,87 | 0,29±0,74 | 0,49±1,51 | 0,11±0,39 | 0,204±0,7 | 0,35±1,01 | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 |
| NO ₃ -N (mg/kg) | 0,38±1,38 | 0,29±0,92 | 0,11±0,57 | 0,29±0,54 | 0,204±0,48 | 0,029±0,14 | 0,00±0,00 | 0,29±0,84 |
| TN (mg/kg) | 13,44±7,86 | 9,791±5,49 | 8,706±6,01 | 8,283±6,40 | 6,708±6,31 | 7,291±6,90 | 8,137±8,56 | 11,17±14,06 |
| PO ₄ -P (mg/kg) | 0,121±0,117 | 0,130±0,116 | 0,124±0,127 | 0,134±0,130 | 0,126±0,131 | 0,141±0,135 | 0,126±0,127 | 0,082±0,075 |
| TP (mg/kg) | 0,183±0,141 | 0,185±0,126 | 0,192±0,147 | 0,187±0,144 | 0,170±0,145 | 0,190±0,167 | 0,184±0,148 | 0,138±0,092 |
| Klorofil-a (mg/m ³) | 14,261±7,1281 | 16,873±19,039 | 18,502±13,113 | 10,409±6,3744 | 15,328±11,212 | 16,662±11,588 | 16,871±9,6729 | 34,856±23,41 |
| KOI (mg/l) | 52,00±15,44 | 43,33±14,65 | 44,66±14,25 | 41,33±19,84 | 52,66±18,19 | 42,66±14,20 | 49,33±20,98 | 65,58±14,15 |
| BOI (mg/l) | 29,54±11,00 | 25,83±6,60 | 24,70±6,20 | 23,58±16,86 | 31,16±16,63 | 23,37±13,39 | 25,62±9,42 | 40,29±11,04 |

Çizelge 4. 1. 12. Sediment kalitesi parametrelerinin istasyonlara göre ortalama değerleri

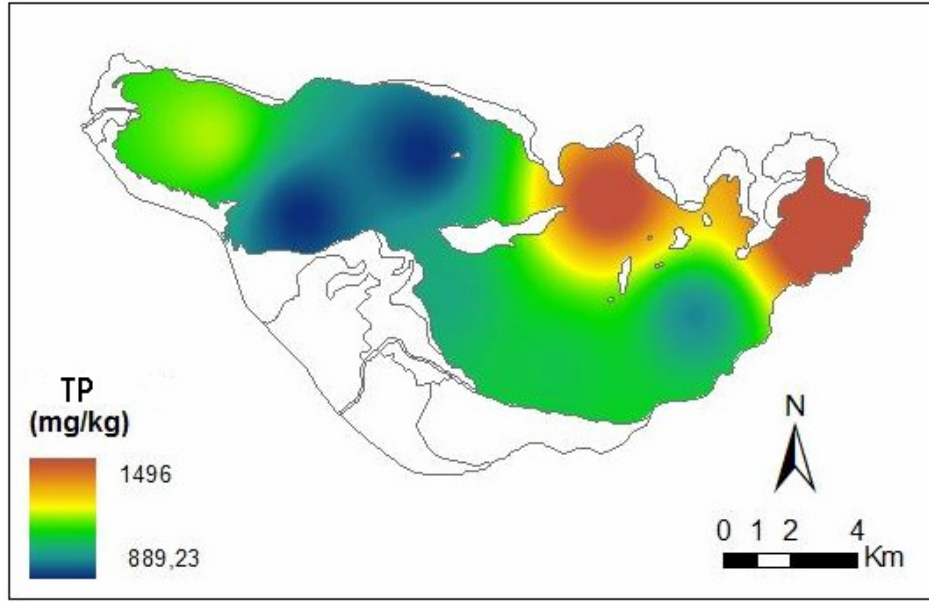
| Parametre | 1. İst | 2. İst | 3. İst | 4. İst | 5. İst | 6. İst | 7. İst | 8. İst |
|----------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| pH | 8,008±0,35 | 8,11±0,206 | 8,14±0,25 | 8,09±0,24 | 8,17±0,23 | 8,19±0,25 | 8,17±0,32 | 8,15±0,31 |
| EC (µs/cm) | 327,08±189,1 | 231,22±35,53 | 262,17±53,52 | 262,34±73 | 234,39±68,64 | 250,33±56,03 | 310,1±109,5 | 508,5±109,4 |
| Organik Madde (%) | 3,87±0,6 | 3,66±0,66 | 4,07±0,51 | 3,57±0,43 | 3,5±0,35 | 3,76±0,4 | 3,87±0,34 | 4,2±0,56 |
| TC (%) | 2,804±0,403 | 2,732±0,374 | 2,936±0,408 | 3,151±0,477 | 3,221±0,571 | 3,298±0,455 | 3,287±0,307 | 4,531±0,862 |
| N (%) | 0,7362 | 0,847005 | 0,615893 | 0,63823 | 0,69321 | 0,64349 | 0,693949 | 0,7231643 |
| NH ₄ -N (mg/kg) | 33,3±43,3 | 20,2±22,6 | 25,3±23,5 | 30,8±28,7 | 22,5±17,3 | 26,8±21,4 | 30,3±23,1 | 32,4±19,3 |
| NO ₃ -N (mg/kg) | 10,9±12,5 | 7,16±11,8 | 10,4±10,3 | 8,91±12,2 | 11,7±13,4 | 9,96±14,1 | 15,26±24,76 | 14,3±11,14 |
| TN (mg/kg) | 4328,3±1541,1 | 3817,3±1250,3 | 4246,6±1080 | 4264,1±1931 | 3879,1±1219,9 | 4101,6±1845 | 4876,6±1801,6 | 6218,3±1906,9 |
| PO ₄ -P (mg/kg) | 164,97±136 | 134,04±126,7 | 117,29±88,93 | 118,1±66,94 | 106,1±68,3 | 114,84±70,5 | 143,62±80,15 | 162,27±83,86 |
| TP (mg/kg) | 1153,9±679,8 | 889,9±579,05 | 889,23±501,8 | 1010,3±684,5 | 1049±656,58 | 964,49±538,6 | 1425,8±735,8 | 1496±666,74 |



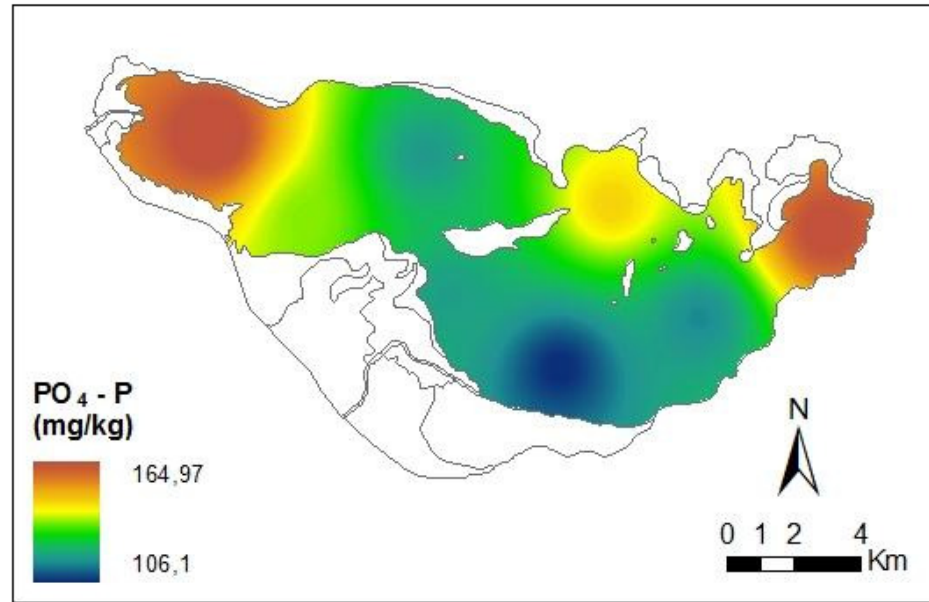
Şekil 4. 1. 13. Sedimentte bulunan % organik madde dağılımı haritası



Şekil 4. 1. 14. Sedimentteki TN konsantrasyonları dağılımı haritası



Şekil 4. 1. 15. Sedimentteki TP konsantrasyonları dağılımı haritası



Şekil 4. 1. 16. Sedimentteki PO₄-P konsantrasyonları dağılımı haritası

4. 1. 2. Su ve Sediment Kalitesinin Birlikte Değerlendirilmesi

Uluabat Gölü'nde sahada ve laboratuvarında yapılan çalışmalarla elde edilen verilerin tümü Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)'inde verilen Kıtaçi Yüzeysel Suların Kalitelerine Göre Sınıflandırılması ve Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri'ne göre (Anonim 2004) değerlendirilmiş ve özellikle BOİ ve TKN'ye göre oldukça yüksek değerler olması sebebiyle gölün 4. sınıf su kalitesinde olduğu tespit edilmiştir. SKKY Teknik Usüller Tebliği'nde verilmiş olan "Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri" Tablosu'na (Anonim 1991) göre sulama suyu açısından 4. sınıf, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Su Ürünleri Yönetmeliği (SÜY), "İç Sulara ve Denizlerdeki İstihsal Yerlerine Dökülmesi Yasak Olan Zararlı Maddeler ve Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerler Listesi, Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerler" (Anonim 2005a) tablosuna göre sınır değerlerin üstünde ve TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular kriterlerinin (Anonim 2005b) içme ve kullanma suyu sınır değerlerini aşmış olduğu belirlenmiştir.

TP'un yıllık ortalama değeri 0,1789 mg/l'dir. N:P oranı da 51,375 olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre 0,07 mg/l TP değerine kadar sınırlayıcının fosfor olduğu, bu konsantrasyon aşıldıktan sonra ışık ve CO₂'in sınırlayıcı faktör olduğu anlaşılmıştır. 250 µg/l değerinin üstünde (pH>9), balık ve omurgasızlar için toksik etki gösteren NH₄-N, Uluabat Gölü'nde, yıllık ortalama konsantrasyon değeri 222 µg/l olarak bulunmuş olup toksik sınır değerlere yaklaşmıştır.

Su ve sediment kalitesi parametrelerinin birbirleriyle olan ilişkilerini anlayabilmek amacıyla, yapılan korelasyon analizi sonucunda, ötrofikasyon parametreleri olan TN, NH₄-N, NO₃-N, TP, PO₄-P, klorofil-a, seki derinliği, çözünmüş oksijen, pH ve sıcaklığın birbirleri arasındaki ilişkiler önemli bulunmuştur. Fotosentetik reaksiyonlar sonucunda artan alkalinitenin klorofil-a ile olan ilişkisi, CaCO₃'ün çözünmesi ile serbest kalan Ca⁺², PO₄-P ile tepkimeye girerek CaPO₄ olarak çökelen PO₄-P ile sertlik arasında, göle organik kirlilik yükü taşıyan AKM ile giren azot ve fosfor parametreleri arasında, sıcaklık ve çözünmüş oksijenin tüm parametrelerle arasında olan ilişkiler, istatistiksel olarak önemli bulunmuşlardır. Organik kirliliğin yüksek olduğu 8. istasyonda, diğerlerinden farklı olarak BOİ'nin su derinliği ve seki derinliği arasındaki ilişkiler önemli bulunmuştur. Su örnekleri ile eş zamanlı olarak alınan sediment örneklerinde incelenen bazı kirlilik parametreleri arasında olan ilişkiler

incelenmiştir. İncelenen parametrelerde, sıcaklık, pH ve iletkenliğin tüm nütrientler üzerindeki etkisinin büyük olduğu belirlenmiştir. Suyu geçişlerinde de önemli rol oynadıkları anlaşılmıştır. Sudakine benzer olarak 8. istasyonda, TN ve TP arasındaki değerlerinin diğer istasyonlara göre çok yüksek olduğu görülmüştür.

Uluabat Gölü su numuneleri, 8 farklı ölçüm istasyonundan, su kolonu boyunca yüzeyden ve dipten olmak üzere iki farklı bölgeden alınması sebebiyle su kalitesi parametrelerinin yüzey ve dip farklılığının, arasındaki değişimleri ve aylar arasında meydana gelen artış ve azalışları belirlenmiştir. Sedimentteki hesaplamalarda ise bölgelerin olmaması, numunelerin sadece yüzey tabakasından alınması dolayısıyla istasyonlar ve aylar arasındaki değişimler incelenmiştir. Uluabat Gölü sığ bir göl olmasına ve katmanlaşmanın yaşanmamasına rağmen bazı parametrelerin su kolonu boyunca konsantrasyonlarının değişim gösterdiği ispatlanmıştır. Özellikle rüzgarın bu bölgede etkisini çok göstermesi, sediment tabakasının kalkmasına neden olmaktadır. Ayrıca, ötrofikasyon seviyesini aşan Uluabat Gölü'nün, yoğun bir kirliliğe maruz kalmasından dolayı meydana gelen sedimentteki kirlilik birikiminden de etkilenerek kirlleticilerin suya geçtiğini göstermektedir. İstasyon ve aylar arasındaki farklılık bir çok parametre için önemli olduğu görülmüştür. Sedimentteki kirlilik parametrelerinin istasyonlara ve aylara göre olan değişimlerinin de birbirlerine benzer olduğu belirlenmiştir.

4. 2. Uluabat Gölü Trofik Seviyesinin Belirlenmesi

Yüzeysel sulardaki metallerin organik ligandlarla oluşturdukları komplekslerin en baskın kimyasal formlarından biri olduğu bilinmektedir. Bu nedenle metaller algere ve sedimentlere adsorbe olmaktadır. Alglerden kaynaklanan ince partiküller ve sülfid miktarının artması ağır metal konsantrasyonlarının artmasına yol açabilmektedir. Ağır metal konsantrasyonları ile C ve S konsantrasyonları arasında pozitif korelasyon bulunmuştur. Bu nedenle Uluabat Gölü ötrofikasyon seviyesi belirlenerek ağır metal ve iz element konsantrasyonlarına etkileri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

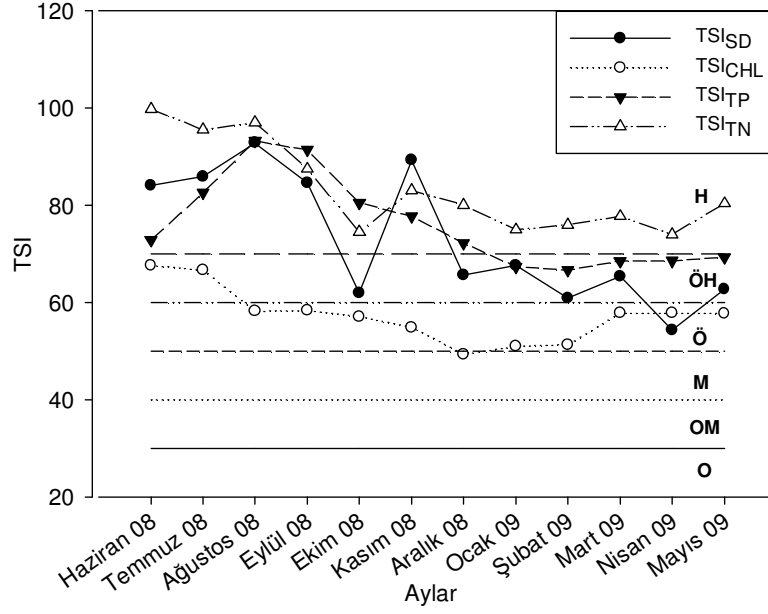
Trofik seviye indeksi, göllerin trofik seviyesinin belirlenmesinde oldukça etkili bir yöntemdir. Bu çalışma kapsamında Uluabat Gölü trofik seviyesi Carlson'a (1977) göre belirlenmiştir. TSI değerleri klorofil-a ($\mu\text{g/l}$), seki derinliği (m), toplam fosfor ($\mu\text{g/l}$) ve toplam azot (mg/l) konsantrasyonları kullanılarak hesaplanmaktadır. Belirlenen TSI

değerlerinin ortalamaları alınarak bir sonuç TSI değeri bulunmaktadır. Carlson'a (1977) dayanarak, TSI formüllerine göre oluşturulan nümerik skalada 0-40 arası oligotrofik, 40-50 arası mezotrofik, 50 ve yukarısı ötrofiktir. Trofik seviyede ara geçişleri de belirleyebilmek için oligomezotrofik seviye ($30 < TSI < 40$), mezotrofikten ötrofik seviyeye geçiş ($40 < TSI < 60$), ötrofikten hipertrofik seviyeye geçiş ($60 < TSI < 70$) ve hipertrofik seviyeler ($TSI > 70$) belirlenmiştir (Coelho ve ark. 2007). Göllerin trofik seviyelerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler şöyledir:

$$1. TSI_{SD} = 10 * \left(6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right) \quad 2. TSI_{CHL} = 10 * \left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln CHL}{\ln 2} \right)$$

$$3. TSI_{TP} = 10 * \left(6 - \frac{\ln \frac{48}{TP}}{\ln 2} \right) \quad 4. TSI_{TN} = 10 * \left(6 - \frac{\ln \frac{1.47}{TN}}{\ln 2} \right)$$

Göldeki ölçüm istasyonlarının ortalamaları alınarak hesaplanan klorofil-a, seki derinliği, toplam fosfor ve toplam azot parametrelerinin aylık TSI değerleri şekil 4. 2. 1. ve çizelge 4. 2. 1'de gösterilmektedir. Hesaplanan TSI değerleri incelendiğinde genel olarak TSI_{CHL} değerlerinin diğerlerine oranla daha küçük olduğu görülmektedir. Maksimum ve minimum değerler TSI_{SD} için Ağustos ve Nisan Ayları'nda 92,86 ve 54,39, TSI_{CHL} için Haziran ve Aralık Ayları'nda 67,66 ve 49,37, TSI_{TP} için Ağustos ve Şubat Ayları'nda 93,23 ve 66,68 ve TSI_{TN} için Haziran ve Nisan Ayları'nda 99,82 ve 74,05 olarak belirlenmiştir. Hesaplanan TSI değerlerinin tümünün yıl boyunca ötrofik seviyenin üstünde olduğu yalnızca TSI_{CHL} 'nin minimum değerinin olduğu Aralık Ayı'nın ötrofik sınır değeri olan 50'ye çok yakın ancak altında olduğu belirlenmiştir. TSI_{TN} değerlerinin tümünün hiperötrofik seviyede olduğu belirlenmiştir. TSI_{TP} ve TSI_{SD} değerlerinin de ötrofik-hiperötrofik ve hiperötrofik seviyelerde buldukları belirlenmiştir. TSI_{CHL} 'nin ötrofik ve hiperötrofik seviyeler arasında değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 4. 2. 1. Göldeki ölçüm istasyonlarının ortalamaları alınarak hesaplanan klorofil-a, seki derinliği, toplam fosfor ve toplam azot parametrelerinin aylık TSI değerleri değişimi. O-Oligotrofik; OM-Oligomezotrofik; M-Mezotrofik; Ö-Ötrofik; ÖH-Ötrofik-hipertrofik; H-Hiperötrofik.

2008-2009 yılı Uluabat Gölü ölçüm İstasyonlarına ait TP, TN, SD ve Klorofil-a parametrelerinin mevsimsel ve yıllık ortalama trofik seviye indeksleri çizelge 4. 2. 2'de gösterilmiştir. TSI değerlerinin istasyonlardaki mevsimsel değişimleri incelendiğinde, en yüksek değerler yaz ve sonbahar aylarında, en düşük değerler ilkbahar ve kış aylarında belirlenmiştir. TSI_{SD}, TSI_{TN}, TSI_{CHL} değerlerinin maksimum değerlerinin tümü yaz aylarında belirlenmiştir. TSI_{SD} minimum değerlerinin tümü de ilkbahar aylarında bulunmuştur. TSI_{TP}, TSI_{SD}, TSI_{TN}, TSI_{CHL} yıllık ortalamalarına göre en yüksek ve en düşük değerler 8. ve 5. istasyonlarda belirlenmiştir. Tüm istasyonların ve tüm ayların ortalamaları alınarak belirlenen TSI_{TP}, TSI_{SD}, TSI_{TN}, TSI_{CHL} değerlerinin yıllık ortalamaları sırasıyla 78,98, 68,14, 86,44 ve 58,90 olarak belirlenmiştir. Tüm değerlerin ortalaması alınarak bulunan Uluabat Gölü TSI değeri de 73,115'tir.

Çizelge 4. 2. 1. Göl ortalaması alınarak belirlenen TSI_{SD} , TSI_{CHL} , TSI_{TP} ve TSI_{TN} değerlerinin aylık ortalamaları

| Aylar | TSI_{SD} | TSI_{CHL} | TSI_{TP} | TSI_{TN} |
|---------|------------|-------------|------------|------------|
| Haziran | 84,150 | 67,665 | 72,919 | 99,822 |
| Temmuz | 85,886 | 66,675 | 82,581 | 95,553 |
| Ağustos | 92,863 | 58,230 | 93,231 | 97,011 |
| Eylül | 84,639 | 58,358 | 91,398 | 87,498 |
| Ekim | 62,030 | 57,099 | 80,518 | 74,532 |
| Kasım | 89,296 | 54,936 | 77,747 | 83,063 |
| Aralık | 65,670 | 49,380 | 72,208 | 80,064 |
| Ocak | 67,673 | 51,041 | 67,403 | 74,995 |
| Şubat | 60,931 | 51,340 | 66,686 | 76,020 |
| Mart | 65,406 | 57,854 | 68,528 | 77,751 |
| Nisan | 54,393 | 57,850 | 68,606 | 74,053 |
| Mayıs | 62,775 | 57,752 | 69,317 | 80,381 |

Göllerin trofik seviyeleri, TSI değerlerinin hesaplanmasında kullanılan su kalitesi parametrelerinin konsantrasyonları ve baskın olan balık türü ile belirlenebilmektedir. Birçok araştırmacı yüzeysel su sistemlerinin trofik seviyesinin

Çizelge 4. 2. 2. 2008-2009 yılı Uluabat Gölü ölçüm istasyonlarına ait TP, TN, SD ve Klorofil-a parametrelerinin mevsimsel ve yıllık ortalama trofik seviye indeksleri

| İst no | Toplam Fosfor (TSI _{TP}) | | | | Toplam Azot (TSI _{TN}) | | | | Seki Derinliği (TSI _{SD}) | | | | Klorofil-a (TSI _{CHL}) | | | | Ortalama TSI |
|-----------|------------------------------------|----------|-------|----------|----------------------------------|----------|-------|----------|-------------------------------------|----------|-------|----------|----------------------------------|----------|-------|----------|-----------------|
| | Yaz | Sonbahar | Kış | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | İlkbahar | |
| 1 | 84,05 | 87,49 | 65,31 | 68,41 | 98,12 | 93,45 | 86,11 | 86,48 | 87,37 | 74,47 | 61,00 | 58,62 | 61,36 | 55,65 | 51,50 | 55,46 | 73,59 |
| 2 | 83,55 | 85,36 | 73,12 | 70,39 | 96,07 | 83,93 | 81,00 | 82,99 | 86,74 | 76,59 | 63,22 | 61,26 | 66,69 | 50,25 | 46,12 | 57,44 | 73,46 |
| 3 | 85,33 | 85,70 | 72,18 | 69,71 | 95,88 | 82,03 | 76,67 | 79,59 | 89,07 | 75,15 | 65,85 | 61,52 | 65,18 | 52,77 | 55,26 | 58,90 | 73,63 |
| 4 | 86,00 | 85,80 | 69,35 | 67,37 | 96,21 | 82,03 | 74,32 | 75,54 | 91,00 | 70,49 | 66,59 | 62,92 | 59,15 | 54,72 | 40,57 | 51,83 | 71,95 |
| 5 | 85,14 | 83,42 | 66,98 | 68,68 | 95,15 | 73,89 | 67,37 | 73,45 | 88,03 | 72,06 | 62,63 | 58,85 | 63,90 | 55,07 | 48,88 | 55,57 | 71,09 |
| 6 | 87,40 | 86,35 | 63,41 | 67,53 | 95,64 | 75,15 | 75,93 | 71,00 | 86,74 | 73,22 | 64,81 | 59,07 | 64,66 | 54,19 | 49,21 | 58,10 | 72,22 |
| 7 | 86,20 | 84,06 | 70,13 | 69,11 | 98,20 | 80,17 | 69,30 | 70,45 | 84,48 | 75,15 | 68,62 | 62,07 | 63,70 | 55,65 | 47,25 | 59,87 | 73,19 |
| 8 | 83,68 | 74,15 | 68,77 | 69,11 | 103,39 | 81,00 | 78,04 | 72,52 | 85,01 | 71,52 | 64,48 | 57,17 | 70,86 | 66,59 | 56,92 | 62,03 | 74,08 |

sınıflandırılmasında fosfor, azot bileşikleri ve klorofil-a konsantrasyonlarını kullanmıştır. Wetzel (1983) ve Likens (1975) tarafından bildirildiğine göre göl ve rezervuarlarda yıllık ortalama DIN konsantrasyonları 250-600 µg/l, yıllık ortalama klorofil-a konsantrasyonları 2-15 µg/l mezotrofik seviye sınır değerleri, yıllık ortalama TP konsantrasyonları 30 µg/l ve üstü ötrofik olarak kabul edilmiştir. Vollenweider and Kerekes (1982) tarafından bildirildiğine göre, durgun sularda ortalama klorofil-a konsantrasyonları 2,5 - 8 µg/l arası, maksimum klorofil-a konsantrasyonları 8-25 µg/l arası mezotrofik, yıllık ortalama TP konsantrasyonları 35-100 µg/l arası da ötrofik olarak kabul edilmektedir. Nürnberg'e (1996) göre TN>1200 µg/l, TP>100 µg/l, klorofil-a>25 µg/l ve SD<1 m'de hiperötrofik sınır değerleridir. Bunların dışında, Chapman (1992) ve EPA (Anonim 2000 a)'da verilen OECD sınır değerlerine göre de ötrofik seviye belirlenmiştir. Çizelge 4. 2. 3'te Chapman'da (1992) gösterilmiş olan göllerin, nütrient seviyesi, biyomas ve üretkenliklerine göre yapılan trofik sınıflandırma ve çizelge 4. 2. 4.'te OECD'nin trofik seviyenin belirlenmesi amacıyla hazırladığı standartlar tablosu (Anonim 2000 a) gösterilmiştir.

Belirtilen sınır değerler ile karşılaştırılacak olan TP, TN, DIN, Klorofil-a, seki derinliği, çözünmüş oksijenin yıllık ortalama konsantrasyonları sırasıyla, 178,9 µg/L, 9191 µg/L, 422,5 µg/L, 17,97 µg/L, 0,568 m ve 10,5 mg/l'dir. Ayrıca baskın balık türleri de , *Carassius Gibelio*, *C. carpio* (sazan), kızılkanat ve *E. lucius* (Turna)'dır. Wetzel (1983) ve Likens'e (1975) göre, DIN değerleri bakımından mezotrofik, klorofil-a ve TP bakımından ötrofik, Vollenweider and Kerekes, 1982'ye göre, klorofil-a konsantrasyonları bakımından mezotrofik, TP bakımından hiperötrofik seviyede bulunmuştur. Nürnberg'e (1996) göre, TN, TP, SD parametreleri bakımından hiperötrofik (Anonim 2000 a), klorofil-a bakımdan ötrofik düzeyde bulunmuştur. Chapman'a (1992) göre belirtilen sınır değerlerle incelendiğinde TP, seki derinliği ve baskın balık türü açısından hiperötrofik düzeyde, klorofil-a bakımından ötrofik seviyededir.

OECD'nin sınır değerleri ile karşılaştırıldığında, her üç parametrenin konsantrasyonların ötrofik sınır değeri aşmış olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.2.5'te Uluabat Gölü için belirlenen trofik seviye sınıfları gösterilmiştir.

Çizelge 4.2.3. Göllerin, nütrient seviyesi, biyomas ve üretkenliklerine göre yapılan trofik sınıflandırma

| Trofik Sınıf | TP (mg/m ³) | Klorofil-a (mg/m ³) | Mak. Klorofil-a (mg/m ³) | Seki Derinliği (m) | Min. Seki Derinliği (m) | Min ÇÖ % | Baskın Balık Türü |
|----------------------|----------------------------|------------------------------------|--|-----------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------|
| Ultra oligotrofik | 4 | 1 | 2,5 | 12 | 6 | <90 | Alabalık, Beyazbalık |
| Oligotrofik | 10 | 2,5 | 8 | 6 | 3 | <80 | Alabalık, Beyazbalık |
| Mezotrofik | 10–35 | 2,5–8 | 8–25 | 6–3 | 3–1,5 | 40–89 | Beyazbalık , Levrek |
| Ötrofik | 35–100 | 8–25 | 25–75 | 3–1,5 | 1,5–0,7 | 40–0 | Levrek, Kızılkanat |
| Hipertrofik | 100 | 25 | 75 | 1,5 | 0,7 | 10–0 | Kızılkanat |

* Chapman, D. 1992 Water Quality Assessments, Chapman & Hall

Çizelge 4.2.4. OECD'nin trofik seviyenin belirlenmesi amacıyla hazırladığı standartlar tablosu (Anonim 2000 a) ile karşılaştırılması

| | | TP Ortalama | TN Ortalama | Klorofil-a Ortalama | Klorofil-a Üst Limit |
|-----------------|-------------|-------------|---------------|---------------------|----------------------|
| | | Aralık (n) | Aralık (n) | Aralık (n) | Ortalama Aralık (n) |
| Gölün Durumu | Oligotrofik | 8 | 660 | 1,70 | 4,2 |
| | (µg/L) | 3-18 (21) | 310-1600 (11) | 3-4,5 (22) | 1,3-11 (6) |
| | Mesotrofik | 27 | 750 | 4,7 | 16 |
| | (µg/L) | 11-96 (19) | 360-1400 (8) | 3-11 (16) | 5-50 (12) |
| | Ötrofik | 84 | 1900 | 14 | 43 |
| | (µg/L) | 16-390 (71) | 390-6100 (37) | 2,7-78 (37) | 10-280 (46) |

Göllerin trofik seviyesi kullanım amacını da etkilemektedir. Örneğin, trofik seviye indeksi 40 ile 50 arasında, anoksik koşullar oluşabilmektedir. Bu nedenle demir ve mangan problemleri meydana gelebilmektedir. TSI 50'den itibaren bulanıklık problemi yaşanmaktadır ve 1 NTU'nun üstüne çıkabilmektedir ve bu nedenle ham suyun filtrasyonu gerekli olmaktadır. İçme suyu amaçlı kullanım dışında rekreasyon amaçlı kullanımı da etkilemektedir. Özellikle yüzme amaçlı kullanımlarda dip kısmının görünürlüğü çok önemlidir. Yeni Zelanda da görünürlüğün 1,5 m'den düşük olması

yüzme amaçlı kullanım için yasaklanmıştır. Bu değer yaklaşık olarak TSI 60'a, görünürlüğün fosforla da ilişkisi olması dolayısıyla TP değerinin de 45 ile 50 µg/l aralığına karşılık gelmektedir.

Çizelge 4.2.5. Uluabat Gölü için belirlenen trofik seviye sınıfları

| Ekosistem | Kaynak | İndikatörler/İndeksler | Uluabat Gölü Sınıfı |
|------------------------|-------------------------------|---|--------------------------|
| Yüzeysel sular | Likens 1975 ve Wetzel 1983 | Yıllık ortalama DIN ve yıllık ortalama klorofil-a | Mezotrofik, ötrofik |
| Göller ve rezervuarlar | OECD (EPA 2000) | TP, TN, Klorofil-a ortalama değerleri | Ötrofik |
| Göller ve rezervuarlar | Carlson 1977 | TSI | Hiperötrofik, ötrofik |
| Durgun sular | Vollenweider and Kerekes 1982 | yıllık ortalama klorofil-a, TP | Mezotrofik, hiperötrofik |
| Göller ve rezervuarlar | Chapman 1992 | TP, Klorofil-a, SD, ÇO, Balık türü | Hiperötrofik, ötrofik |
| Göller ve rezervuarlar | Nürnberg 1996 | TP, TN, Klorofil-a ve SD ortalama değerleri | Hiperötrofik, ötrofik |

Hayvan ve insan dışkılarının verildiği kanalizasyon atıksularının neden olduğu aşırı nütrient artışı sadece alglerin çoğalmasına değil sağlığa zararlı olan bakterilerin çoğalmasına da neden olmaktadır. Trofik seviye tekne gezintilerini de etkilemektedir. Özellikle TSI 70 (TP=98 µg/l) ve görünürlüğün 0,5 m olduğu durumlarda daha uzun bitkilerin baskın olabildikleri bilinmektedir (Anonim 2000a). Bu bilgiler göz önüne alındığında Uluabat Gölü içme suyu ve rekreasyon amaçlı kullanım sınır değerlerini aşmış bulunmaktadır.

4. 2. 1. Alg Biyokütlesi İçin Sınırlayıcı Faktör Olan Azot ve Fosfor

Alg biyokütlesini belirlemek için kullanılan birincil faktörler fosfor ve azottur. Biyoması etkileyen faktörler mevsimsel veya daha uzun süreli olarak değişebilmektedir. Ayrıca arazi kullanımına bağlı olarak ta bölgesel değişimler meydana gelmektedir.

Birçok göl ve rezervuarda fosfor limitleyici faktördür. Ancak kanalizasyon atıksularının deşarj edildiği bazı bölgelerde azot daha etkili olabilmektedir. Bazı bölgelerde azot sınırlaması fosforca zengin olan jeolojik yapısı bulunan bölgenin bir fonksiyonu olabilmektedir. Yeni yapılan çalışmalarda azot sınırlamasının fosfor kadar yaygın olabildiği görülmüştür. Yapılan bazı çalışmalar fosforun azottan daha kolay ekolojik çevrime girdiğini göstermektedir. Dışarıdan herhangi bir girdi olmaksızın yaz aylarının son dönemlerinde azot sınırlaması beklenilmektedir. Bu nedenle ötrofikasyon kontrolü için sadece fosfor sınırlaması yeterli olmamakta, azot sınırlamasının da sıklığının ve süresinin bilinmesi gerekmektedir (Anonim 2000 a).

Fosfor ile birlikte olabilecek olan azot sınırlamasının etkisini görebilmek amacıyla yaygın olarak kullanılan 4 farklı N/P oranı bulunmaktadır. Bunlar TN/TP, DIN/TP, DIN/SRP ve NO₃-N/SRP dir. Yapılan çalışmalarda azot sınırlamasının N/P oranının 5'ten küçük olduğunda meydana geldiği, azot ve fosforun birlikte sınırlayıcı olduğu durumun 5 ile 20 arasında meydana geldiği bulunmuştur. Yapılan başka çalışmalarda da TN/TP ve DIN/SRP oranlarının 20'den küçük olduğu zaman ve DIN/TP oranının 4'ten küçük olduğu zaman genel olarak fosforun sınırlayıcı olmadığı görülmüştür. DIN/SRP oranı 3 ile 20 arasında, DIN/TP oranı 1,3 ile 4 arasında azot ile fosforun birlikte sınırlayıcı (co-limitation) olduğu bulunmuştur. DIN/SRP, DIN/TP ve biyoassay verilerinin TN/TP oranına göre daha iyi eşleşmiş olduğu görülmüştür. Biyoassay ile en iyi eşleşme DIN/TP oranında görülmüştür. DIN/SRP oranı 20'den küçük olan örneklerin yaz sonu, sonbahar başlarında (Ekim) olduğu görülmüştür. Azot sınırlamasının, düşük inorganik azot içeren hümik göllerde, yüksek fosfor konsantrasyonu içeren ötrofik göllerde ve tropik göllerde yaygın olmadığı görülmektedir. Azot ile birlikte fosforun sınırlayıcılığına yaz aylarında ve sonbahar sonlarında rastlanmaktadır. Yüzeydeki nitrat iyonları algler tarafından tüketilmektedir. Yaz sonunda meydana gelen azot bağlayan cyanobacteria patlaması yaşanmaktadır. Bu durum, inorganik azotun mevcut formunun direkt olarak tüketilmesi sonucunda meydana gelmektedir. Bazı oligotrofik göllerde de fosforla birlikte azotun da sınırlayıcı

olduğu görülmüş olmasına rağmen ılıman göllerde bu durumun oluşma olasılığı çok düşüktür (Matthews ve ark. 2002).

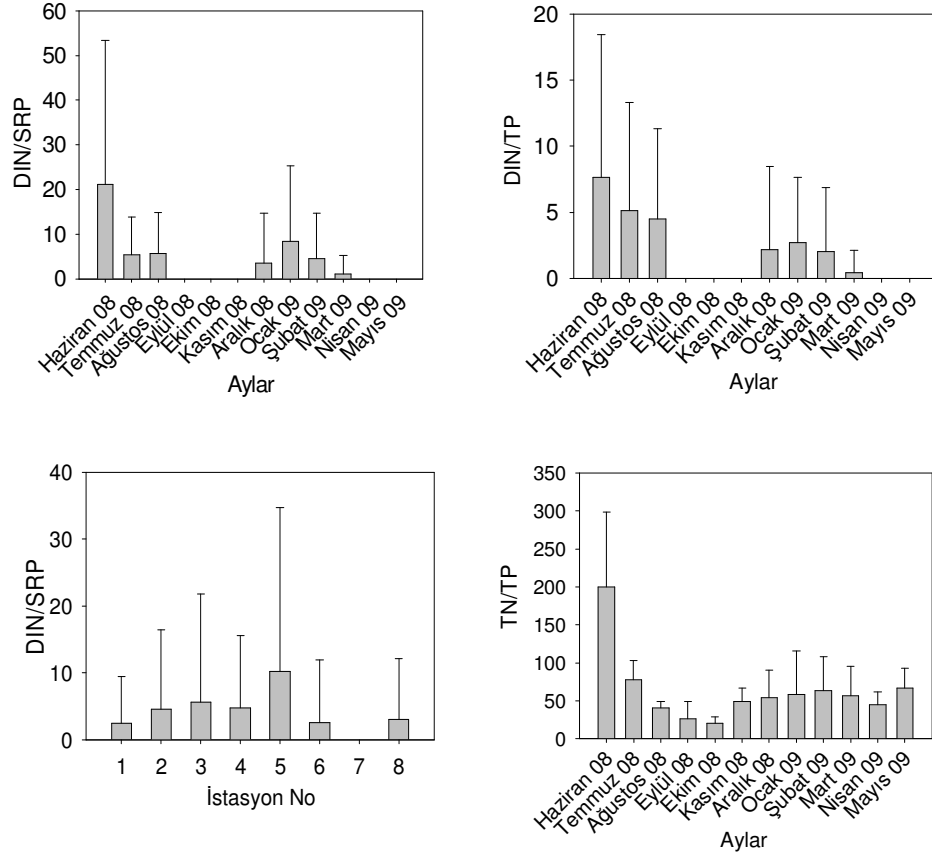
DIN/SRP oranının göl ortalama değerlerinin aylık değişimleri incelendiğinde, Haziran Ayı (21,19) dışında tüm değerlerin 20'den küçük olduğu görülmüştür. En düşük değerler Eylül, Ekim, Kasım, Nisan ve Mayıs Ayları'nda sifıra yakın bulunmuştur. TN/TP oranlarının aylık değişimleri incelendiğinde, hiçbir değer 20'den ufak olmadığı ancak en yüksek değer 200,08, en düşük değer de Ekim Ayı'nda 20,95 olduğu görülmüştür. DIN/TP oranları incelendiğinde, sonbahar, kış ve ilkbahar aylarının tümünde 4'ten küçük, yaz aylarında büyük bulunmuştur. Özellikle Eylül, Ekim, Kasım, Nisan ve Mayıs Ayları'nda sifıra yakın bulunmuştur. Yapılmış çalışmalarda DIN/SRP ve DIN/TP'nin bioassay verileri ile daha uyumlu olması sebebiyle daha çok dikkate alındığında, yaz mevsiminin ortalarından itibaren tüm yıl boyunca azotun da fosforla birlikte sınırlayıcı faktör olduğu görülmüştür. Özellikle de sonbahar aylarının tümünde ve Nisan ve Mayıs'ta değerler daha küçük bulunmuş olup, bu aylarda azotun sınırlayıcılığının artmış olduğu belirlenmiştir. Göl ortalamasına göre belirlenmiş DIN/SRP, TN/TP ve DIN/TP oranlarının aylık değerleri çizelge 4.2.6'da ve şekil 4.2.2'de gösterilmiştir. DIN/SRP oranlarının yıllık ortalamaları alınarak istasyonlara göre değerlendirilmesi neticesinde, tüm değerler 20'nin altında belirlenmiştir. En düşük değer 7. istasyonda sifıra yakın, en yüksek değerler de 5. istasyonda, 10,24 olarak bulunmuştur. DIN/TP oranlarının da yıllık ortalama değerlerinin tüm istasyonlarda 4'ten küçük olduğu görülmüştür. TN/TP oranları arasında yalnızca 1. istasyonda (9,81) 20'den küçük bulunmuştur. Yıllık ortalama değerlere göre belirlenmiş DIN/SRP, TN/TP ve DIN/TP oranlarının istasyonlara değişimleri çizelge 4.2.7'de ve şekil 4.2.2'de DIN/SRP oranının yıllık ortalama değerlerinin istasyonlara göre değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.2.6. Göl ortalamasına göre belirlenmiş DIN/SRP, TN/TP ve DIN/TP oranlarının aylık değerleri

| Aylar | DIN/SRP | TN/TP | DIN/TP |
|---------|-------------|--------------|------------|
| Haziran | 21,20±32,15 | 200,09±98,68 | 7,62±10,83 |
| Temmuz | 5,37±8,46 | 77,41±25,57 | 5,11±8,20 |
| Ağustos | 5,73±9,02 | 40,59±8,51 | 4,47±6,84 |
| Eylül | 0 | 26,72±22,91 | 0 |
| Ekim | 0 | 20,95±8,26 | 0 |
| Kasım | 0 | 49±17,62 | 0 |
| Aralık | 3,56±11,11 | 54,41±36,21 | 2,16±6,33 |
| Ocak | 8,46±16,85 | 58,53±56,75 | 2,69±4,93 |
| Şubat | 4,51±10,12 | 63,44±44,95 | 2,01±4,83 |
| Mart | 1,05±4,19 | 56,84±38,59 | 0,42±1,70 |
| Nisan | 0 | 44,68±17,44 | 0 |
| Mayıs | 0 | 66,62±26,20 | 0 |

Çizelge 4.2.7. Yıllık ortalama değerlere göre belirlenmiş DIN/SRP, TN/TP ve DIN/TP oranlarının istasyonlara göre değerleri

| İst no | DIN/SRP | TN/TP | DIN/TP |
|--------|-------------|--------------|-----------|
| 1 | 2,47±6,94 | 9,81±56,47 | 1,89±5,11 |
| 2 | 4,6±11,85 | 66,51±49,64 | 2,13±4,75 |
| 3 | 5,58±16,22 | 55,04±31,71 | 2,73±7,12 |
| 4 | 4,77±10,81 | 50,25±29,55 | 2,55±5,27 |
| 5 | 10,25±24,42 | 47,95±42,76 | 3,48±7,75 |
| 6 | 2,55±9,40 | 53,38±52 | 1,51±5,34 |
| 7 | 0 | 51,16±59,98 | 0 |
| 8 | 3,04±9,10 | 83,09±106,48 | 2,04±5,94 |



Şekil 4.2.2. DIN/SRP, TN/TP ve DIN/TP oranlarının göl ortalamalarının aylık değerleri ve DIN/SRP oranının yıllık ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi

Göllerde nütrient sınırlamasının türünü ve derecesini belirleyebilmek amacıyla TSI değerleri kullanılmaktadır (Matthews ve ark. 2002, Rakocevic-Nedovic ve Hollert 2005). TSI değerleri ile belirlenen ilişkiler ve nütrient sınırlaması çizelge 4.2.8'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2.8. TSI değerleri ile belirlenen ilişkiler ve nütrient sınırlaması

| TSI değişkenleri arasındaki ilişki | Mevcut durum |
|------------------------------------|--|
| $TSI_{TP}=TSI_{SD}=TSI_{CHL}$ | Alg baskın ve ışık azalması var; TN/TP ~ 33:1 |
| $TSI_{CHL}>TSI_{SD}$ | Büyük partiküller baskın |
| $TSI_{TP}=TSI_{SD}>TSI_{CHL}$ | Alglerin neden olmadığı, renkten kaynaklanan ışık geçirgenliğinin azalması |
| $TSI_{SD}=TSI_{CHL}>TSI_{TP}$ | Fosfor sınırlayıcı |
| $TSI_{TP}>TSI_{CHL}=TSI_{SD}$ | Alglerin neden olduğu ışık geçirgenliğinin azalması, azot sınırlaması, alg biyomasında toksik sınırlara ulaşılması ve zooplankton artışı |

(Rakocevic-Nedovic ve Hollert 2005)

TSI_{TP} , TSI_{SD} , TSI_{TN} , TSI_{CHL} değerlerinin yıllık ortalamaları sırasıyla 78,98, 68,14, 86,44 ve 58,90 olarak belirlenmiştir. Buna göre, TSI_{SD} ve $TSI_{CHL} < TSI_{TP}$ olması nedeniyle sınırlayıcının fosfor olmadığı görülmektedir. $TSI_{CHL} < TSI_{SD}$ olması nedeniyle büyük partiküllerin baskın olmadığı görülmektedir. TSI_{TP} ve $TSI_{SD} > TSI_{CHL}$ ancak tabloda verilmiş olduğu gibi TSI_{TP} ve TSI_{SD} birbirine eşit değildir. $TSI_{TP} > TSI_{SD}$ ve TSI_{CHL} ancak TSI_{CHL} ve TSI_{SD} birbirine eşit değildir. Bu nedenle de göldeki ışık geçirgenliğine alglerin etkisinin ne olduğu hakkında tam olarak bir şey söylenememektedir. Ancak mevsimsel olarak etkili olabileceği düşünülmüştür. Ancak gölde yalnızca fosforun sınırlayıcı olmadığı ve büyük partiküllerin ışık geçirgenliğinin azalmasına neden olmadığı belirlenmiştir. Mevsimsel yapılan incelemelere göre de $TSI_{CHL} < TSI_{SD} < TSI_{TP}$ olması nedeni ile fosforun tek başına sınırlayıcı element olmadığı dört mevsimde de belirlenmiştir. Yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde, Uluabat Gölü'nde büyük partiküllerin baskın olmadığı ve ışık geçirgenliğinin azalmasının sebebinin alg değil renkten kaynaklandığı belirlenmiştir. Ancak ilkbahardaki ilişkilerin diğer mevsimlerden biraz farklı olduğu bulunmuştur. İlkbaharda, $TSI_{CHL} < TSI_{SD}$ olması

nedeni ile büyük partiküller baskın değildir ancak TSI_{CHL} ve TSI_{SD} birbirlerine çok yakın bulunmuştur. Bu da diğer mevsimlere nazaran daha fazla miktarda büyük partikülün gölde olabileceğini düşündürmektedir. TSI_{TP} ile TSI_{SD} , TSI_{CHL} dan büyük olmalarına rağmen birbirlerine diğer mevsimlere nazaran çok yakın bulunmamıştır. Alglerin ışık geçirgenliğine tam olarak olmasa da bir miktar etkili olduğu düşünülmüştür. $TSI_{CHL} < TSI_{SD} < TSI_{TP}$ bulunması nedeni ile alglerin bulanıklığa karşı direkt etkisi olmadığı ancak TSI_{CHL} ile TSI_{SD} değerlerinin yakın bulunması nedeni ile alglerin bulanıklığı az da olsa etkileyebileceği düşünülmüştür. İlkbahar mevsiminin yağış şiddetinin ve klorofil-a konsantrasyonlarının arttığı bir dönem olduğu bilinmektedir. Havzadaki toprakların yüzeysel akışlar ve akarsularla göle karışmasıyla AKM ve nütrient konsantrasyonlarının arttığı bu nedenle göldeki alg populasyonunun ve bulanıklığın yükseldiği düşünülmüştür. TSI değerlerinin mevsimsel ortalamaları çizelge 4.2.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.2.9. TSI değerlerinin mevsimsel ortalamaları

| Mevsim | TSI_{SD} | TSI_{CHL} | TSI_{TP} | TSI_{TN} |
|----------|------------|-------------|------------|------------|
| Yaz | 87,63 | 64,19 | 82,91 | 97,46 |
| Sonbahar | 78,66 | 56,80 | 83,22 | 81,70 |
| Kış | 64,76 | 50,59 | 68,77 | 77,03 |
| İlkbahar | 60,86 | 57,82 | 68,82 | 77,40 |

4. 2. 2. Uluabat Gölü Trofik Seviyesinin Değerlendirilmesi

Hesaplanan TSI değerlerinin tümünün yıl boyunca ötrofik seviyenin üstünde olduğu, TSI_{TN} değerlerinin tümünün hiperötrofik seviyede, TSI_{TP} ve TSI_{SD} değerlerinin de ötrofik-hiperötrofik ve hiperötrofik seviyelerde buldukları belirlenmiştir. TSI_{CHL} 'nin ötrofik ve hiperötrofik seviyeler arasında değiştiği tespit edilmiştir. Gölün genel ortalama TSI değeri de 73,115 olması nedeniyle Uluabat Gölü hiperötrofik seviyede bulunmuştur. TSI değerlerinin istasyonlardaki mevsimsel değişimleri incelendiğinde, en yüksek değerler yaz ve sonbahar aylarında (hipertrofik), en düşük değerler ilkbahar ve kış (hipertrofik-ötrofik) aylarında belirlenmiştir. Ortalama TSI'lerin

en yüksek ve en düşük değerleri 8. ve 5. istasyonlarda belirlenmiştir. 8. istasyonun bulunduğu b6lgenin g6ldeki 6trofikasyonun en fazla yaşandığı kısım olduğu anlaşılmıştır. G6ldeki t6m istasyonlar hiper6trofik seviyededir. TSI ile belirlenen trofik seviye, 7eşitli araştırmacıların kullanmış olduğu indikat6ler yardımı ile karşılaştırıldığında Uluabat G6lü hipertrofik, 6trofik ve mezotrofik seviyelerde bulunmakla birlikte daha 7ok hiper6trofik ve 6trofik seviyelerin baskın olduğu belirlenmiştir. G6l su kalitesi trofik seviyelere g6re değerlendirildiğinde Uluabat G6lü'n6n i7me suyu ve rekreasyon ama7lı kullanım sınır değerlerini aşmış olduğu bulunmuştur.

Hipertrofik 6trofikasyon seviyesinde bulunan Uluabat G6lü'n6n DIN/SRP ve DIN/TP oranlarının bioassay verileri ile daha uyumlu olması sebebiyle daha 7ok dikkate alındığında, yaz mevsiminin ortalarından itibaren t6m yıl boyunca azotun da fosforla birlikte sınırlayıcı fakt6r olduğu g6r6lm6ştir. TSI değerleri ile belirlenen ilişkiler ve n6trient sınırlaması tablosuna g6re yapılan değerlendirmeler DIN/SRP ve DIN/TP oranlarıyla yapılanlara uygun sonu7lar g6stererek sınırlayıcının fosfor olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, ilkbahar mevsimi dışında Uluabat G6lü'nde b6y6k partik6llerin baskın olmadığı ve ışık ge7irgenliğinin azalmasının sebebinin alg 7oğalmasından değil renkten kaynaklandığı belirlenmiştir. İlkbaharda TSI_{CHL} ve TSI_{SD} birbirlerine 7ok yakın bulunmuştur. Bu da diğer mevsimlere nazaran daha fazla miktarda b6y6k partik6l6n g6lde olabileceğini d6ř6nd6rm6ř, $TSI_{CHL} < TSI_{SD} < TSI_{TP}$ bulunması ve TSI_{TP} ile TSI_{SD} , TSI_{CHL} dan b6y6k olmalarına rağmen birbirlerine diğer mevsimlere nazaran 7ok yakın bulunmaması algerin bulanıklığı az da olsa etkileyebileceğini g6stermiştir. Bu durumun ilkbahar aylarında artan yağış y6ksekliği ve şiddeti ile havzadaki toprakların y6zeysel akışlar ve akarsularla g6le karışmasıyla AKM ve n6trient konsantrasyonlarının arttığı bu nedenle g6ldeki alg populasyonunun ve bulanıklığın y6kselmesi nedeni ile meydana geldiği tahmin edilmiştir.

T6m bu bilgiler ışığı altında, Uluabat G6lü'n6n tamamının hipertrofik seviyeye ulaşmış olması nedeniyle, i7me suyu ve rekreasyon ama7lı olarak kullanılamaz hale geldiği ve g6ldeki 6trofikasyona fosfor ve azot artışının neden olduğu belirlenmiştir. Fosforun azot ile birlikte sınırlayıcı olması nedeniyle g6lde acil olarak alınması gereken 6nlemler i7erisine azot sınırlamasının da getirilmesi, tarımsal uygulamalarda aşırı g6brelemeden ka7ınılması ve sanayileşmenin 6n6ne ge7ilmesi gerekmektedir.

4. 3. Uluabat Gölü Su ve Sediment Kalitesinin 2002-2003 ve 2008-2009 Yılları Arasında Değişimi

4. 3. 1. Uluabat Gölü Su Kalitesinin 2002-2003 ve 2008-2009 Yılları Arasında Değişimi

Uluabat Gölü'nün su kalitesinin 2002-2003 ve 2008-2009 yılları arasındaki değişimini görebilmek amacıyla ANOVA tablosu yardımıyla varyans analizi yapılmıştır. 2002-2003 yılında yapılan incelemelerde 5 ölçüm istasyonu kullanılmıştır. Bu nedenle istatistiksel hesaplamalarda eski istasyonlara karşılık gelen 2008-2009 yılı ölçüm istasyonları kullanılmıştır. 2002-2003 yılında inceleme yapılan 1., 2., 3., 4. ve 5. istasyonlara 2008-2009 yılında 2., 4., 5., 6. ve 8. istasyonlar karşılık gelmektedir. İstasyonlar gibi aylık incelemelerde 2002-2003 yılında iki ayda bir ölçüm yapılmış olması nedeniyle Temmuz, Eylül, Kasım, Ocak, Mart ve Mayıs Ayları'ndaki ölçümler karşılaştırılmıştır. İstatistiksel hesaplamalarda "İstasyonlara, aylara ve yıllara göre meydana gelen değişimlerin önemlilik durumları $p=0,05$ 'e göre belirlenmiştir. Su kalitesi parametrelerinin 2002-2003 ve 2008-2009 yılları arasındaki değişimini gösteren ANOVA tablosu çizelge 4.3.1'de gösterilmiştir.

Seki derinliği için yapılan analizler neticesinde, 2002-2003 ve 2008 ve 2009 yılları göl ortalama değerleri 55,27 cm ve 46,27 cm bulunmuştur. Ancak yıllara göre meydana gelen değişimlerin önemli olmadığı belirlenmiştir. Seki derinliği parametresinin, istasyonlar ve aylar bakımından değişimini anlayabilmek için her iki yıl arasındaki farkı ayrı değerlendirilmiştir. 2002-2003 yılı değerlerine göre, istasyonlar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Aylara göre meydana gelen değişim önemli bulunarak, Temmuz ve Ocak Ayları minimum, Kasım Ayı maksimum bulunmuştur. 2008-2009 yılı ölçümlerinin 2002-2003 yılındaki gibi istasyonlara göre farklılıkları önemsiz, aylara göre farklılıkları da önemli bulunmuştur. Aylık değerlere göre maksimum ve minimum seki derinliği Nisan Ayı'nda 147,5 ve Ağustos Ayı'nda 10,25 cm olarak belirlenmiştir. 2002-2003 yılında yapılan çalışmada incelenen aylarda 2008-2009 yılı ölçümleri göz önüne alınırsa, en yüksek ve en düşük değerler Mayıs ve Kasım Ayı'nda 82,5 ve 13,13 cm olarak belirlenmiştir. Balaton Gölü'nde ölçülen seki diski derinliği 30-70 cm arasında belirlenmiştir (Dvai ve Moldovan 1983). Yıllar içinde aylık ve istasyon bazındaki değerlerin maksimum ve minimum oldukları tarihler

Çizelge 4.3.1. Su kalitesi parametrelerinin 2002-2003 ve 2008-2009 yılları arasındaki değişimini gösteren ANOVA tablosu

| Parametre | 2002-2003 | | 2008-2009 | | Yıllar |
|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| | İstasyon | Ay | İstasyon | Ay | |
| SD | P= 0,298 Önemsiz | P= 0 Önemli | P= 0,109 Önemsiz | P= 0 Önemli | P= 0,232 Önemsiz |
| Su Seviyesi | P= 0,166 Önemsiz | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli | P= 0,357 Önemsiz |
| pH | P= 0,05 Önemli | P= 0,001 Önemli | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli |
| EC | P= 0,351 Önemsiz | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli |
| Sıcaklık | P= 0,798 Önemsiz | P= 0 Önemli | P=0 Önemsiz | P=0 Önemli | P= 0 Önemsiz |
| ÇO | P= 0,821 Önemsiz | P= 0 Önemli | P=0,741 Önemli | P=0 Önemli | P= 0,068 Önemsiz |
| NH ₄ -N | P= 0,178 Önemsiz | P= 0,002 Önemli | P= 0,184 Önemsiz | P= 0 Önemli | P= 0,114 Önemsiz |
| NO ₃ -N | P= 0,089 Önemsiz | P= 0,009 Önemli | P= 0,437 Önemsiz | P= 0 Önemli | P= 0,017 Önemli |
| TN | P= 0,395 Önemsiz | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli | P= 0,03 Önemli |
| PO ₄ -P | P= 0,97 Önemsiz | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli |
| TP | P= 0,333 Önemsiz | P= 0 Önemli | P= 0,001 Önemli | P=0 Önemli | P= 0,719 Önemsiz |
| Klo-a | P= 0 Önemli | P= 0,001 Önemli | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli | P=0,093 Önemsiz |

değişmiştir. Her iki yılın ölçümlerine bakıldığında yaz aylarında seki derinliğinin düştüğü, ilkbahar ve sonbahar aylarında yükseldiği söylenebilir. Seki derinliğinin istasyonlardaki değişimlerinin önemli olmaması, gölün maruz kaldığı anlık meteorolojik koşullardan, özellikle de rüzgar hızı ve sıcaklıktan sığ bir göl olması nedeniyle daha çok etkilenmesinden dolayı meydana geldiği düşünülmüştür.

Su seviyesi parametresi için yapılan iki yıllık ölçümler değerlendirildiğinde, 2002-2003 yılı 2,279 ve 2008-2009 yılı 2,217 m olarak belirlenmiş seviyenin bir miktar düştüğü görülmüştür. Ancak bu düşüş istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. 2002-2003 yılı verilerine göre, su seviyesinin değişimi, istasyonlara göre önemsiz, aylara göre önemli bulunmuştur. Aylık değerlere göre en düşük ve en yüksek su seviyeleri Temmuz (1,516 m) ve Mart Ayları'nda (4,036 m) olarak belirlenmiştir. 2008-2009 yılı

ölçümlerine göre su seviyesinin istasyonlara ve aylara göre farklılıklarının önemli olduğu belirlenmiştir. İstasyonların ortalama değerleri 2002-2003 yılında incelenen istasyonlara göre 2008-2009 yılı ölçümleri değerlendirildiğinde en yüksek ve en düşük seviyeler 1. (2.) ve 2. (4.) istasyonlarda 2,583 ve 1,892 m olarak belirlenmiştir. 2008-2009 yılında kullanılan 8 istasyonun ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, en yüksek su seviyesi 3. istasyonda, en düşük su seviyesi de 4. istasyonda bulunmuştur. İstasyonlar arasındaki farklılıkların 5 ölçüm istasyonu kullanılan 2002-2003 yılında önemsiz, 8 ölçüm istasyonu kullanılan 2008-2009 yılında önemli bulunması su seviyesi parametresi bakımından ölçüm istasyonu sayısının fazla olmasının gerekli olduğunu göstermiştir. Aylık ölçümler karşılaştırıldığında Maksimum ve minimum su seviyeleri Mart ve Eylül Ayları'nda 4,037 ve 1,35 m olarak belirlenmiştir. Buna göre Uluabat Gölü su seviyesinin ilkbahar Ayları'nda özellikle de Mart Ayı'nda yükseldiği, yaz ve sonbaharın ilk aylarında da düştüğü görülmüştür

pH değerlerinin 2002-2003 yılında 8,638 ve 2008-2009 yılında 8,354 olarak bulunmuşlardır. ANOVA tablosuna göre yıllar arasındaki bu değişim önemli bulunmuştur. 2002-2003 yılı pH ölçümleri değerlendirildiğinde, istasyonlara göre meydana gelen değişim önemli bulunmuştur. En yüksek ve en düşük değerler 8,835 ve 8,498 ile 5. ve 2. istasyonlarda bulunmuşlardır. 2008-2009 yılı pH ölçümlerine göre yapılan değerlendirmelere göre, istasyonlar ve aylar arasındaki farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. İstasyon ortalamalarına göre değerler en yüksek 5. (8.), en düşük 2. (4.) istasyonda 8,5 ve 8,19 olarak bulunmuştur. pH'ın maksimum ve minimum değerleri 2002-2003 yılında da aynı istasyonlarda bulunmuştur. 5. istasyon, 2008-2009 yılı ölçüm istasyonlarına göre 8. istasyonda bulunmaktadır. Bu istasyon ötrofikasyonun en yüksek olduğu bölgede bulunmaktadır. 2002-2003 yılı aylık değişimler incelendiğinde, en yüksek değer Mart Ayı'nda 8,834 ve en düşük değer de Mayıs Ayı'nda 8,361 olarak belirlenmiştir. Aylık değerler arasındaki farklılığın önemli olduğu belirlenmiştir. 2008-2009 yılı ortalama değerleri Temmuz Ayı'nda maksimum (8,64), Mayıs Ayı'nda minimum (7,92) bulunmuştur. Uluabat Gölü'nde pH'ın alg populasyon artışına bağlı olarak ilkbahar başlangıcı ve yaz aylarında yükseldiği görülmüştür

Elektriksel iletkenliğin yıllık değişimleri incelendiğinde, 2002-2003 yılında 490,9 $\mu\text{s/cm}$, 2008-2009 yılında 556,5 $\mu\text{s/cm}$ olarak belirlenmiştir ve elektriksel iletkenliğin artış gösterdiği belirlenmiştir. Bu artış kirliliğin arttığını göstermiş olup,

istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. 2002-2003 yılı değerlerine göre, elektriksel iletkenliğin istasyonlara göre meydana gelen değişimi önemsiz bulunmuştur. Aylık değişimlere göre Ocak ve Eylül Ayları 555,3 ve 446,1 $\mu\text{s/cm}$ ile en yüksek ve en düşük değerlerin görüldüğü aylardır. Aylık ortalamalar arasındaki farklılıklar önemli bulunmuştur. Ocak Ayı, yağışların çok olduğu ancak su seviyesinin maksimuma ulaşmadığı ay olması sebebiyle seyrelmenin Mart Ayı'na göre daha az olduğu bir dönemdir. Bu nedenle elektriksel iletkenlik yüksek çıkmıştır. Eylül Ayı'nda ise, sıcaklıkların yüksek olmasıyla birlikte fotosentez hızı da yüksektir. Bu nedenle göldeki çözünmüş iyonlar kullanılmaktadır. 2008-2009 yılı ölçümleri değerlendirildiğinde, istasyonlara ve aylara göre değişimleri önemli bulunmuştur. Aylık konsantrasyonlar incelendiğinde en yüksek ve en düşük elektriksel iletkenlik değerleri Kasım (649,18 $\mu\text{s/cm}$) ve Şubat (430,18 $\mu\text{s/cm}$) Ayları'nda bulunmuştur. 2002-2003 yılında incelenen aylara göre 2008-2009 yılı değerlendirildiğinde en düşük değerlerin Mart Ayı'nda 434,31 $\mu\text{s/cm}$ olduğu belirlenmiştir. Elektriksel iletkenliğinin Uluabat Gölü'ndeki değişimi hakkında genel bir bilgi bulunamamıştır. 2002-2003'te Kış aylarında yüksek iken 2008-2009'da kış aylarında düşük bulunmuştur. Benzer olarak 2002-2003'te sonbaharda düşük bulunan elektriksel iletkenlik, 2008-2009'da yüksek bulunmuştur. Kış aylarında ve Kasım Ayı'nda yüksek bulunan elektriksel iletkenliğin yağışlardan etkilendiği ve sıcaklıkların düşmeye başlamasıyla fotosentez hızının ve çözünmüş iyonların kullanımının azalmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. İstasyon ortalamaları karşılaştırıldığında en yüksek ve en düşük değerler 2002-2003 yılında olduğu gibi 2. ve 5. istasyonlarda bulunmuştur. 5. istasyon, 2008-2009 yılı ölçüm istasyonları ile karşılaştırıldığında 8. istasyona karşılık gelmektedir. Bu istasyonun alg populasyonunun en yoğun olduğu bölge olması nedeniyle, çözünmüş iyonlar algler tarafından kullanılmaktadır. Bu nedenle elektriksel iletkenlik düşük bulunmaktadır. 2. istasyon da 2008-2009 yılı ölçüm istasyonları ile karşılaştırıldığında 4. istasyona karşılık gelmektedir. Bu istasyonun MKP Çayı'nın göle giriş yaptığı bölgede bulunması nedeniyle, çözünmüş iyonlar göle giriş yapmaktadır. Bu nedenle elektriksel iletkenlik yüksek bulunmaktadır. En yüksek ve en düşük değerler sırasıyla 572,58 ve 532,16 $\mu\text{s/cm}$ dir.

Sıcaklık parametresinin yıllık ortalamaları karşılaştırıldığında, 2002-2003 ve 2008-2009 değerleri 16,77 ve 19,55 $^{\circ}\text{C}$ olarak bulunmuştur ve sıcaklık artışının

meydana geldiği görülmüştür. Yıllar arasında meydana gelen bu değişimin önemli olduğu belirlenmiştir. Bu sıcaklık artışının göldeki kirleticilerin artmasında önemli rol oynadığını göstermektedir. 2002-2003 yılı ölçümleri incelendiğinde, istasyonlara göre meydana gelen değişim önemsiz, aylara göre meydana gelen değişim önemli bulunmuştur. Aylık ortalamalara göre en yüksek ve en düşük değerler Temmuz ve Ocak Ayları'nda 27,510 ve 6,840⁰C olarak bulunmuştur. 2008-2009 yılı ölçümleri değerlendirildiğinde sıcaklığın istasyonlara ve aylara göre değişimlerinin önemli olduğu belirlenmiştir. En yüksek ve en düşük sıcaklıklar 3. (5.) ve 1. (2.) istasyonlarda 19,20 ve 16,92 ⁰C olarak belirlenmiştir. Her iki yılda da gölün doğu kısmı batıya nazaran daha sıcak bulunmuştur. Bunun nedeni olarak batı kısmının biraz daha rüzgar almasının ya da doğu kısmının daha fazla güneş almasının ya da gölün doğu kısmında numune alma zamanının daha geç olması nedeniyle bu bölgedeki su sıcaklığı daha yüksek ölçülmesinin olduğu düşünülmüştür. Aylık ortalamalar değerlendirildiğinde, en yüksek ve en düşük değerler Ağustos (27,06 ⁰C) ve Aralık (4,76 ⁰C)Ayları'nda belirlenmiştir. 2002-2003 yılında incelenen aylara göre değerlendirildiğinde maksimum sıcaklık Eylül (26,16 ⁰C) Ayı'nda minimum sıcaklık Ocak (10 ⁰C) Ayı'nda belirlenmiştir. İki yıllık ölçümlere göre, Uluabat Gölü'nün sıcaklık değerlerinin en yüksek yaz aylarında ve sonbahar başlangıcında en düşük te kış aylarında bulunduğu görülmüştür.

Çözünmüş oksijenin yıllık ortalaması 2002-2003 yılında 7,751, 2008-2009 yılında 8,174 mg/l olarak belirlenmiştir ve artış gösterdiği belirlenmiştir. Yıllık ortalamalar arasındaki farkın önemli olmadığı belirlenmiştir. 2002-2003 yılında konsantrasyonların istasyonlar arasındaki farklılığı önemsiz, aylar arasındaki farklılığı önemli bulunmuştur. Konsantrasyonların en yüksek ve en düşük değerleri Mart ve Eylül Ayları'nda 10,477 ve 4,95 mg/l olarak bulunmuştur. 2008-2009 yılı verilerine göre, istasyonlar arasındaki farklılıklar önemsiz bulunmuştur. En yüksek ve en düşük konsantrasyonlar 2. (8,411 mg/l) ve 4. (7,852 mg/l) istasyonlarda belirlenmiştir. 2. istasyon 2008-2009 yılı ölçüm istasyonlarına göre 4. istasyona karşılık gelmektedir. Bu istasyonun gölün MKP Çayı'nın girişine yakın bölgede olduğu bilinmektedir. Bu nedenle yüksek debiye sahip sürekli su girişi oksijen miktarını arttırmıştır. Aylık konsantrasyonlar arasındaki farklılıklar da önemli bulunmuştur. En yüksek ve en düşük konsantrasyonlar Mart ve Temmuz Ayları'nda 11,537 mg/l ve 5,06 mg/l olarak belirlenmiştir. 2002-2003 yılında incelenen aylara göre en düşük konsantrasyon Mayıs

Ayı'nda 8,11 mg/l bulunmuştur. Uluabat Gölü'nde çözülmüş oksijen konsantrasyonlarının Mart Ayı'nda en yüksek seviyede, sonbahar ve yaz aylarında en düşük seviyede olduğu belirlenmiştir. Her iki yılda da aylık değişimler önemli, istasyonlar arasındaki farklılıklar önemsiz bulunmuştur. İki yıl arasındaki ortalama değerlerin farklılığı önemsiz bulunmuştur. Ancak çözülmüş oksijenin bir miktar artış gösterdiği belirlenmiştir. Sığ göllerde, çözülmüş oksijenin hava ve su sıcaklığından, rüzgar karışımından ve fotosentetik aktivitelerden, su ve sedimentte gerçekleşen oksidasyon proseslerinden etkilendiği bilinmektedir. Kış aylarındaki düşük hava sıcaklıkları sudaki sıcaklığın düşmesine ve bundan dolayı da suda yaşayan zooplankton ve aerobik bakterilerin aktivitelerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu da sudaki oksijenin tüketim hızını azaltmaktadır. Ayrıca su sıcaklığının artması çözülmüş oksijenin sudaki çözünürlüğünü azaltmaktadır. Bu faktörlerin dışında kirletici kaynaklar ile göle giren organik maddenin oksitlenmesi sırasında da oksijen tüketilmektedir (Sayes 2007). Çözülmüş oksijenin göllerin yüzeyden itibaren 2-3ft veya 5-6 ft derinliklerde % 120 doygunluğa eriştiği, hatta aştığı görülmüştür. Bu duruma süper saturation denilmektedir. (Ramsey 1960). Rüzgarla meydana gelen akıntılar nedeniyle oksijen seviyesinde artma meydana gelmektedir. Bu nedenle % 20-200 arasında doygunlukta çözülmüş oksijen konsantrasyonlarına rastlanmıştır (Dvai ve Moldovan 1983) Mart Ayı'nda çözülmüş oksijen konsantrasyonunda meydana gelen aşırı artış, bu ayda su sıcaklıklarının çok yüksek olmaması ancak alg populasyonunun yüksek olması nedeniyle artan fotosentez hızı, su seviyesinin en yüksek seviyede olması, dolayısıyla kirletici konsantrasyonlarının düşük olması ve Uluabat Gölü'nün sığ göl olması nedeniyle rüzgarın yarattığı karışım sırasında oksijenin artışından kaynaklanmıştır.

$\text{NH}_4\text{-N}$ parametresinin iki yıllık ölçümleri değerlendirildiğinde, 2002-2003 yılında 0,2984 mg/l bulunan konsantrasyonun, 2008-2009 yılında 0,1516 mg/l'ye düştüğü belirlenmiştir. 2002-2003 yılı ölçümlerine göre $\text{NH}_4\text{-N}$ 'in istasyonlar arasındaki farklılığı önemsiz, aylar arasındaki farklılığı önemli bulunmuştur. En yüksek konsantrasyonlar Temmuz Ayı'nda 0,98 mg/l olarak, en düşük konsantrasyonlar ise 0 mg/l ile Eylül ve Kasım Ayları'nda belirlenmişlerdir. 2008-2009 yılı ölçümlerine göre $\text{NH}_4\text{-N}$ 'in istasyonlar arasındaki farklılığı 2002-2003 yılına benzer olarak önemsiz bulunmuştur. Aylık ortalamalar dikkate alındığında, aralarındaki farklılığın önemli olduğu belirlenmiştir. Temmuz Ayı'ndaki konsantrasyonlar en yüksek seviyede

(1,09 mg/l), Eylül, Ekim, Kasım, Nisan ve Mayıs Ayları'nda konsantrasyonlar 0 mg/l olarak bulunmuştur. Belirlenen sonuçlar 2002-2003 yılı ile benzer bulunmuştur.

NO₃-N iyonunun konsantrasyonlarının iki yıl için analizleri yapıldığında, ortalama değerlerin 2002-2003 yılında, 0,2708 mg/l, 2008-2009 yılında 0,1166 mg/l olarak belirlenmiştir ve konsantrasyonun düşmüş olduğu belirlenmiştir. Yıllar içinde meydana gelen bu azalma önemli bulunmuştur. NO₃-N iyonunun 2002-2003 yılına ait konsantrasyonları analiz edildiğinde, istasyonlar arasındaki değişim önemsiz bulunmuştur. Aylık ortalama değerler incelendiğinde, en yüksek konsantrasyon Temmuz Ayı'nda, en düşük konsantrasyon Eylül ve Kasım Ayları'nda 0 mg/l olarak belirlenmiştir. Aylık konsantrasyonların bu farklılıkları önemli bulunmuştur. 2008-2009 yılına göre NO₃-N iyonunun istasyonlara göre değişimleri 2002-2003'teki gibi önemsiz, aylara göre değişimi önemli bulunmuştur. Aylık ortalama değerler arasındaki farklılıklar incelendiğinde en yüksek değer Ağustos Ayı'nda 1,181 mg/l, en düşük değerler de Eylül, Ekim, Kasım, Mart, Nisan, Mayıs Ayları'nda 0 mg/l olarak bulunmuştur. 2002-2003 yılında incelenen aylara göre incelendiğinde Temmuz Ayı 0,306 mg/l ile en yüksek konsantrasyonda bulunmuştur. Aylık değişimler 2002-2003 yılına ve NH₄-N konsantrasyonlarına benzer bulunmuştur.

TN konsantrasyonlarının iki yıllık ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, ortalamalar, 2002-2003 yılında, 5,847, 2008-2009 yılında 7,358 mg/l bulunmuştur. Yıllar boyunca konsantrasyonların artışı görülmüştür. Konsantrasyonlardaki bu artış önemli bulunmuştur. 2002-2003 yılında istasyonlar arasındaki farklılık önemsiz bulunurken, aylık konsantrasyonların değişimleri önemli bulunmuştur. Aylık değişimler incelendiğinde, en yüksek değer Temmuz Ayı'nda 15,582, en düşük değer de Mart Ayı'nda 0,8708 mg/l olarak değerlendirilmişlerdir. 2008-2009 yılı ölçümleri değerlendirildiğinde TN konsantrasyonlarının istasyonlar ve aylar arasındaki farklılıkları önemli bulunmuştur. Konsantrasyonların en yüksek ve en düşük bulunduğu istasyonlar 5. (8.) ve 3. (5.) istasyonlardır. Yapılan çalışmada gölün iki ucunun (8. ve 1. istasyonlar) diğer istasyonlara göre daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu bulunmuştur. Bu nedenle 2008-2009 yılı ölçümleri birbirine benzer bulunmuştur. Aylık değişimler incelendiğinde, 2002-2003 yılında incelenen aylar 2008-2009 yılı ölçümleri için dikkate alındığında en yüksek ve en düşük konsantrasyonlar Temmuz ve Ocak Ayları'nda 17,28 ve 4,156 mg/l olarak belirlenmiştir. 12 aylık ölçümler

değerlendirildiğinde en yüksek konsantrasyon Haziranda, en düşük değer de Nisan'da 23,23 ve 3,893 mg/l olarak belirlenmiştir. İki yıldaki sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, TN konsantrasyonlarının kurak dönem olan yaz aylarında yükseldiği, yağış alan kış ve ilkbahar aylarında seyrelmelerden dolayı düştüğü görülmüştür.

PO₄-P iyonlarının konsantrasyonlarının 2002-2003 yılı ortalaması 0,05852 mg/l ve 2008-2009 yılı ortalaması 0,12616 mg/l bulunmuş olup artış gösterdiği belirlenmiştir. Bu artış önemli bulunmuştur. PO₄-P konsantrasyonlarının 2002-2003 yılı ölçümleri değerlendirildiğinde, istasyonlar arasındaki farklılığın önemli olmadığı belirlenmiştir. Aylık konsantrasyonlar arasındaki farklılığın ise önemli olduğu, en yüksek ve en düşük değerlerin Temmuz ve Kasım Ayları'nda 0,14 ve 0,0174 mg/l olduğu belirlenmiştir. 2008-2009 yılı ölçümlerine göre PO₄-P konsantrasyonlarının istasyonlar arasındaki farklılıkları önemli bulunmuştur. En yüksek ve en düşük konsantrasyonlar 4. (6.) ve 5. (8.) istasyonlarda 0,141 ve 0,082 mg/l olarak bulunmuştur. 2002-2003 yılında da 5. istasyondaki konsantrasyonlar en düşük seviyede bulunmuştur. Bu istasyonda alg popülasyonu yüksek bulunmuştur. 2008-2009 yılı aylık değişimleri önemli bulunmuş olup 2002-2003 yılında incelenen aylara göre değerlendirme yapıldığında en yüksek ve en düşük konsantrasyonlar Eylül ve Ocak Ayları'nda 0,330 ve 0,030 mg/l olarak belirlenmiştir. 12 aylık ölçümlere göre en yüksek ve en düşük değerler Ekim ve Şubat Ayı'nda 0,366 ve 0,029 mg/l olarak belirlenmişlerdir. Uluabat Gölü'nde PO₄-P konsantrasyonlarının yaz aylarında ve sonbaharın yağışlı olmadığı dönemlerinde yükseldiği, yağışların arttığı kış aylarında ve sonbaharın yağışlı aylarında azaldığı belirlenmiştir.

TP konsantrasyonlarının yıllık ortalamaları arasındaki farklılığın önemli olmadığı belirlenmiştir. 2002-2003 yılı ortalaması 0,18103 mg/l ve 2008-2009 yılı ortalaması 0,17227 mg/l olarak belirlenmiş olup çok az bir düşüş gözlenmiştir. 2002-2003 yılı verilerine göre TP değerlendirildiğinde, istasyonlara göre meydana gelen değişim önemsiz bulunmuştur. Aylık ortalamalara göre en yüksek konsantrasyon Temmuz Ayı'nda 0,3080 mg/l, en düşük konsantrasyon Mart Ayı'nda 0,0488 mg/l olarak belirlenmiştir. Aylık konsantrasyon değişimleri önemli bulunmuştur. 2008-2009 yılı ölçümleri değerlendirildiğinde istasyonlara göre meydana gelen değişim önemli bulunmuştur. En yüksek ve en düşük konsantrasyonlar 4. (6.) ve 5. (8.) istasyonlarda

0,190 ve 0,138 mg/l olarak belirlenmiştir. İstasyonlara göre değişim bakımından 2002-2003 yılı ile benzerlik göstermemektedir. 8 ölçüm istasyonu birlikte değerlendirildiğinde, konsantrasyonlar en yüksek 3. (0,192 mg/l), en düşük 8. istasyonlarda belirlenmiştir. PO₄-P konsantrasyonlarının da en düşük 5. (8.) istasyonda görüldüğü belirlenmiştir. Konsantrasyonların aylık ortalamaları arasındaki farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. 2002-2003 yılında incelenen aylar göz önüne alındığında en yüksek ve en düşük konsantrasyonlar Eylül ve Ocak Ayları'nda 0,423 ve 0,080 mg/l olarak belirlenmiştir. 12 aylık değerler birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek ve en düşük değerler Ağustos Ayı'nda 0,480 mg/l ve Şubat Ayı'nda 0,076 mg/l bulunmuştur. Uluabat Gölü'nde TP konsantrasyonlarının aylık değişimleri 2002-2003 yılı ile benzerlik göstermektedir. Yaz aylarında ve sonbahar başlarında (Kurak dönem) konsantrasyonların arttığı, kış aylarında ve ilkbahar başlangıcında azaldığı belirlenmiştir.

Klorofil-a konsantrasyonlarının 2002-2003 yılı ortalaması 14,422 µg/l ve 2008-2009 yılı ortalaması 18,706 µg/l bulunmuştur. Yıllar içinde klorofil-a konsantrasyonlarının artış gösterdiği belirlenmiştir. Ancak bu artışın istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir. Klorofil-a konsantrasyonlarının 2002-2003 yılı dağılımları incelendiğinde gölün en doğusu olan 5. istasyonda maksimum (28,116 µg/l) ve en batısındaki konsantrasyonların ise (8,89 µg/l) minimum değerde olduğu belirlenmiştir. İstasyonlar arasındaki bu farklılık önemli bulunmuştur. Aylık konsantrasyonlara göre de Havalanın oldukça sıcak devam ettiği, Eylül Ayı'nda maksimum (29,910 µg/l), Mayıs Ayı'nda da minimum değerde bulunmuştur. Kasım Ayı'ndaki konsantrasyon da (8,504 µg/l) diğer aylara nazaran düşük bulunmuştur. 2008-2009 yılı ölçümleri değerlendirildiğinde, 2002-2003 yılı ölçümlerine benzer olarak istasyonlar ve aylar arasındaki farklılıkların klorofil-a konsantrasyonları bakımından önemli olduğu belirlenmiştir. İstasyonlar arasında en yüksek ve en düşük konsantrasyonlar 5. (8.) ve 2. (4.) istasyonlarda 34,856 ve 10,409 µg/l olarak belirlenmiştir. İstasyonlar arasındaki bu farklılıklar 2002-2003'e benzemektedir. Aylık değişimler incelendiğinde, en yüksek ve en düşük konsantrasyonlar 2002-2003'te incelenen aylara göre değerlendirildiğinde Temmuz ve Ocak Ayları'nda sırasıyla 39,662 ve 8,059 µg/l olarak belirlenmiştir. 12 aylık ölçümler değerlendirildiğinde, Haziran ve Aralık Ayları'nda 43,875 ve 6,804 µg/l olarak belirlenmiştir. 2002-2003 yılı ile aylık

ortalamalar bakımından farklılıklar bulunmakla birlikte Uluabat Gölü'nün klo-a konsantrasyonlarının yaz aylarında ve sonbahar başında arttığı kış aylarında, sonbahar ve ilkbahar sonlarında azaldığı belirlenmiştir. Karşılaştırma yapılan 2002-2003 yılı su kalitesi parametrelerinin istasyonlara göre ortalama değerleri çizelge 4.3.2.'de, aylara göre ortalama değerleri çizelge 4.3.3.'te gösterilmiştir. Su kalitesi parametrelerinin aylık konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi şekil 4.3.1'de gösterilmiştir.

Yıllık ortalamalar OECD'nin trofik seviyenin belirlenmesi amacıyla hazırladığı standartlar tablosu ile karşılaştırıldığında, her iki yılda da gölün trofik seviyesinin ötrofik seviyeyi aşmış olduğu ve 2008-2009 yılında göldeki konsantrasyonların artması nedeniyle ötrofikasyonun daha da arttığı belirlenmiştir (Anonim 2000 a).

Çizelge 4.3.2. 2002-2003 yılı su kalitesi parametrelerinin istasyonlara göre ortalama değerleri

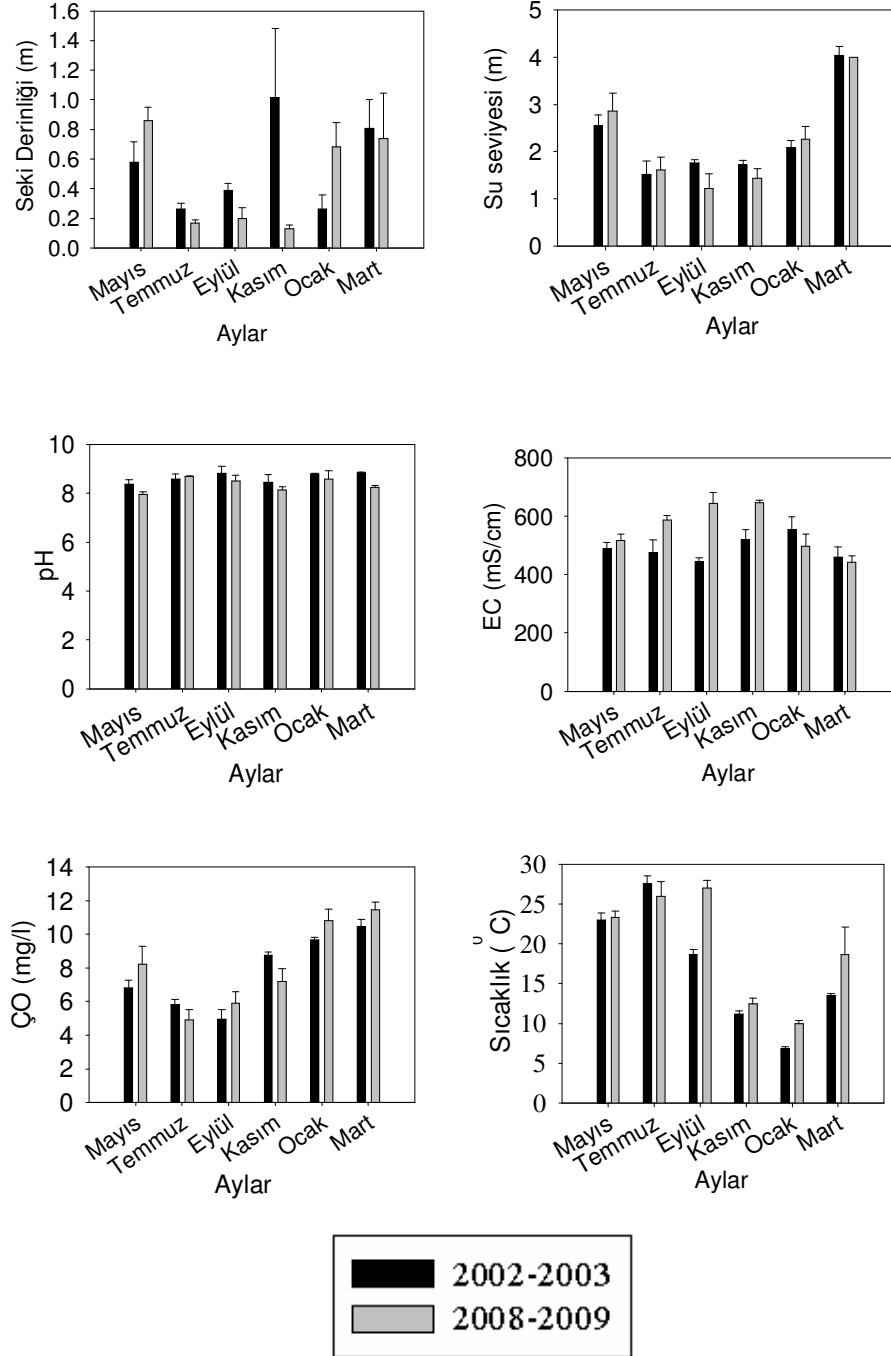
| Parametre | İstasyon no | | | | |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| SD (m) | 0,5483±0,414 | 0,69±0,553 | 0,475±0,213 | 0,4433±0,194 | 0,6067±0,298 |
| Su Seviyesi (m) | 2,253±0,998 | 2,238±1,074 | 2,438±0,897 | 2,185±0,879 | 2,278±0,86 |
| pH | 8,599±0,217 | 8,498±0,283 | 8,605±0,255 | 8,652±0,229 | 8,835±0,303 |
| EC (µs/cm) | 489,1±32,493 | 511,3±57,647 | 493,5±56,122 | 491,2±40,597 | 469,5±59,587 |
| Sıcaklık (°C) | 16,6±7,095 | 16,758±7,859 | 16,742±7,643 | 16,692±8,052 | 17,067±8,049 |
| ÇO (mg/l) | 7,583±2,396 | 7,798±2,511 | 7,775±2,117 | 7,842±2,122 | 7,758±2,0003 |
| NH ₄ -N (mg/l) | 0,6346±0,903 | 0,2426±0,225 | 0,2466±0,312 | 0,21±0,449 | 0,1583±0,225 |
| NO ₃ -N (mg/l) | 0,5413±0,582 | 0,261±0,212 | 0,1913±0,168 | 0,2153±0,219 | 0,145±0,238 |
| TN (mg/l) | 7,8797±9,559 | 5,2743±3,65 | 4,8697±3,957 | 5,667±4,626 | 5,5467±4,412 |
| PO ₄ -P (mg/l) | 0,06317±0,055 | 0,05567±0,029 | 0,05733±0,063 | 0,06233±0,063 | 0,0541±0,051 |
| TP (mg/l) | 0,2475±0,198 | 0,16283±0,081 | 0,16867±0,105 | 0,163±0,114 | 0,16317±0,102 |
| Klo-a (µg/l) | 8,89±5,251 | 9,615±5,679 | 10,025±5,282 | 15,464±7,694 | 28,116±19,685 |

Uluabat Gölü Su Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Analizi. Yüksel Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa. 126 s. (Akdeniz 2005)

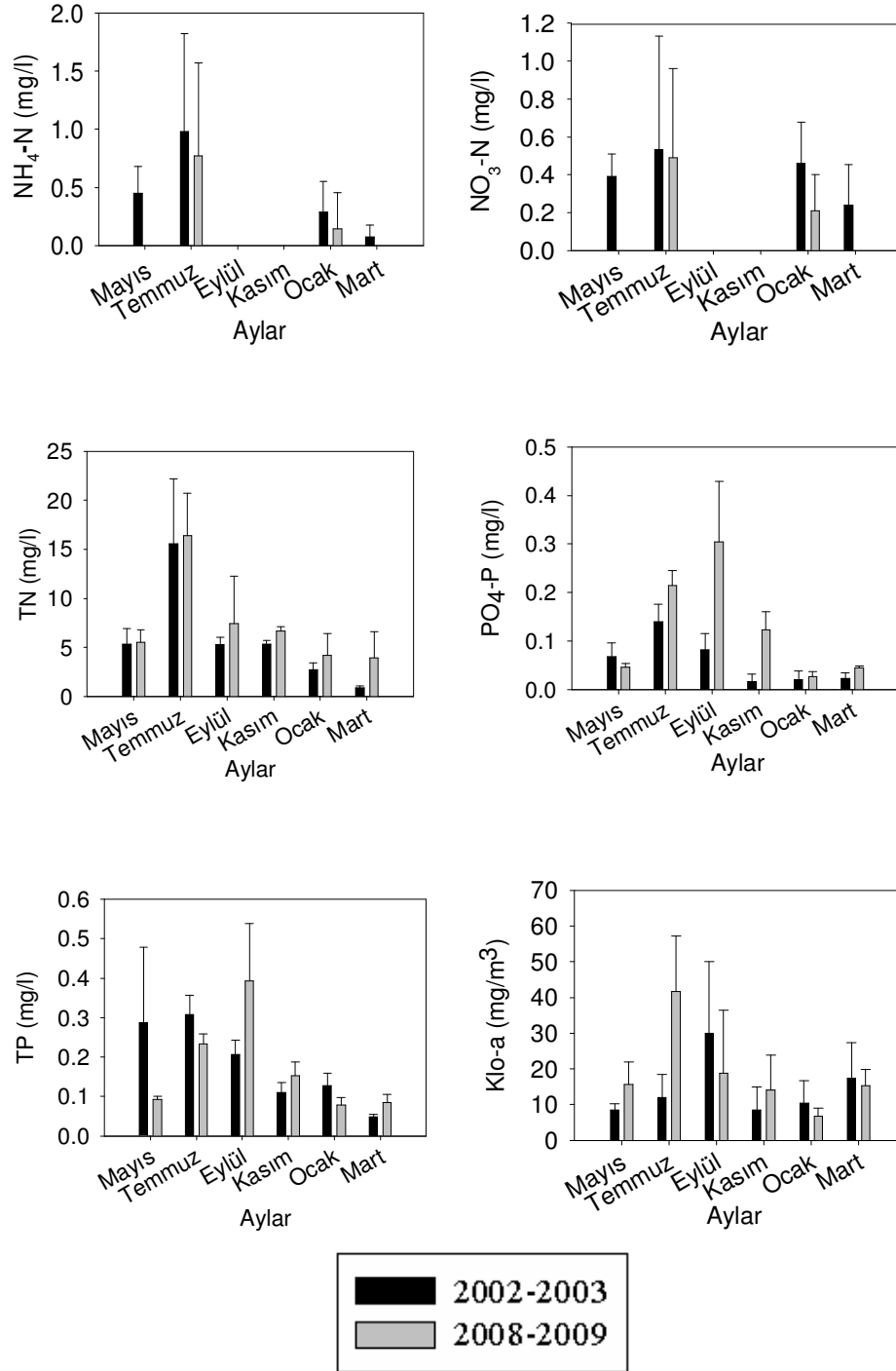
Çizelge 4.3.3. 2002-2003 yılı su kalitesi parametrelerinin aylık ortalama ve standart değerleri

| Parametre | Aylar | | | | | |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| | Mayıs | Temmuz | Eylül | Kasım | Ocak | Mart |
| SD (m) | 0,58±0,135 | 0,264±0,036 | 0,39±0,044 | 1,012±0,466 | 0,264±0,095 | 0,806±0,195 |
| Su Seviyesi (m) | 2,542±0,234 | 1,516±0,286 | 1,766±0,065 | 1,72±0,1009 | 2,092±0,139 | 4,036±0,186 |
| pH | 8,361±0,185 | 8,579±0,201 | 8,823±0,278 | 8,449±0,312 | 8,781±0,041 | 8,834±0,028 |
| EC (µs/cm) | 488,3±22,786 | 476,2±43,805 | 446,1±10,755 | 520,1±35,295 | 555,3±42,739 | 459,5±36,631 |
| Sıcaklık (°C) | 22,99±0,887 | 27,51±0,965 | 18,64±0,653 | 11,16±0,414 | 6,84±0,2162 | 13,49±0,274 |
| ÇO (mg/l) | 6,83±0,4309 | 5,84±0,3008 | 4,95±0,5645 | 8,75±0,1936 | 9,66±0,1474 | 10,477±0,421 |
| NH ₄ -N (mg/l) | 0,448±0,23 | 0,98±0,845 | 0±0 | 0±0 | 0,29±0,258 | 0,0728±0,1001 |
| NO ₃ -N (mg/l) | 0,392±0,117 | 0,532±0,597 | 0±0 | 0±0 | 0,46±0,216 | 0,2408±0,211 |
| TN (mg/l) | 5,362±1,559 | 15,582±6,57 | 5,25±0,8208 | 5,32±0,3834 | 2,7±0,71074 | 0,8708±0,216 |
| PO ₄ -P (mg/l) | 0,068±0,028 | 0,14±0,0358 | 0,082±0,033 | 0,0174±0,014 | 0,02092±0,017 | 0,0228±0,0114 |
| TP (mg/l) | 0,2864±0,192 | 0,308±0,0485 | 0,2054±0,036 | 0,11±0,02607 | 0,1276±0,031 | 0,0488±0,0053 |
| Klo-a (µg/l) | 8,418±1,883 | 11,92±6,540 | 29,91±20,193 | 8,504±6,502 | 10,451±6,248 | 17,331±9,914 |

Uluabat Gölü Su Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Analizi. Yüksel Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa. 126 s. (Akdeniz 2005).



Şekil 4.3.1. Su kalitesi parametrelerinin aylık konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi



Şekil 4.3.1. (Devam) Su kalitesi parametrelerinin aylık konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi

4. 3. 2. Uluabat Gölü Sediment Kalitesi'nin 2002-2003 ve 2008-2009 Yılları Arasında Değişimi

Uluabat Gölü'nde sedimentte incelenen $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TN, $\text{PO}_4\text{-P}$ ve TP parametrelerinin 2002-2003 yılındaki konsantrasyonları ile 2008-2009 yılında incelenen konsantrasyonları su kalitesi parametrelerine benzer olarak karşılaştırılarak, yıllar içinde meydana gelen değişimin önemli olup olmadığı değerlendirilmiştir. Ayrıca parametrelerin konsantrasyonlarının istasyonlar ve aylar arasındaki farklılıkları değerlendirilerek, kirliliğin nerede ve hangi tarihlerde artış ya da azalış gösterdiği belirlenmiştir. İstasyonlar arasında karşılaştırma yapılırken, 2002-2003 yılında incelenen 5 istasyon ile aynı noktalarda bulunan 2008-2009 yılı ölçüm istasyonlarındaki değerler karşılaştırılmıştır. Sediment kalitesi parametrelerinin 2002-2003 ve 2008-2009 yılları arasındaki değişimini gösteren ANOVA tablosu çizelge 4. 3. 4.'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3.4. Sediment kalitesi parametrelerinin 2002-2003 ve 2008-2009 yılları arasındaki değişimini gösteren ANOVA tablosu

| Parametre | 2002-2003 | | 2008-2009 | | Yıl |
|------------------------|-----------|----------|-----------|--------|----------|
| | İstasyon | Ay | İstasyon | Ay | |
| $\text{NH}_4\text{-N}$ | P= 0,125 | P= 0 | P= 0,072 | P= 0 | P= 0 |
| | Önemsiz | Önemli | Önemsiz | Önemli | Önemli |
| $\text{NO}_3\text{-N}$ | P= 0,023 | P= 0,004 | P= 0,42 | P= 0 | P= 0,621 |
| | Önemli | Önemli | Önemsiz | Önemli | Önemsiz |
| TN | P= 0,043 | P= 0,038 | P= 0 | P= 0 | P= 0 |
| | Önemli | Önemli | Önemli | Önemli | Önemli |
| $\text{PO}_4\text{-P}$ | P= 0,243 | P= 0 | P= 0,034 | P= 0 | P= 0 |
| | Önemsiz | Önemli | Önemli | Önemli | Önemli |
| TP | P= 0,151 | P= 0,001 | P= 0 | P= 0 | P= 0 |
| | Önemsiz | Önemli | Önemli | Önemli | Önemli |

TN, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ ve TP parametrelerinin yıllık ortalama değerleri arasındaki farklılığın önemli, $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonları arasındaki farklılığın ise önemli olmadığı belirlenmiştir. $\text{PO}_4\text{-P}$ ve TP konsantrasyonlarının arttığı, TN ve $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonlarının ise azaldığı görülmüştür. $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarının değişimi önemsiz olmak ile beraber azda olsa artmış olduğu belirlenmiştir. Yapılan karşılaştırmalar aynı istasyonlarda ölçülen değerler kullanılarak yapılmıştır. 2002-2003 yılında ölçülen sediment kalitesi parametrelerinin istasyonlara (çizelge 4.3.5.) ve aylara (çizelge 4.3.6.) göre ortalama ve standart sapma değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.3.5. 2002-2003 yılı sediment kalitesi parametreleri istasyonlara göre ortalama ve standart sapma değerleri

| Parametre | İstasyon no | | | | |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| NH ₄ -N (mg/kg) | 37,33±15,22 | 36,63±14,58 | 38,5±14,18 | 37,57±14,69 | 45,5±15,91 |
| NO ₃ -N (mg/kg) | 10,27±3,15 | 7,7±1,71 | 8,17±1,63 | 8,17±2,06 | 7,23±0,57 |
| TN (mg/kg) | 5926,67±819 | 6393,33±1835 | 5366,67±1454 | 6206,67±1517 | 7840±1814 |
| PO ₄ -P (mg/kg) | 22,61±4,23 | 21,11±8,19 | 22,4±4,17 | 20,93±5,53 | 25,41±6,88 |
| TP (mg/kg) | 327,16±58,01 | 304,73±93,41 | 314,6±61,79 | 307,83±82,96 | 380,04±100,29 |

Uluabat Gölü Su Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Analizi. Yüksel Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa. 126 s. (Akdeniz 2005)

Çizelge 4.3.6. 2002-2003 yılı sediment kalitesi parametreleri aylık ortalama ve standart sapma değerleri

| Aylar | NH ₄ -N (mg/kg) | NO ₃ -N (mg/kg) | TN (mg/kg) | PO ₄ -P (mg/kg) | TP (mg/kg) |
|--------|----------------------------|----------------------------|--------------|----------------------------|----------------|
| Mayıs | 54,32±9,46 | 7,56±1,59 | 5152±319,24 | 29,538±2,96 | 367,394±26,28 |
| Temmuz | 21,56±1,59 | 8,68±1,82 | 5992±1322,24 | 21,696±7,41 | 352,598±113,95 |
| Eylül | 40,88±2,31 | 8,68±1,17 | 7952±1021,13 | 14,37±2,64 | 256,622±47,41 |
| Kasım | 55,16±7,44 | 10,36±2,91 | 5712±1351,56 | 21,534±2,05 | 234,32±19,21 |
| Ocak | 26,88±6,52 | 5,88±0,62 | 6272±2314,02 | 22,004±1,37 | 363,866±19,76 |
| Mart | 35,84±8,77 | 8,68±1,82 | 7000±1867,83 | 25,802±2,74 | 386,438±64,99 |

Uluabat Gölü Su Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Analizi. Yüksel Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa. 126 s. (Akdeniz 2005)

NH₄-N'in 2002-2003 yılındaki ortalama konsantrasyonu 30,11 mg/kg'dan 22,63 mg/kg'a düşmüştür. 2002-2003 yılında istasyonlar arasındaki farklılığı önemsiz bulunurken, aylık ortalama değerlerin farklılığı önemli bulunmuştur. 2002-2003 yılında aylık ortalama konsantrasyonlar arasında en yüksek ve en düşük değerler Kasım ve Temmuz Ayları'nda 55,16 ve 21,56 mg/kg olarak belirlenmiştir. 2008-2009 yılı ölçümlerine göre yapılan değerlendirmeler neticesinde de istasyonlar arasındaki ortalama değer farklılıkları önemsiz, aylık ortalamalar arasındaki farklılıkları önemli

bulunmuştur. Aylık ortalamalara göre en yüksek konsantrasyon Ağustos Ayı'nda 87,5 mg/kg, en düşük değer de Şubat Ayı'nda 3,5 mg/kg bulunmuştur. 2008-2009 yılı ölçümlerinin 2002-2003 yılında yapılan araştırmada incelenen aylardaki konsantrasyonları dikkate alındığında en yüksek ve en düşük değerler Temmuz ve Mart Ayları'nda 44,8 ve 4,2 mg/kg olarak belirlenmiştir. 2002-2003 yılında yağışlı dönemde yüksek bulunan konsantrasyonlar 2008-2009 yılında yaz döneminde yüksek bulunmuştur. Bu durum 2002-2003 yılında göle giren $\text{NH}_4\text{-N}$ 'in daha çok tarımsal kaynaklı olabileceğini ve yağışlar ile meydana gelen yüzeysel akışlar ile göle karıştığını düşündürmüştür. 2008-2009 yılında yaz aylarındaki artış ise suda meydana gelen konsantrasyon artışı ve su seviyesinin düşüşü neticesinde sudan sedimente doğru çökelmelerin daha kolay olmasından dolayı olduğu düşünülmüştür. Daha net bulguları söylenebilmesi için 12 aylık ölçümlerin yorumlanması ile mümkün olduğu düşünülmüştür. Yıllık ortalamalardaki bu düşüşün tarımdaki uygulamalarda azotlu gübre kullanımının azalması ile meydana geldiği düşünülmüştür.

TN konsantrasyonları değerlendirildiğinde, 2002-2003 yılındaki ortalama konsantrasyonu 6347 mg/kg dan 2008-2009 yılında 4316 mg/kg'a düşmüştür. 2002-2003 ve 2008-2009 yılında ölçülen konsantrasyon değerlerinin istasyonlar ve aylar arasındaki konsantrasyonlarının farklılıklarının önemli olduğu belirlenmiştir. 2002-2003 yılında istasyonlar arasındaki konsantrasyonlar değerlendirildiğinde en yüksek ve en düşük konsantrasyonlar 5. ve 3. istasyonlarda 7840 ve 5367 mg/kg olarak belirlenmiştir. 2008-2009 yılında istasyonlar arasında en yüksek ve en düşük konsantrasyonlar 8. ve 2. istasyonlarda 6218,3 ve 3817,3 mg/kg olarak bulunmuştur. 2008-2009 yılı ölçümlerinin 2002-2003 yılında yapılan araştırmada incelenen istasyonlardaki konsantrasyonları dikkate alındığında 8. istasyon 5. ye, 2. de 1. istasyona karşılık gelmektedir. Her iki yılda yapılan ölçümlerde de gölün en doğu kısmı olan 5. yani 8. istasyonun en yüksek konsantrasyonda olduğu belirlenmiştir. 2002-2003 yılında aylık ölçümler incelendiğinde en yüksek ve en düşük değerler Eylül ve Mayıs Ayları'nda 7952 ve 5152 mg/kg olarak belirlenmiştir. 2008-2009 yılı ölçümlerine göre Ağustos ve Şubat Ayları en yüksek ve en düşük konsantrasyonların belirlenmiş olduğu aylardır. Konsantrasyonlar sırasıyla 7087,5 ve 2817,5 mg/kg olarak belirlenmiştir. 2002-2003 yılında incelenen aylar 2008-2009 yılında dikkate alındığında Temmuz ve Ocak Ayları'nda 6667,5 ve 2922,5 mg/kg olarak bulunmuştur. Her iki yıldaki ölçümlerin

aylık değerleri incelendiğinde, en yüksek konsantrasyonların yaz aylarında, en düşük konsantrasyonların da kış aylarında olduğu görülmüştür. Konsantrasyonların düşmesinin yanı sıra istasyonlar arasındaki farklılıkların görülmemesi, tarımdan kaynaklanan ve belirli bir bölgeden giriş yapmayan yayılı yüklerin azaldığını düşündürmüştür.

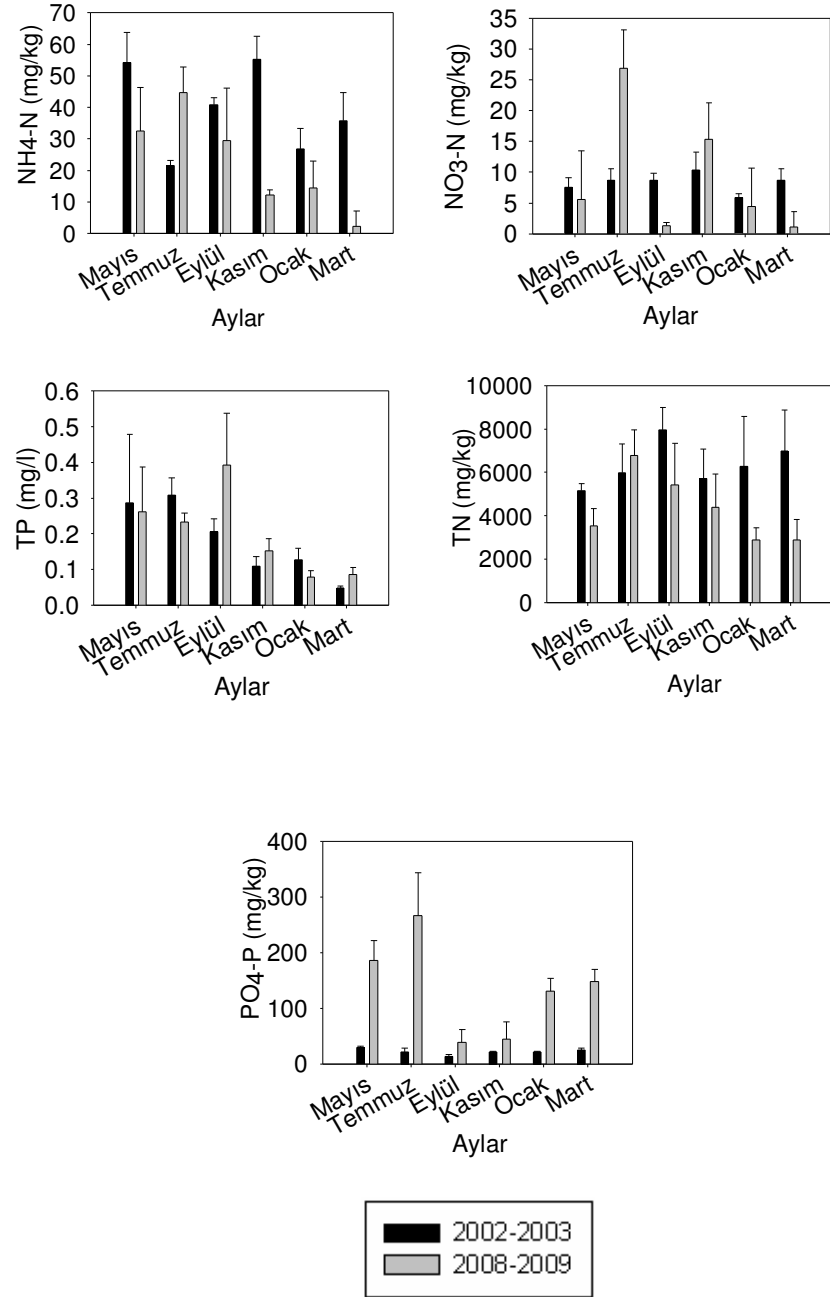
NO₃-N konsantrasyonları değerlendirildiğinde, NO₃-N konsantrasyonlarının değişimi önemsiz olmak ile beraber azda olsa artmış olduğu belirlenmiştir. 8,307 mg/kg değerinden 9,115 mg/kg'a yükselmiştir. 2002-2003 yılı ölümlerine göre istasyonlar ve aylar arasındaki farklılıklar önemli bulunmuştur. En yüksek ve en düşük konsantrasyonların bulunduğu bölgeler, 1. ve 5. istasyonlardır ve 10,267 ve 7,223 mg/kg olarak belirlenmiştir. 2008-2009 yılı ölümlerine göre istasyonlar arasındaki farklılık önemsiz bulunmuştur. 2002-2003 ve 2008-2009 yılında aylık ortalamalar arasındaki farklılıkların önemli olduğu görülmüştür. 2002-2003 yılında en yüksek ve en düşük konsantrasyonlar Kasım ve Ocak Ayları'nda 10,36 ve 5,88 mg/ kg bulunmuştur. 2008-2009 yılında en yüksek ve en düşük konsantrasyonlar Ağustos ve Mart, Nisan Ayları'nda 10,36 ve 0,7 (Mart ve Nisan) mg/kg olarak belirlenmiştir. 2002-2003 yılında yağışlı olan dönemlerde yüksek konsantrasyonların bulunması bu dönemde kirlilik yükünün tarımdan kaynaklandığını dşndrmştir. Konsantrasyonların yıllar içindeki artışıının önemli olmaması yeni bir kirletici yükünün NO₃-N parametresi bakımından olmadığını göstermiştir. 2008-2009 yılında istasyonlar arasında farklılığın olmaması NO₃-N'nin tarımsal kaynaklar ile göle geldiğini dşndrmştir. 2002-2003 yılında, 5. istasyonda meydana gelen konsantrasyon düşüşü, bu bölgenin daha ötrofik olması nedeni ile sedimentteki NO₃-N'in suya geçerek, alglerin kullanmış olabileceğini dşndrmştir.

PO₄-P konsantrasyonlarının yıllık ortalamalarına bakıldığında, konsantrasyonlarının artmış olduğu grlmştir. 2002-2003 yılında 22,49 mg/kg olan konsantrasyon 2008-2009 yılında 136,08 mg/kg'a yükselmiştir. Bu yükseliş istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. 2002-2003 yılındaki ölümlerin istasyonlar arasındaki farklılıkları önemsiz bulunurken, aylık konsantrasyonlar arasındaki farklılıkları önemli bulunmuştur. Aylık ortalamalara göre en yüksek ve en düşük konsantrasyonlar Mayıs ve Eylül Ayları'nda 29,54 ve 14,37 mg/kg olarak belirlenmiştir. 2008-2009 yılı ortalamaları incelendiğinde, istasyonlar ve aylar arasındaki farklılıklar önemli

bulunmuştur. Aylık ortalamalara göre, en yüksek ve en düşük konsantrasyonlar Temmuz ve Ekim Ayları'nda 282,8 ve 34,86 mg/kg olarak belirlenmiştir. 2002-2003 yılında incelenen aylar 2008-2009 yılı için dikkate alındığında en düşük konsantrasyon Eylül Ayı'nda 34,86 mg/kg olarak belirlenmiştir. PO₄-P konsantrasyonlarının Temmuz Ayı'ndan sonra birden düşüş yaptığı her iki yılda da görülmüştür. En düşük konsantrasyonlar Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım Aylarıdır. Bu aylarda su seviyesinin çok düşük olması ile birlikte alglerin üretkenliği en üst seviyeye çıkmaktadır. Sıcaklığın yüksek ve çözülmüş oksijenin düşük olmasıyla PO₄-P'nin sedimentten serbest bırakıldığı ve algler tarafından kullanıldığı bilinmektedir. Bu nedenle sedimentten suya geçen PO₄-P'yi tüketmektedirler. Bu nedenle de konsantrasyonların düşmüş olduğu düşünülmüştür. 2008-2009 yılında istasyonlar arasında en yüksek ve en düşük konsantrasyonlar 1. ve 5. istasyonlarda 164,97 ve 106,1 mg/kg olarak belirlenmiştir. 2002-2003 yılında incelenen istasyonların 2008-2009 yılı ölçümlerine göre karşılaştırmalarına göre en yüksek değer 8. istasyonda 162,27 mg/kg olarak belirlenmiştir. En yüksek ve en düşük konsantrasyonların belirlendiği 8. ve 5. istasyonlar 2002-2003 yılına göre 5. ve 3. istasyonlara karşılık gelmektedir. En yüksek değerlere gölün en doğusu ile en batısında rastlanmıştır. Batı ucunda gölün boşalımı ile zaman zaman ters akım meydana gelmekte ve ayrıca sulamadan dönen sular DSİ pompa istasyonları ile göle verilmektedir. Doğu ucunda ise yoğun miktarda organik kirlilik yükü getiren Akçalar deresi göle deşarj olmaktadır. Bu nedenle kirlilik artmaktadır.

TP konsantrasyonlarının 2002-2003 yılındaki konsantrasyonları 326,9 mg/kg iken 2008-2009 yılında 1133,5 mg/kg'a yükselmiştir. Bu yükselme istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. 2002-2003 yılında konsantrasyonların istasyonlar arasındaki farklılıkları önemsiz bulunurken, aylık ortalamaların farklılıkları önemli bulunmuştur. 2002-2003 yılı aylık ortalamalara göre en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla Mart ve Kasım Ayları'nda 386,4 ve 234,3 mg/kg bulunmuştur. 2008-2009 yılı ölçümleri değerlendirildiğinde, istasyonlar ve aylar arasındaki farklılıklar önemli bulunmuştur. Aylık ortalamalar değerlendirildiğinde, en yüksek ve en düşük değerler Nisan ve Haziran Ayları'nda 1822,4 ve 350,6 mg/kg olarak bulunmuştur. 2002-2003 yılında incelenen aylar göz önüne alınarak 2008-2009 yılı ölçümleri incelendiğinde, en yüksek ve en düşük değerler Ocak ve Temmuz Ayları'nda 1765,8 ve 356,6 mg/kg bulunmuştur. Her iki yılın sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, yağışlı dönemdeki

konsantrasyonların daha yüksek olduğu görülmektedir. Yağışlar sonucunda meydana gelen yüzeysel akışlarla kullanılan gübrelerin göle karıştığı tahmin edilmiştir. Ayrıca yaz aylarında meydana gelen sedimentten suya fosfor geçişi de TP konsantrasyonlarının azalmasına neden olabilmektedir. 2008-2009 yılı konsantrasyonlarının istasyonlar arasındaki farklılıkları önemli bulunmuştur. En yüksek ve en düşük konsantrasyonlar 8. ve 3. istasyonlarda 1496 ve 889,23 mg/kg olarak belirlenmiştir. Gölün en batısında bulunan ve çıkışına yakın olan 1. istasyondaki konsantrasyonların da yüksek olduğu belirlenmiştir. 2002-2003 yılında incelenen istasyonlara göre 2008-2009 ölçümleri değerlendirildiğinde, en düşük konsantrasyonun 2. istasyonda 889,9 mg/kg olduğu görülmektedir. Konsantrasyonların PO_4-P 'ye benzer olarak gölün iki ucunda yüksek olduğu görülmüştür. Sediment kalitesi parametrelerinin aylık ortalama konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi şekil 4.3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3.2.Sediment kalitesi parametrelerinin aylık ortalama konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi

4. 3. 3. Ulubat Gölü Su ve Sediment Kalitesinin Yıllara Göre Değişiminin Değerlendirilmesi

Su ve sedimentte incelenen parametrelerin değişimleri birlikte değerlendirildiğinde, $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonlarının su ve sedimentte azalmış olduğu görülmüştür. 2002-2003 yılında sedimentteki konsantrasyonlar yağışlı dönemde yüksek bulunurken, 2008-2009'da su ve sedimentte yaz aylarında yüksek bulunmuştur. Benzer değişimler $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarında da görülmüştür. Özellikle sedimentte 2002-2003 yılında yağışlı dönemde görülen yüksek konsantrasyonlar 2008-2009'da yaz aylarında görülmüştür. Özellikle iki yılda da sudaki $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarının, 2002-2003 yılında sedimentteki $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonlarının istasyonlar arasındaki farklılıklarının önemli olmaması $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ 'nin sadece bir noktadan değil yayılı olarak göle girdiğini düşündürmüştür. Yağış yüksekliğinin 2002-2003 yılında 759,3 mm iken, 2008-2009 yılında 699,25 mm'ye düşmesi yüzeysel akış ile göle giren suların azalmasına neden olduğunu da düşündürmektedir. Bu nedenle da yağışlı dönemdeki konsantrasyonların düşmüş olabileceği tahmin edilmiştir. 2008-2009 yılındaki yaz aylarında meydana gelen artış, bu mevsimde yağışların azalması ile su seviyesinin düşmesi ile seyrelmenin azalması ve yoğun olarak sulama yapılan bu dönemde sulamadan dönen suların göle karışmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Yaz aylarındaki yükseliş, TN parametresinde de görülmüştür. Sudaki TN konsantrasyonlarının istasyonlar arasındaki farklılıklarının 2002-2003 yılında önemsiz iken 2008-2009 yılında önemli olması TN içeriğinde bulunan inorganik azotların dışında organik azotun yağışlar ile göle karışan yüzey suları ile değil, sulamadan dönen suların DSİ pompa istasyonlarıyla ve noktasal diğer kaynaklar (Akçalar Deresi, MKP Çayı, Kocasu Çayı ters akımı) ile belirli noktalarda giriş yaptığını göstermektedir. TN'nin 2002-2003 yılında yağışlar nedeni ile oluşan yüzeysel akışla göle girmiş olduğu söylenemez. Çünkü, o dönemde de yaz aylarında daha yüksek konsantrasyonlar görülmüştür. Sudaki TN konsantrasyonlarının $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ 'den farklı olarak artmış olduğu ve bu artışın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle noktasal kirletici kaynakların yüklerinin artmış olduğu tahmin edilmiştir. Ayrıca sedimentteki TN konsantrasyonlarının azalmış olması, gölde TN bakımından bir iç yük olduğunu, sedimentten suya geçişler olduğunu düşündürmektedir.

Suda ve sedimentte incelenen $PO_4\text{-P}$ ve TP parametreleri birlikte değerlendirildiğinde, $PO_4\text{-P}$ 'nin su ve sedimentteki ortalamalarının yıllar içinde artış gösterdiği ve bu artışın önemli olduğu belirlenmiştir. Suda ve sedimentteki konsantrasyonlarının istasyonlar arasındaki farklılıkları 2002-2003 yılında önemli bulunmazken, 2008-2009 yılında önemli bulunmuştur. 2008-2009 yılına göre 8., 2002-2003 yılına göre ise 5. istasyon olan ölçüm noktasının sedimentte en yüksek, suda en düşük seviyede bulunduğu belirlenmiştir. Bu noktada klorofil-a konsantrasyonlarının da en üst seviyede bulunması $PO_4\text{-P}$ 'nin algler tarafından tüketildiğini göstermektedir. Aylık değişimlerde de sediment ve su arasındaki ters ilişki görülebilmektedir. Ölçüm yapılan her iki yılda da sedimentteki konsantrasyonlar kurak dönemde düşük iken suda yüksek, yağışlı dönemde yüksek iken suda düşük bulunmuştur. Sıcaklıkların artmış olduğu kurak dönemde sudaki artışların sedimentten suya geçişler nedeni ile de gerçekleşmiş olduğu düşünülmektedir. Hava sıcaklığının da 2003-2003 yılında $14,6^{\circ}\text{C}$ 'den 2008-2009 yılında $15,4^{\circ}\text{C}$ 'ye yükselmiş olması, göl suyundaki $PO_4\text{-P}$ artışının sedimentteki geçişlerin de etkisi ile olabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca 2008-2009 yılında suda ve sedimentteki konsantrasyonların istasyonlar arasındaki farklılıklarının önemli olması, göle giren noktasal kaynakların da daha önemli miktarda $PO_4\text{-P}$ verdiklerini göstermektedir. Yaz aylarında ve sonbahar başlarında (kurak dönemde) meydana gelen artışlar yağışlar ile meydana gelen yüzeysel akışın $PO_4\text{-P}$ konsantrasyonlarını etkilemediğini göstermektedir. TP konsantrasyonları için de $PO_4\text{-P}$ için söylenenlerin aynılarını söylemek mümkündür. Ancak, sedimentteki TP'nin yağışlı dönemlerde yüksek olması yüzeysel akışın sedimentteki TP konsantrasyonlarını etkilediğini göstermektedir.

Suda ve sedimentte meydana gelen $PO_4\text{-P}$ ve TP artışı ile birlikte klorofil-a konsantrasyonlarının da artmış olduğu görülmektedir. Uluabat Gölü'nün klo-a konsantrasyonlarının yaz aylarında ve sonbahar başında arttığı kış aylarında, sonbahar ve ilkbahar sonlarında azaldığı belirlenmiştir. İstasyonlar arasındaki farklılıkları değerlendirildiğinde TP ve $PO_4\text{-P}$ 'nin en düşük olduğu 5. (8.) istasyonda klorofil-a konsantrasyonlarının en yüksek olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak bu istasyonda meydana gelen yoğun fotosentez ile pH'nin en yüksek seviyede olduğu ve Uluabat Gölü'nde pH'nin alg popülasyon artışına bağlı olarak ilkbahar başlangıcı ve yaz aylarında yükseldiği görülmüştür. Ancak yıllar içinde pH değerlerinde düşüş

görülmüştür. Uluabat Gölü'nün sıcaklık değerlerinin hava sıcaklığının artışına bağlı olarak yıllar içinde artmış olduğu belirlenmiştir. Bu da özellikle yaz aylarında sedimentteki kirleticilerin suya geçişini hızlandıran bir durumdur. Yaz aylarında sudaki konsantrasyon artışı buna da bağlanabilir. Sıcaklık artışının ve yağış yüksekliğinin azalması sonucunda, su seviyesi de bir miktar azalmıştır. Meydana gelen bu azalmanın istatistiksel olarak önemli bulunmaması sebebiyle su kalitesini ancak mevsimsel değişmeler sırasında etkilediği görülmüştür. Sıcaklığın etkilediği çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenlik parametrelerinin ise, yıllar içinde artış gösterdiği belirlenmiştir. Çözünmüş oksijenin çözünürlüğünün sıcaklık artışı ile azaldığı bilinmektedir. Ancak, rüzgar hızının 2002-2003 ve 2008-2009 yılı ortalama değerleri karşılaştırıldığında 0,725 m/s den 0,916 m/s'ye yükseldiği görülmüştür. Rüzgar hızının sığ göllerin oksijen kazanımında önemli rol oynaması sebebi ile artmış olabileceği düşünülmüştür. Mevsimsel değişiminde ise göldeki organik madde konsantrasyonu ve su seviyesi de etkili olmaktadır. Su seviyesinin yüksek olduğu dönemlerde ve klorofil-a konsantrasyonlarının en yüksek olduğu bölgede çözünmüş oksijen konsantrasyonu yüksek bulunmuştur. Çözünmüş oksijen yıllara göre bir miktar artmış olsa da bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Elektriksel iletkenlikteki artışı sadece sıcaklık artışına bağlamak yanlış olmaktadır. Kış aylarında da elektriksel iletkenlik parametresinin yüksek bulunması, yağışların neden olduğu yüzeysel akışlarla bir çok iyon ve partikül maddenin gölü etkilediğini göstermektedir. Bazı yaz aylarında da düşmesi fotosentez sırasında iyonların kullanımından dolayı meydana gelmektedir. Yağışların etkilediği diğer bir parametre olan seki derinliğinin yıllar içinde düşmüş olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak, rüzgar hızının, sıcaklığın yıllar içinde artması, su seviyesinin azalmasıyla gölde meydana gelen karışım ve ayrıca kirletici konsantrasyonlarının ve buna bağlı olarak ta klorofil-a yani alg popülasyonunun artması seki derinliğini azaltmıştır.

Uluabat Gölü su kalitesinin çeşitli standart değerlerle karşılaştırılması neticesinde, yıllık ortalama değerlere göre, her iki yılda da gölün trofik seviyesinin ötrofik seviyeyi aşmış olduğu ve 2008-2009 yılında göldeki ötrofikasyonun daha da artmış olduğu belirlenmiştir.

4. 4. Çözünmüş Halde, Askıda Katı Maddeye Tutunmuş Halde Bulunan ve Sedimentteki Toplam Ağır Metal ve İz Elementler

4. 4. 1. Çözünmüş Halde Bulunan Ağır Metal ve İz Elementler

Uluabat Gölü'nde çözünmüş halde bulunan Fe, Mn, Zn, Ni, Cr, Cd, Cu, As, B ve Pb konsantrasyonları sırasıyla, 0,0653 ile 15,7298, 0 ile 0,1732, 0,0011 ile 1,3471, 0 ile 0,3508, 0,0016 ile 1,9597, 0 ile 0,3846, 0 ile 0,116, 0,0012 ile 0,0933, 0,2253 ile 5,5038 ve 0 ile 0,5028 mg/l arasında değişmiştir. Uluabat Gölü ve diğer doğal su kaynaklarında bulunan konsantrasyonlar arasındaki karşılaştırma çizelge 4.4.1.'de gösterilmiştir. Uluabat Gölü'ndeki Fe, Zn, Cr, Ni, B ve Pb konsantrasyonlarının diğer doğal su kaynaklarından daha yüksek seviyelerde buldukları, diğer metallerin benzer konsantrasyon aralıklarında oldukları görülmektedir.

Çözünmüş halde bulunan metallerin yıllık ortalama konsantrasyonlarına göre toksik olma dereceleri uluslararası standartlar yardımı ile değerlendirilmiştir. Buna göre As, Ni, B'nin Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme suyu standart değerlerine göre yüksek (Anonim 2006 b), EPA sınır değerlerine (Anonim 2006 a) göre ise düşük konsantrasyonlarda (B hariç) oldukları görülmüştür. Pb'nin Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme suyu standart değerlerine ve EPA'nın kronik etki seviyesine göre yüksek, akut etki seviyesine göre düşük konsantrasyonlarda olduğu görülmüştür. Mn ve Fe konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin standartların altında kaldığı ancak Mn, Fe ve Pb'nin standart sapmalarının yüksek olması nedeniyle bazı aylarda standart değerleri aştıkları belirlenmiştir. Cd'nin WHO ve EPA standartlarının her ikisinden de yüksek olduğu, Cu'nun kronik toksisite seviyesini aştığı ve akut seviyeye çok yakın değerlerde olduğu, Cr'nin kronik toksisite seviyesinden yüksek olduğu ve Zn'nin kronik ve akut toksik sınır değerlerinin her ikisinden de yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.4.2'de Uluabat Gölü çözünmüş metal konsantrasyonları ortalamaları ve uluslararası standart değerler ile karşılaştırması gösterilmiştir.

Çizelge 4.4.1.Uluabat Gölü ve diğer doğal göllerde çözülmüş halde bulunan ağır metal ve iz element konsantrasyonları

| Element | Kaynak | Ort ± SD |
|-----------|---|--|
| Fe (mg/l) | (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü Çalışma Sonuçları | 0,119±0,093 0,5344 ± 1,3989 |
| Mn (mg/l) | (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü (Gue'guen ve Dominik 2003) Vistula Nehri Çalışma Sonuçları | 0,007±0,018 0,35813±0,00491 0,0116 ± 0,02 |
| Cu (mg/l) | (Nguyen ve ark. 2005), Balaton Gölü (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü (Gue'guen ve Dominik 2003) Vistula Nehri Çalışma Sonuçları | 0,000475 0,024-0,020 0,03085±0,0008 0,0115 ± 0,0142 |
| Zn (mg/l) | (Nguyen ve ark. 2005), Balaton Gölü (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü (Gue'guen ve Dominik 2003), Vistula Nehri Çalışma Sonuçları | 0,00085 0,059±0,036 0,09225±0,000966 0,1955 ± 0,2384 |
| Cr (mg/l) | (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü (Gue'guen ve Dominik 2003), Vistula Nehri Çalışma Sonuçları | 0,004±0,002 0,0013±0,00005 0,0992 ± 0,2347 |
| Pb (ppm) | (Nguyen ve ark. 2005), Balaton Gölü (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü (Gue'guen ve Dominik 2003), Vistula Nehri Çalışma Sonuçları | 0,00009 <0,015 0,00023±0,00001 0,0355 ± 0,0567 |
| Cd (mg/l) | (Nguyen ve ark. 2005), Balaton Gölü (Gue'guen ve Dominik 2003), Vistula Nehri (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü Çalışma Sonuçları | 0,000002 0,00056±0,000018 0,020±0,061 0,0116 ± 0,0427 |
| Ni (mg/l) | (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü (Nguyen ve ark. 2005), Balaton Gölü Çalışma Sonuçları | 0,005±0,003 0,0006 0,0304 ± 0,0448 |
| B (mg/l) | (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü Çalışma Sonuçları | 0,225±0,049 2,1668 ± 0,9964 |
| As (mg/l) | (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü Çalışma Sonuçları | <0,033 0,023 ± 0,0179 |

Çizelge 4.4.2. Uluabat Gölü çözünmüş metal konsantrasyonları ortalamaları ve uluslararası standart değerler (Anonim 2006 b, Anonim 2006a).

| Metaller (mg/l) | WHO İçme Suyu | EPA, Su Kalitesi Kriterleri | | Bu Çalışma |
|--------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------|
| | | CMC | CCC | |
| As | 0,01 ^P | 0,34 _{A,D,K} | 0,15 _{A,D,K} | 0,0182 ± 0,0176 |
| B | 0,5 ^T | | | 2,1668 ± 0,9964 |
| Cd | 0,003 | 0,002 _{D,E,K} | 0,00025 _{D,E,K} | 0,0097 ± 0,0371 |
| Cr | | 0,57 _{D,E,K} | 0,074 _{D,E,K} | 0,0848 ± 0,2092 |
| Cu | 2 | 0,013 | 0,009 _{D,E,K} | 0,0128 ± 0,0141 |
| Fe | | | 1 | 0,5116 ± 1,2313 |
| Mn | 0,4 ^C | | | 0,0123 ± 0,0217 |
| Ni | 0,02 ^P | 0,47 _{D,E,K} | 0,052 _{D,E,K} | 0,0304 ± 0,0416 |
| Pb | 0,01 | 0,065 _{D,E} | 0,0025 _{D,E} | 0,0355 ± 0,0567 |
| Zn | | 0,12 _{D,E,K} | 0,12 _{D,E,K} | 0,1595 ± 0,2169 |

CMC: Akut

CCC: Kronik

P: Kesin olmayan değerdir. Tehlikeli olduğu bilinmektedir ancak sağlık etkileri hakkında bilgiler sınırlıdır.

T: Kesin olmayan bilgidir. Hesaplanan değerler arıtılabilir seviyenin altındadır.

A: Tavsiye edilen kriter As (III) için türetilmiştir. As (V) ile benzer etkiler göstermesi nedeniyle toplam As için kabul edilmiştir.

D: Tavsiye edilen su kalitesi kriteri su canlıları için oluşturulmuş kriterlerden dönüşüm faktörü (CF) ile çarpılarak oluşturulmuştur.

E: Su kolonundaki sertliğin bir fonksiyonu olarak hesaplanan ve yüzeysel sular için geliştirilmiş standart değerler.

K: 1995 yılında su canlıları için oluşturulmuş kriterlerden adapte edilmiştir.

Belirlenen konsantrasyonlar ulusal standart değerler ile karşılaştırılmıştır. Uluabat Gölü su kalitesinin Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)'inde verilen "Kıta içi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" tablosundan (Anonim 2004) faydalanılarak yapılan değerlendirmesi sonucunda As, Cu, Mn ve Zn için 1. sınıf, Fe ve Ni için 2. sınıf, Cd, Cr ve Pb için 3. sınıf ve B için 4. sınıf olarak belirlenmiştir. Ancak su kalitesi sınıfı en yüksek seviyede bulunan kirlenmeye göre belirlendiği için Uluabat Gölü 4. sınıf (çok kirlenmiş su: ancak bir üst su seviyesine getirilip endüstriyel amaçlı kullanılabilen) olarak kabul edilmiştir.

SKKY Teknik Usüller Tebliği'nde verilmiş olan "Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri" Tablosu (Anonim 1991) ile karşılaştırıldığında As, Cu, Fe, Pb, Zn, Mn ve Ni için verilen sınır değerlerin altında ve her türlü zemin için sulamaya uygun bulunmuştur. Cd ve Cr sınır değerlere çok yakın bulunmuşlardır. Standart sapmaları düşünüldüğünde, Cd ve Cr bakımından

bazı aylarda sulama suyu için uygun bulunamayabileceği tespit edilmiştir. B için 4. sınıf (ihtiyatla kullanılabilen) sulama suyu kalitesinde bulunmuştur. Bu nedenle Uluabat Gölü'nün sulama amaçlı olarak kontrollü bir şekilde kullanılabilmesi belirlenmiştir.

Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Su Ürünleri Yönetmeliği (SÜY), “İç Sulara ve Denizlerdeki İstihsal Yerlerine Dökülmesi Yasak Olan Zararlı Maddeler ve Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerler Listesi, Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerler” (Anonim 2005a) tablosunda verilen standart değerlere göre değerlendirildiğinde, As, B, Fe, Mn, Ni ve Pb için uygun, Cd ve Cr için uygun olmakla birlikte sınır değere çok yakın, Cu ve Zn için sınır değerlerin üstünde bulunmuşlardır.

TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular kriterlerinin (Anonim 2005b) sınıflandırma tablolarına göre As, B, Cd, Cr, Ni ve Pb için sınıf 2 tip 2 (içme ve kullanma suyu) sınır değerlerinin üstünde, Cu, Fe ve Mn için sınıf 1 tip 1 (işlem görmüş memeba suları) sınır değerlerine uygun bulunmuştur. Buna göre Uluabat Gölü'nün içme ve kullanma amaçlı olarak değerlendirilemeyeceği belirlenmiştir. Ağır metal ve iz elementlerin değerlendirilmesinde kullanılan ulusal sınır değerler çizelge 4.4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4.3. Ağır metal ve iz elementlerin değerlendirilmesinde kullanılan ulusal sınır değerler

| Metaller (mg/l) | SKKY 2004 ^b | | | | SKKY, Tek. Usül. Teb., 1991 ^c | SÜY 2005 ^d | TS266, 2005 | |
|--------------------|------------------------|-------|------|-------|---|-----------------------|--------------------------------|---------------------|
| | I | II | III | IV | | Tolere değer | Sınıf 1 ve sınıf 2 Tip 1 | Sınıf 2 ve tip 2 |
| As | 0,02 | 0,05 | 0,1 | >0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,01 | 0,01 |
| B | 1 | 1 | 1 | >1 | 2 | 3 | 0,001 | 0,001 |
| Cd | 0,003 | 0,005 | 0,01 | >0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,005 | 0,005 |
| Cr | 0,02 | 0,05 | 0,2 | >0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,05 |
| Cu | 0,02 | 0,05 | 0,2 | >0,2 | 0,2 | 0,01 | 0,1 | 2 |
| Fe | 0,3 | 1 | 5 | >5 | 5 | 0,7 | 0,05 | 0,2 |
| Mn | 0,1 | 0,5 | 3 | >3 | 0,2 | 1 | 0,02 | 0,05 |
| Ni | 0,02 | 0,05 | 0,2 | >0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,02 | 0,02 |
| Pb | 0,01 | 0,02 | 0,05 | >0,05 | 5 | 0,1 | 0,01 | 0,01 |
| Zn | 0,2 | 0,5 | 2 | >2 | 2 | 0,003 | - | - |

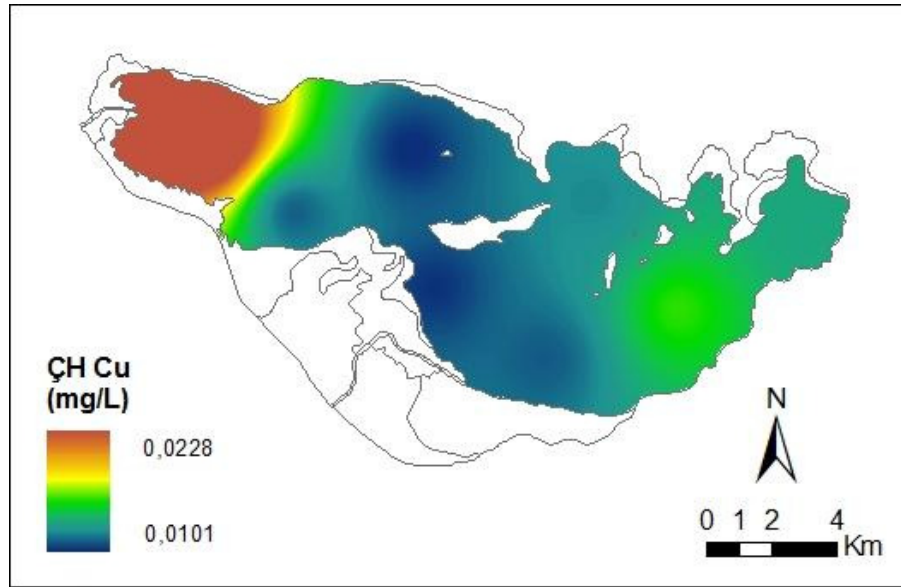
Çözünmüş halde bulunan metallerin yıllık ortalama konsantrasyonlarının istasyonlara, bölgelere, aylara ve bölgelerin istasyonlara göre (istasyon bölge interaksiyonu) göre değişimleri istatistiksel olarak varyans analizi yapılarak anova tablosu ile incelenmiştir. Çizelge 4.4.4'te Ç. H'de bulunan ağır metal ve iz elementlerin varyans analizi sonuçları gösterilmiştir. Minitab 15 istatistik programı kullanılarak yapılan Varyans analizi sonucunda, istasyonlar arasındaki farklılıkların Cr, Cd, Cu, Ni, B ve Pb için önemli, As, Fe, Mn ve Zn için önemsiz olduğu görülmüştür. Cr, Cu, Ni, B ve Pb konsantrasyonları gölün çıkışına yakın bölgede bulunan 1. istasyonda en büyük değerde bulunmuştur. Bunun nedeninin gölün bekletme süresi boyunca çökelen AKM nedeni ile metallerin bu bölgede adsorbe olamaması sonucunda çözünmüş halde bulunmalarının ayrıca gölün çıkışını sağlayan ve zaman zaman ters akımların meydana geldiği Kocasu Çayı (10. ist) ve diğer noktasal kirletici kaynaklar Uluabat ve Atabay Pompa İstasyonlarının 1. istasyona yakın olmasının etkili olduğu düşünülmüştür. Şekil 4.4.1- şekil 4.4.6'da Suda çözünmüş halde bulunan Cu, B, Cd, Cr, Pb ve Ni konsantrasyonları dağılım haritaları gösterilmiştir. Pompa istasyonlarındaki çözünmüş metallerin çoğunun (Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, As, B) konsantrasyonlarının göldekilere göre daha yüksek oldukları belirlenmiştir. Bu metallerin minimum konsantrasyonları sırasıyla 6., 3., 4. ve 8. istasyonlarda su hareketinin diğer bölgelere göre nispeten daha fazla olması sebebiyle katı maddelere adsorbe olma şansları daha yüksektir ve bu istasyonlarda daha az konsantrasyonda olan metalin kirletici kaynağına daha uzaktır. Ancak Cd'nin katı maddelere tutunma özelliğinin diğer elementlere göre daha az olabileceği düşünülmüştür. Cu, Pb, Hg ve Zn gibi metaller organik ligandlardan etkilenirken, Cd'nin özellikle çamurlu ve tarıma elverişli topraklarda inorganik ligandlarla kompleks oluşturduğu tespit edilmiştir (Bradl 2005). Çünkü AKM'nin maksimuma ulaştığı 2. istasyonda maksimum, çok düşük değer aldığı 1. istasyonda da minimum bulunmuştur. Bu düşünce AKM ile askıda katı maddeye tutunmuş metallerin ilişkileri belirlenip desteklenerek bölüm 3.2'de verilmiştir. Yıllık ortalama konsantrasyonlar kullanılarak belirlenen B:Fe:Zn:Mn:Cr:Ni:As:Cu:Cd:Pb molar oranları 200425:9160:2439:2238:1631:517:240:201:86:171 ve konsantrasyonlara göre büyüklük sıralamaları B>Fe>Zn>Cr>Pb>Ni>As>Cu>Mn>Cd dir. Cr, Cd, Cu, Ni, B ve Pb konsantrasyonlarının istasyonlara göre değişimleri şekil 4.4.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.4.4. Ç. H’de bulunan ağır metal ve iz elementlerin varyans analizi sonuçları

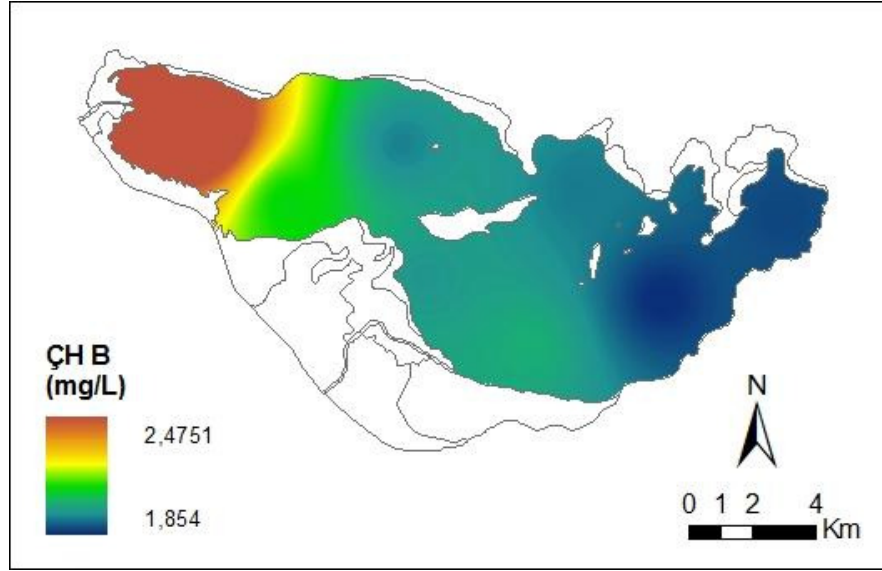
| Element | İstasyon | Bölge | Aylar | İstasyon*Bölge |
|---------|-----------------|----------|-----------------|----------------|
| As | P=0,411 | P=0,123 | P=0 | P=0,959 |
| Cr | P= 0,008 | P= 0,763 | P=0,057 | P=0,6 |
| Cd | P= 0,002 | P= 0,545 | P= 0,010 | P= 0,983 |
| Cu | P= 0,007 | P= 0,081 | P= 0 | P= 0,632 |
| Ni | P= 0,004 | P= 0,175 | P= 0,003 | P=0,987 |
| Fe | P= 0,767 | P= 0,621 | P= 0,394 | P= 0,376 |
| Mn | P= 0,330 | P= 0,600 | P= 0,516 | P= 0,651 |
| Zn | P= 0,439 | P= 0,513 | P= 0 | P=0,563 |
| B | P=0 | P=184 | P=0 | P=0,613 |
| Pb | P=0 | P=0,202 | P=0,001 | P=0,384 |

* Koyu renkli olasılık değerleri $p < 0.05$ olduğu için önemli bulunmuştur.

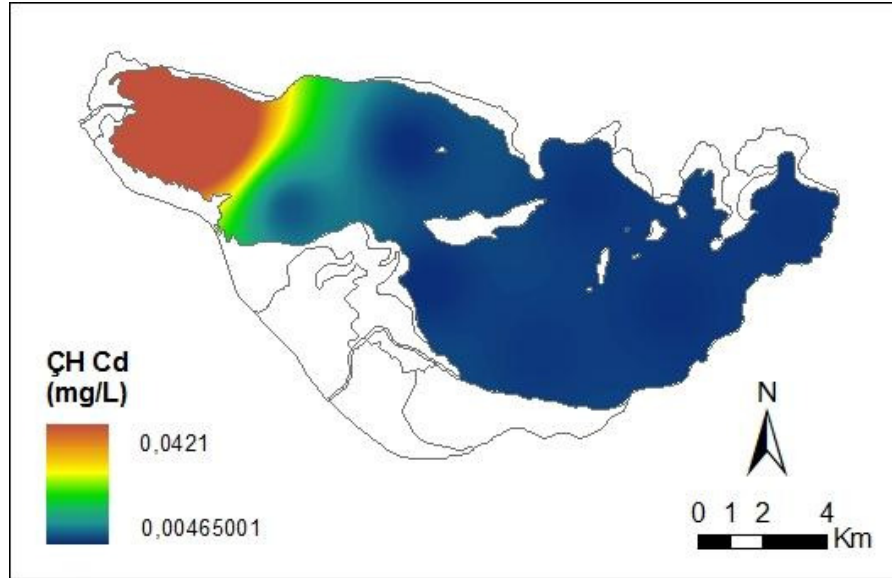
Konsantrasyonların yağışlı dönemlerde kurak dönemlere göre daha düşük olduğu görülmüştür. Aylara göre meydana gelen değişim istatistiksel olarak incelendiğinde, As, Cd, Cu, Ni, Zn, B ve Pb için önemli, Cr, Fe ve Mn için önemsiz olarak bulunmuştur.



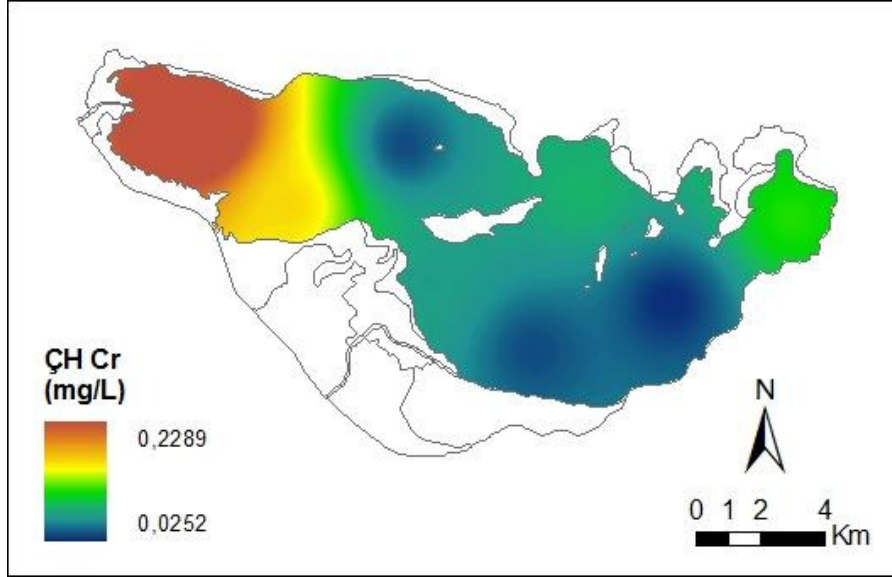
Şekil 4.4.1. Suda çözülmüş halde bulunan Cu konsantrasyonu dağılım haritası



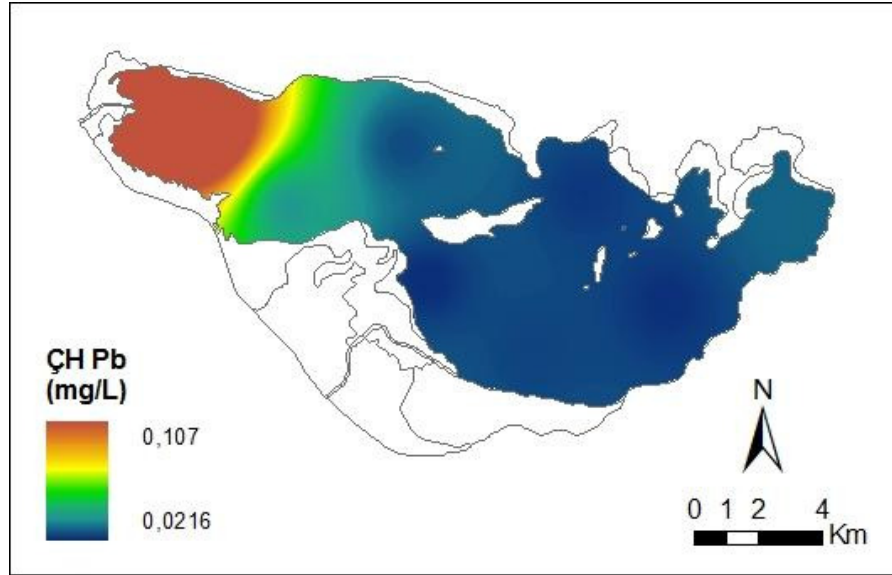
Şekil 4.4.2. Suda çözülmüş halde bulunan B konsantrasyonu dağılım haritası



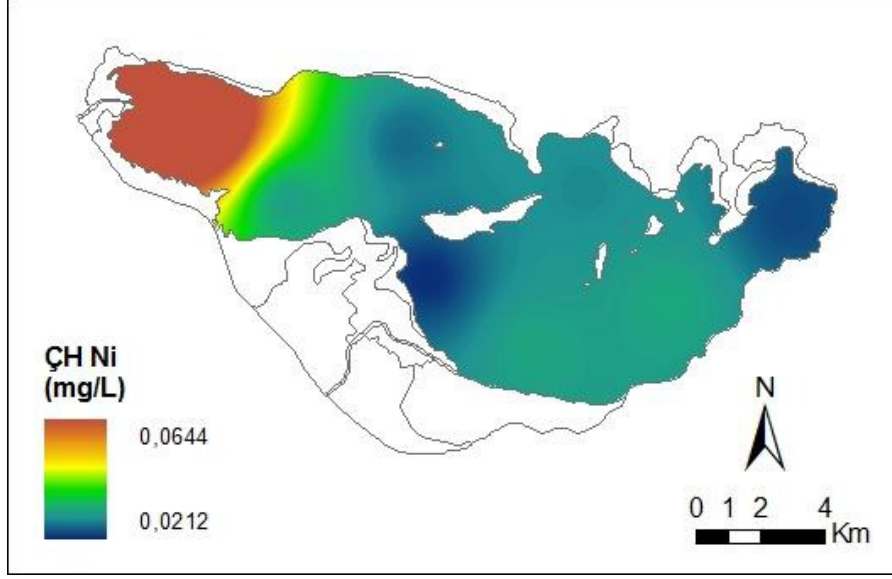
Şekil 4.4.3. Suda çözülmüş halde bulunan Cd konsantrasyonu dağılım haritası



Şekil 4.4.4. Suda çözülmüş halde bulunan Cr konsantrasyonu dağılım haritası

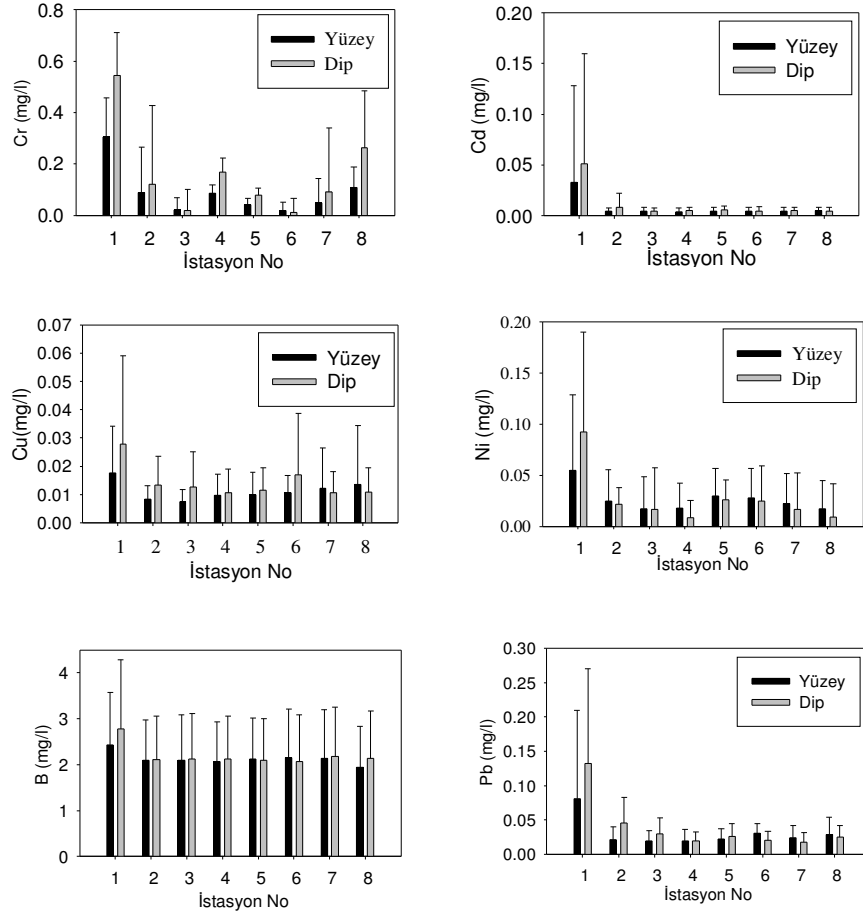


Şekil 4.4.5. Suda çözülmüş halde bulunan Pb konsantrasyonu dağılım haritası

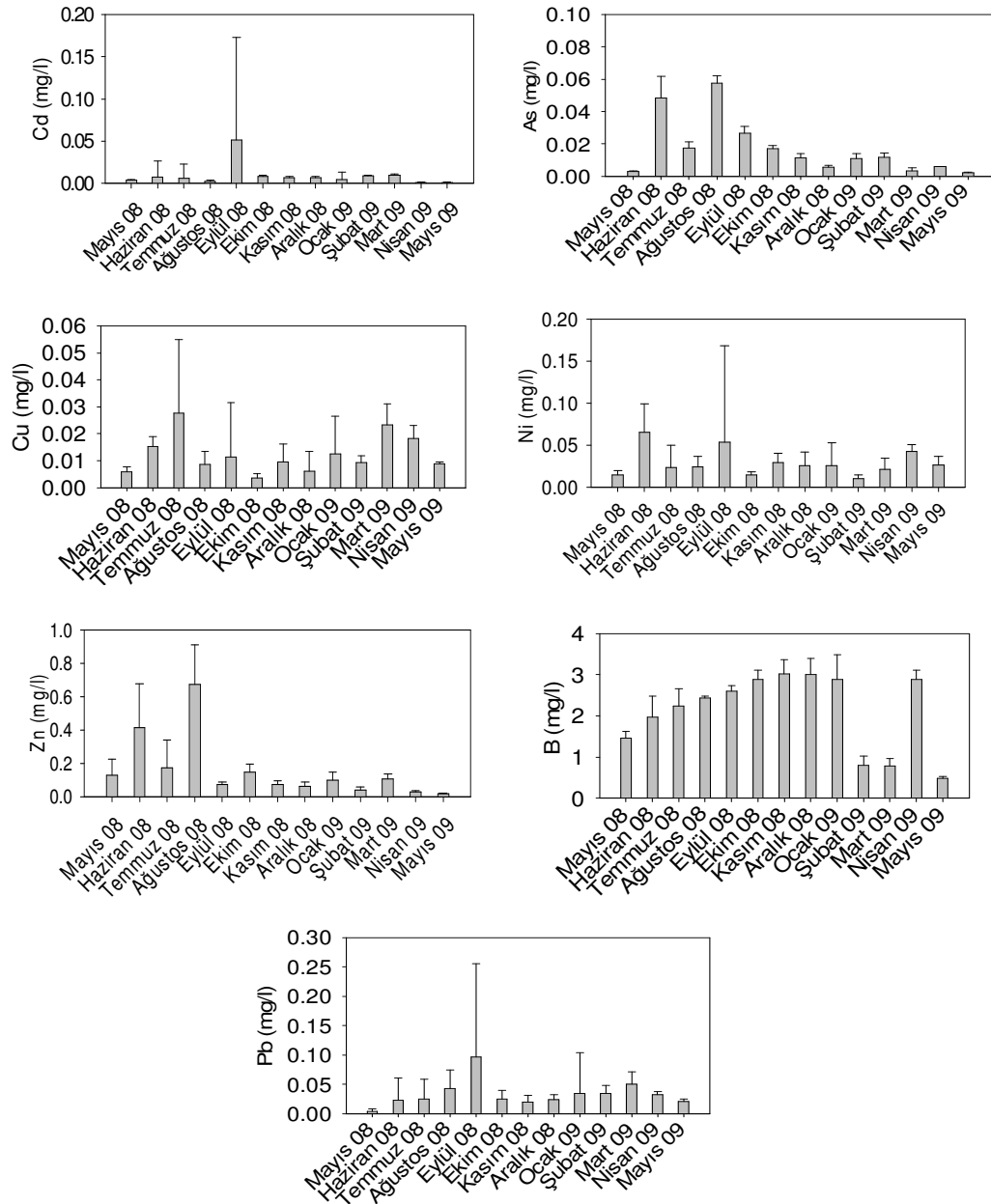


Şekil 4.4.6. Suda çözülmüş halde bulunan Ni konsantrasyonu dağılım haritası

Aylık değişimin önemli olduğu metallerin yağmurların olmadığı yaz aylarında ve sonbaharın başlangıcı Eylül Ayı'nda yüksek, yağışların bol olduğu ilkbahar, sonbaharın ortaları ve kış aylarında seyrelmelerden dolayı düşük konsantrasyonlarda oldukları belirlenmiştir. Cu'nun yüksek değerleri yaz aylarında olmasına rağmen en düşük değeri Ekim Ayı'nda bulunmuştur. Bunun nedeninin yağışların bu ayda başlamasıyla yüzeysel akışın göle getirdiği AKM'nin artış göstermesi ve henüz kışa göre daha sığ olan gölün daha kolay karışmasının neden olduğu adsorbsiyon olaylarının artışı olduğu tahmin edilmiştir. Diğer metallerden farklı olarak B da maksimum değerini Kasım Ayı'nda almıştır. Bu ayda kirletici kaynaklardaki konsantrasyon ve yağışlar nedeni ile debi artışının göldeki yükselmeye neden olduğu düşünülmüştür. Şekil 4.4.8'de As, Cd, Cu, Ni, Zn, B ve Pb'nin çözülmüş halde bulunan hallerinin aylara göre değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.4.7. Ç. H. Bulunan Cr, Cd, Cu, Ni, B ve Pb konsantrasyonlarının istasyonlara göre değişimleri



Şekil 4.4.8. As, Cd, Cu, Ni, Zn, B ve Pb'nin çözülmüş halde bulunan konsantrasyonlarının aylara göre değişimleri

Havanın rüzgarlı olduğu dönemlerde dikey karışım nedeniyle dip sedimentinin suya karışması sebebiyle çözülmüş metallerin partiküllere bağlanması için uygun koşullar oluşmaktadır. Su kolonundaki ortalama askıda katı madde konsantrasyonlarının yüzey ve dipteki yıllık ortalama değerlerinin 37,15 ve 60,70 mg/l olarak bulunmuş

olmasına rağmen varyans analizi sonucunda su kolonu boyunca yüzey ve dip tabakalarındaki konsantrasyonlar arasındaki farklılıkların önemsiz olduğu, değişim göstermediği bulunmuştur. Bu nedenle metallerin istasyonlara göre değişimleri yüzey ve dip değerleri ile birlikte gösterilmiştir.

4. 4. 2. Askıda Katı Maddelere Tutunmuş Halde (AKMTH) Bulunan Metal ve İz Elementler

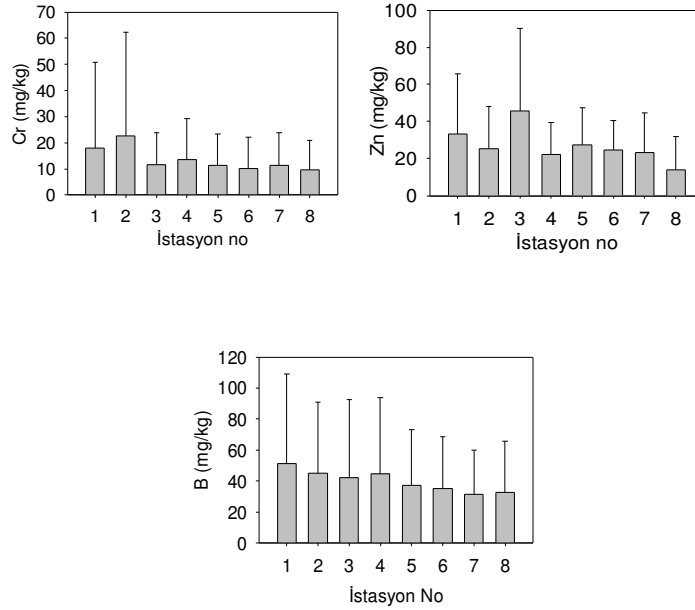
Askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan metal konsantrasyonlarının yıllık ortalama, standart sapma değerleri ve konsantrasyon aralıkları çizelge 4.4.5.'te verilmiştir. Genel olarak geniş konsantrasyon aralıkları görülmüştür. Adsorbsiyon-desorbsiyon mekanizmaları, askıda katı maddenin ve sedimentin göldeki askıda metal konsantrasyonlarını etkilemektedir.

Çizelge 4.4.5. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metal konsantrasyon değerleri

| Element | Ortalama (mg/kg) | Aralık (mg/kg) |
|---------|-----------------------|----------------------|
| As | 0,9551 ± 1,1347 | 0,0092 - 6,3627 |
| Cr | 13,5541 ± 21,2808 | 0,0140 - 168,1396 |
| Cd | 1,1667 ± 0,5874 | 0 - 6,1877 |
| Pb | 7,61223 ± 9,4288 | 0 - 105,247 |
| Cu | 5,3701 ± 5,2744 | 0 - 49,9319 |
| Ni | 18,6455 ± 26,0972 | 0,0161 - 123,9227 |
| B | 40,00358 ± 42,4686 | 0 - 194,119 |
| Fe | 2039,2269 ± 2949,5115 | 33,1149 - 26509,0836 |
| Mn | 50,9093 ± 66,6561 | 3,9596 - 565,8088 |
| Zn | 26,8742 ± 27,4318 | 0,2246 - 162,4596 |

Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metallerin yıllık ortalama konsantrasyonlarının istasyonlara, bölgelere (yüzey ve dip), aylara ve bölgelerin istasyonlara göre (istasyon bölge interaksyonu) göre değişimleri istatistiksel olarak varyans analizi yapılarak anova tablosu ile incelenmiştir. Buna göre Cr, Zn ve B elementlerinin konsantrasyonlarının istasyonlara göre olan farklılıklarının önemli, diğerlerinin ise önemsiz olduğu belirlenmiştir. Cr, Zn ve B'nin maksimum konsantrasyonları sırasıyla 2., 3. ve 1. istasyonlarda görülmüştür. Bunun nedeni olarak bu bölgelerin daha çok rüzgar alması nedeni ile oluşan su hareketlerinin yol açtığı AKM

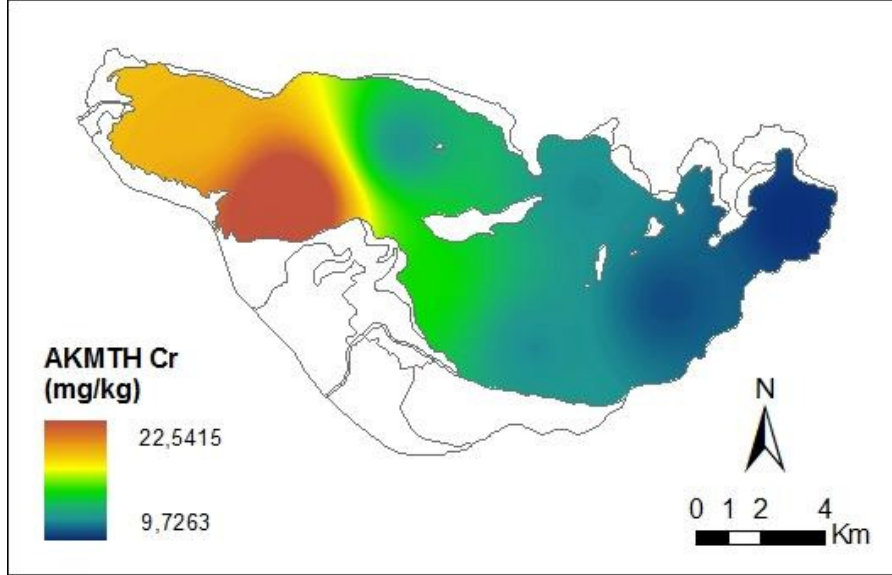
artışının ve bu bölgelere yakın olan DSİ pompa istasyonlarının etkilemesinin neden olduğu düşünülmüştür. 2. istasyon 94,04 mg/l ile maksimum, 3. istasyon ise 45 mg/l ile ikinci en yüksek AKM konsantrasyonunun görüldüğü bölgelerdir. Şekil 4.4.9'da Cr, Zn ve B'nin istasyonlara göre değişimleri ve şekil 4.4.10- şekil 4.4.12.'de Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan Cr, Zn ve B konsantrasyonları dağılım haritaları gösterilmiştir.



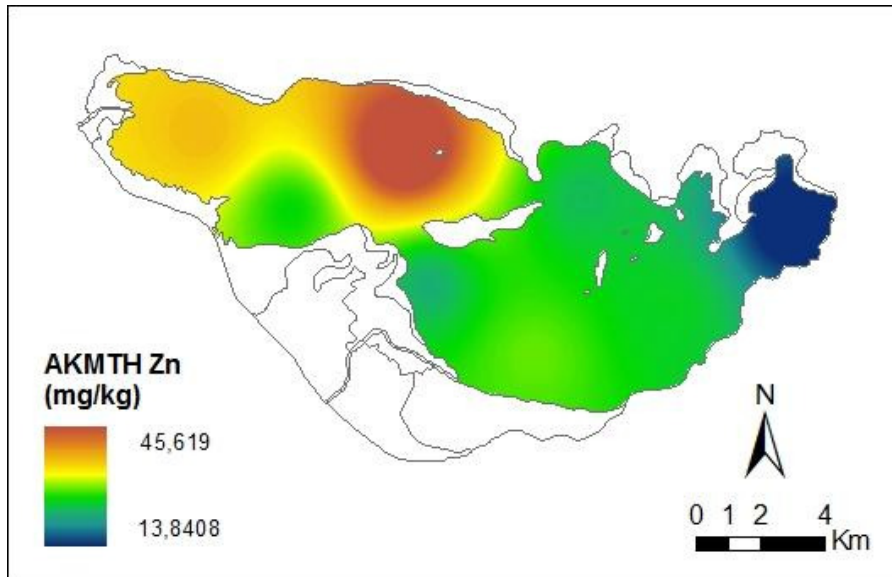
Şekil 4.4.9. Cr, Zn ve B'nin askıda katı maddeye tutunmuş formlarının istasyonlara göre konsantrasyon değişimleri

Hesaplamalar sonucunda tüm elementlerin aylara göre olan ortalamalarının birbirlerinden farklılıklarının önemli olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle şekil 4.4.13'te tüm elementlere ait askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan metallerin aylık konsantrasyon değişimleri grafiksel olarak gösterilmiştir. 550 °C'de yakma yöntemiyle belirlenen organik madde miktarının göl için belirlenen yıllık ortalama değerinin % 3,81, yazın % 3,99'a yükseldiği, kışın da % 3,55'e indiği belirlenmiştir. İstasyonlar arasında en yüksek konsantrasyon 8. istasyonda % 4,2'dir. Bu istasyondaki sedimentin aynı zamanda çamur kıvamında olduğu tespit edilmiştir. İstasyonlar arasında da en düşük Cr, Zn ve B değerlerinin bu istasyonda olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çizelge 4.4.7'de Zn'nin sedimentin % organik madde ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Ağır metallerin aylara göre değişimleri incelendiğinde konsantrasyonların genel olarak yaz

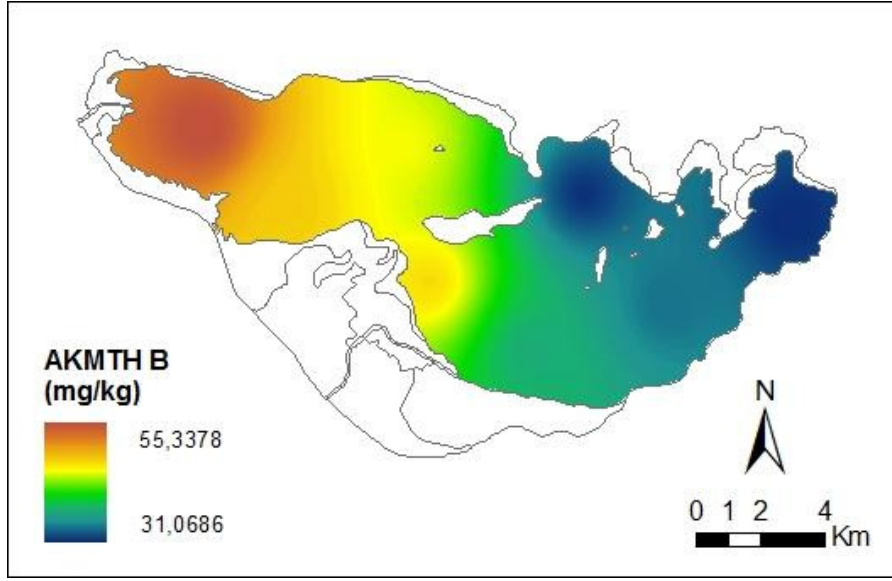
mevsimi ve Eylül Ayı'nda (kurak dönem) artma sonbahar ortalarından ilkbahar aylarının sonuna kadar (yağışlı dönem) azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.4.10. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan Cr konsantrasyonları dağılım haritası



Şekil 4.4.11. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan Zn konsantrasyonları dağılım haritası



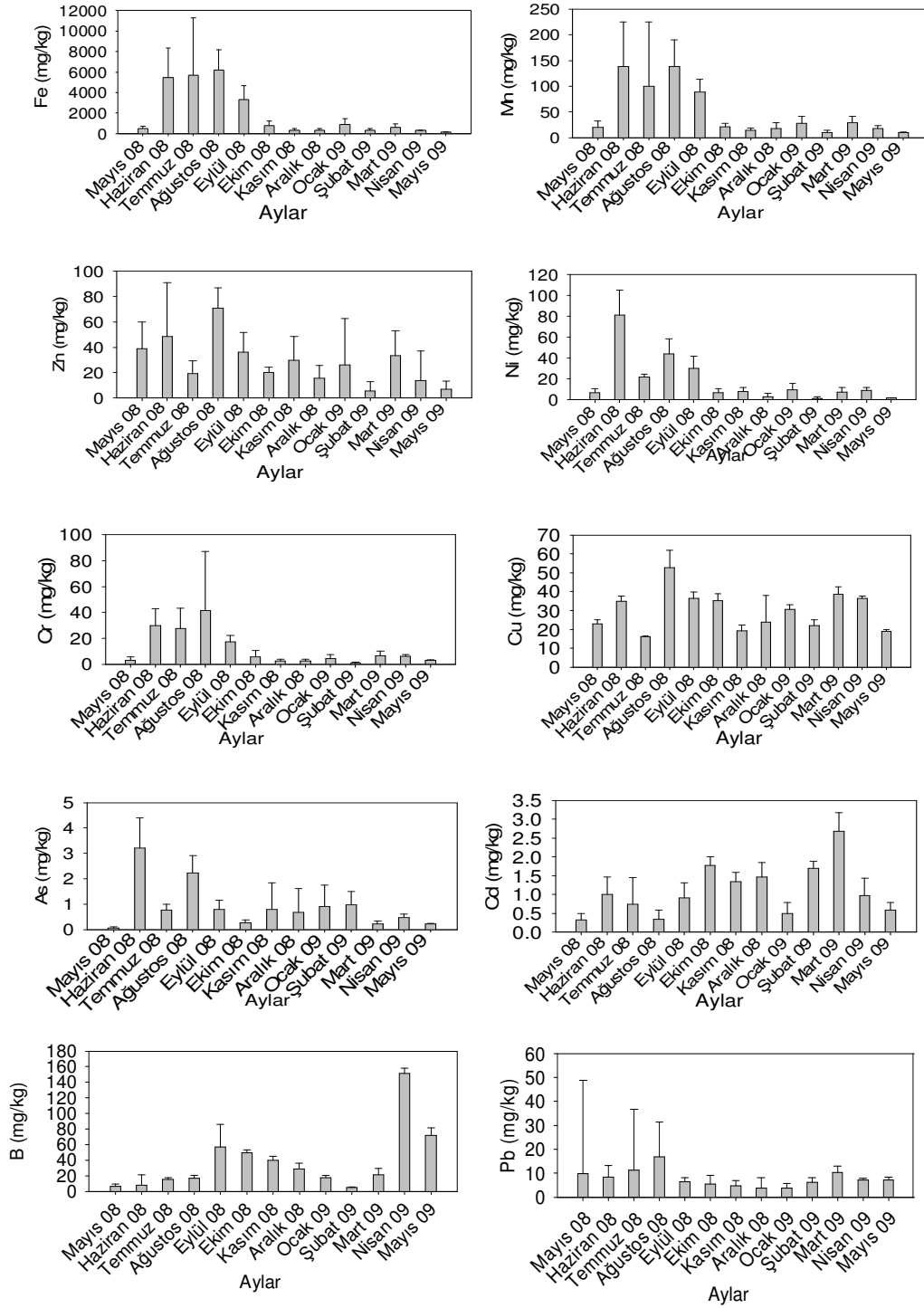
Şekil 4.4.12. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan B konsantrasyonları dağılım haritası

Yaz aylarındaki bu artış seyrelmelerin ve su seviyesinin azalması ile rüzgarın yarattığı karışım sonucunda sedimentten suya geçişlerin meydana gelmesi ve özellikle de sıcaklıkların artması ile metallerin çözünürlüklerin artması sonucunda sedimentten suya geçişlerin artması ve sonuçta tekrar askıdaki katı maddelere tutunmaları neticesinde gerçekleştiği düşünülmüştür. Cd, Cu, Zn, As ve B'nin yağışlı dönemlerde de yüksek konsantrasyonlarına rastlanmıştır. Bu durumun nedeni olarak yüzeysel akışlarla bu elementlerin, AKM'nin göle taşınması ve özellikle de ilkbahar aylarında fitoplanktonların artışı ile katı maddelere adsorblanmalarının artması olduğu tahmin edilmiştir. Ayrıca yağışlı dönemlerde de fırtınalı günler olmakta askıda katı madde miktarı yükselmektedir. İncelenen metallerin askıdaki metal konsantrasyonlarının aynı istasyondaki sedimentte bulunan metal konsantrasyonlarından daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durumun sebebi olarak tekrar askıdaki hale geçen sedimentin daha kumlu ve daha az zengin olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Uluabat Gölü'nde askıdaki katı maddeye tutunmuş halde bulunan metallerin yıllık ortalaması alınarak belirlenen molar oranları B:Fe:Mn:Zn:Ni:Cr:Cu:As:Cd:Pb 37002:365145:9266:4110:3175:2606:845:127:103:367 olarak belirlenmiştir. Konsantrasyonlara göre büyüklük sıralaması da Fe>Mn>B>Zn>Ni>Cr>Pb>Cu>Cd>As

dir. Çözünmüş metallerin büyüklük sıralaması ile farklı olduğu görülmüştür. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metallerin konsantrasyonlarının diğer su kaynakları ile karşılaştırılması çizelge 4.4.6'da verilmiştir. Buna göre Cd haricinde incelenen diğer metallerin konsantrasyonlarının düşük seviyelerde oldukları belirlenmiştir.

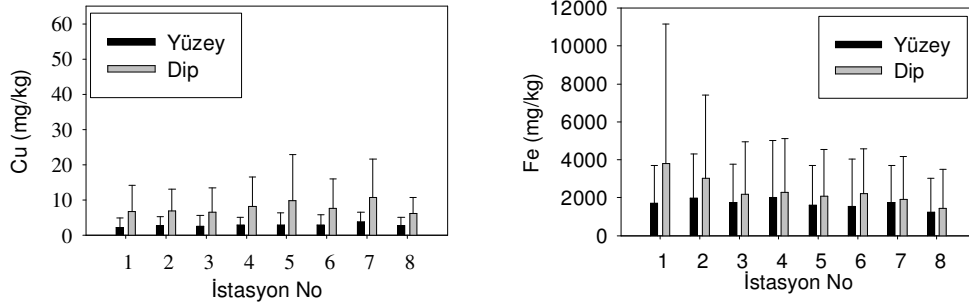
Su kolonu boyunca, yüzey ve dipten alınan numuneler arasındaki konsantrasyon farklılıkları istatistiksel olarak varyans analizi ile incelendiğinde, Cu, Ni, Fe ve Mn için önemli, diğer metaller için önemsiz olduğu ve dipteki askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metallerin konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeninin dip kısmında bulunan AKM'nin daha yüksek olması, ile klo-a konsantrasyonlarının ilişkili olmasının etkili olduğu düşünülmüştür. Yüzey ve dip konsantrasyonlarındaki bu farklılık nedeni ile konsantrasyonların istasyonlara göre değişim grafikleri her bir istasyonun yüzey dip ortalamaları alınarak çizilmiştir. Konsantrasyon farklılığına örnek olması açısından Cu ve Fe elementlerinin yüzey ve dip farklılıklarını gösteren grafikler şekil 4.4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4.13. Askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan metal ve iz elementlerin aylık konsantrasyon değişimleri

Çizelge 4.4.6. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metal ve iz element konsantrasyonlarının diğer su kaynakları ile karşılaştırılması

| Element | Kaynak | Min-Mak | Ort ± SD |
|--|---|--------------------|---------------------|
| Fe (mg/kg) | (Nguyen ve ark. 2005), Balaton Gölü | 3700 - 27300 | 9950 |
| | (Yiğiterhan ve Murray 2008), Danube Nehri | | 36000 |
| | Çalışma sonuçları | 33,1149 - 26509,08 | 2039,2269 ± 2949,51 |
| Mn (mg/kg) | (Nguyen ve ark. 2005), Balaton Gölü | 199 - 12500 | 1300 |
| | (Yiğiterhan ve Murray 2008), Danube Nehri | | 1700 |
| | Çalışma sonuçları | 3,9596 - 565,8088 | 50,9093 ± 66,6561 |
| Cu (mg/kg) | (Che ve ark. 2003), Changjiang Koyu and Hangzhou Körfezi | 0,5 - 157,5 | 46,05±25,6 |
| | (Nguyen ve ark. 2005), Balaton Gölü | | 16,5 |
| | (Yiğiterhan ve Murray 2008), Danube Nehri | | 115 |
| Çalışma sonuçları | 0 - 49,9319 | 5,3701 ± 5,2744 | |
| Cd (mg/kg) | (Che ve ark. 2003), Changjiang Koyu and Hangzhou Körfezi | 0,04 - 8,39 | 0,565±0,82 |
| | (Nguyen ve ark. 2005), Balaton Gölü | 0,11 - 1,25 | 0,385 |
| | (Yiğiterhan ve Murray 2008), Danube Nehri | | 1,14 |
| Çalışma sonuçları | 0 - 6,1877 | 1,1667 ± 0,5874 | |
| Pb (mg/kg) | (Che ve ark. 2003), Changjiang Koyu and Hangzhou Körfezi | 2 - 175 | 32,5±18,3 |
| | (Nguyen ve ark. 2005), Balaton Gölü | | 29,5 |
| | (Yiğiterhan ve Murray 2008), Danube Nehri | | 84 |
| Çalışma sonuçları | 0 - 105,247 | 7,61223 ± 9,4288 | |
| Cr (mg/kg) | (Nguyen ve ark. 2005), Balaton Gölü | | 19 |
| Ni (mg/kg) | (Nguyen ve ark. 2005), Balaton Gölü | | 25 |
| Çalışma sonuçları | 0,0140 - 168,1396 | 13,4087 ± 20,2079 | |
| Zn (mg/kg) | (Nguyen ve ark. 2005), Balaton Gölü | 18-147 | 71,5 |
| (Yiğiterhan ve Murray 2008), Danube Nehri | | | 248 |
| Çalışma sonuçları | 0,2246 - 162,4596 | 26,8742 ± 27,4318 | |



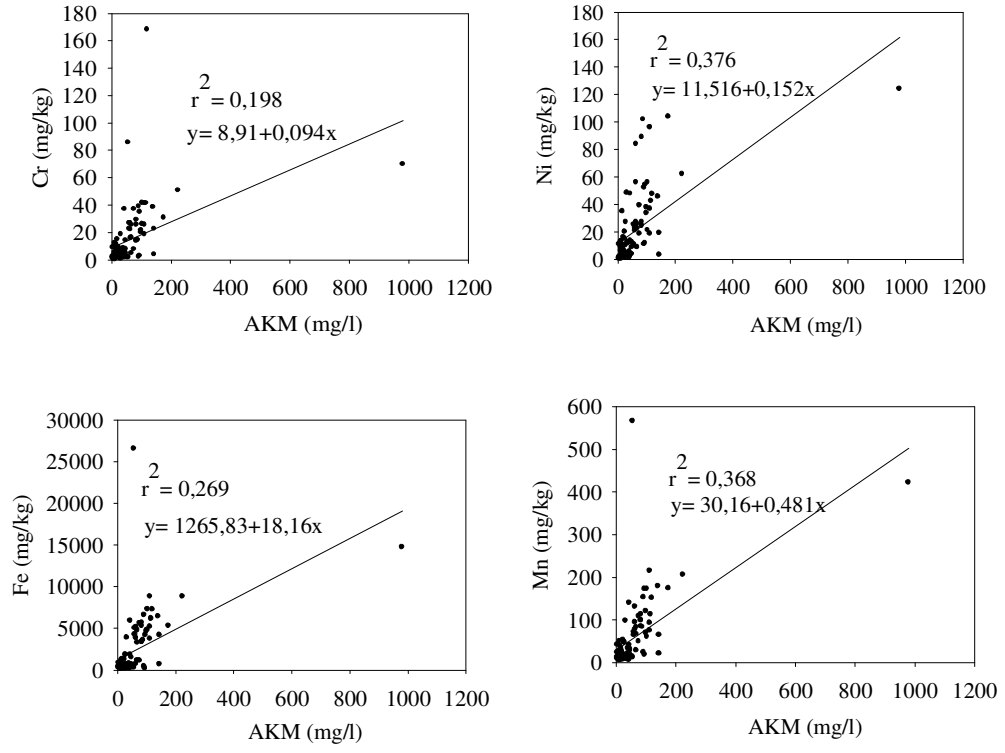
Şekil 4.4.14. Cu ve Fe'nin askıda katı maddeye tutunmuş formlarının yüzey ve dip konsantrasyon farklılıkları

Askıda katı madde konsantrasyonlarına katkıda bulunan alg populasyonlarının belirlenmesinde kullanılan klorofil-a konsantrasyonları ile askıdaki metaller arasında da bir ilişki olabileceği düşünülmüştür (Stumm ve Morgan 1996). Sıcaklık, iletkenlik, pH'ın ağırmetaller üzerindeki etkileri bilinmektedir (İkem ve ark 2003). Bu nedenle, sedimentteki % organik madde, sıcaklık, pH, iletkenlik değerleri ile sudaki askıda katı madde ve klorofil-a konsantrasyonları arasındaki ilişkiler korelasyonlar kurularak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Hesaplamalarda, Minitab 15 istatistik programı kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, genel olarak ağır metallerin birbirleri ile olan ilişkilerinin Cd dışında önemli oldukları görülmüştür. Cd'nin yalnızca As ile olan ilişkisi önemli bulunmuştur. Parametreler ile olan korelasyonları önemli bulunmuştur. Özellikle Fe'nin Mn, Cr ve Ni ile, Mn'nin Cr ve Ni ile, Ni'nin As ve Cr ile olan ilişkileri diğerlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum metallerin hareketlerinin birbirlerine benzer şekilde gerçekleşebileceğini yansıtmaktadır. Sıcaklığın B hariç tüm elementler üzerindeki, AKM'nin Cd, B ve Pb hariç diğer elementler ile, klorofil-a'nın Cd, Zn, B ve Pb hariç diğer tüm elementlerle olan ilişkileri önemli bulunmuştur. AKM ve klorofil-a ile bulunan pozitif korelasyonlar metallerin katı maddelere adsorblandığını göstermektedir. Sedimentin organik madde miktarının As, Ni ile Zn ve Pb ile, iletkenliğin de As ve Ni ile, pH'ın da As ve B ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık, % organik madde ve dolayısıyla da iletkenliğin artması sonucunda bozunmaların ve anaerobik ortamın oluşması ile sedimentten suya geçişlerin olabileceği düşünülmüştür. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metaller ile diğer parametrelerin ilişkilerini gösteren r korelasyon sayısı değerleri çizelge 4.4.7'de ve bazı metaller ile AKM arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon grafikleri şekil 4.4.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4.7. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metaller ile diğer parametrelerin ilişkilerini gösteren r korelasyon sayısı değerleri

| | As | Cr | Cd | Cu | Ni | Fe | Mn | Zn | B | Pb | pH | Sıcaklık | İlet | Klo-a | % Org mad |
|---------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| Cr | 0,414 | | | | | | | | | | | | | | |
| Cd | -0,21 | -0,12 | | | | | | | | | | | | | |
| Cu | 0,203 | 0,288 | 0,012 | | | | | | | | | | | | |
| Ni | 0,709 | 0,578 | -0,196 | 0,428 | | | | | | | | | | | |
| Fe | 0,4 | 0,747 | -0,061 | 0,292 | 0,614 | | | | | | | | | | |
| Mn | 0,445 | 0,731 | -0,029 | 0,327 | 0,677 | 0,961 | | | | | | | | | |
| Zn | 0,359 | 0,436 | -0,076 | 0,294 | 0,447 | 0,363 | 0,37 | | | | | | | | |
| B | -0,33 | -0,2 | -0,136 | -0,12 | -0,23 | -0,23 | -0,226 | -0,14 | | | | | | | |
| Pb | 0,272 | 0,318 | -0,102 | 0,224 | 0,356 | 0,29 | 0,295 | 0,284 | | | | | | | |
| pH | 0,35 | 0,062 | -0,039 | -0,14 | 0,134 | 0,071 | 0,08 | -0,07 | -0,284 | -0,142 | | | | | |
| Sıcaklık | 0,288 | 0,525 | -0,3 | 0,385 | 0,589 | 0,524 | 0,505 | 0,287 | 0,083 | 0,382 | -0,101 | | | | |
| İlet | 0,231 | -0,01 | -0,027 | 0,011 | 0,225 | 0,079 | 0,117 | 0,036 | -0,096 | -0,064 | -0,099 | 0,099 | | | |
| Klo-a | 0,326 | 0,295 | -0,112 | 0,278 | 0,509 | 0,398 | 0,445 | 0,047 | -0,145 | 0,015 | 0,209 | 0,549 | 0,331 | | |
| % Organik mad | 0,326 | 0,153 | -0,067 | 0,192 | 0,361 | 0,158 | 0,191 | 0,362 | -0,047 | 0,293 | -0,014 | 0,335 | 0,303 | 0,241 | |
| AKM | 0,228 | 0,445 | -0,033 | 0,21 | 0,614 | 0,519 | 0,607 | 0,237 | -0,051 | 0,16 | 0,006 | 0,332 | -0,008 | 0,445 | 0,116 |

* Koyu renkli rakamlar önemli ($p < 0,05$) bulunanlardır



Şekil 4.4.15. Bazı metaller ile AKM arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon grafikleri

4. 4. 3. Sedimette Bulunan Toplam Ağır Metal ve İz elementler

Uluabat Gölü yüzey sedimentinde incelenen metal konsantrasyonları ve değişim aralıkları çizelge 4.4.8’de verilmiştir. Uluaslararası olarak kabul edilmiş olan sediment kalitesi değerleri (SQVs), bölgenin toprak yapısı ve diğer özellikleri göz önüne alınarak çizelge 4.4.9’da değerlendirilmiştir (Anonim 1999, Anonim 2000 b, Burton 2002). Buna göre Cr’nin Hyalella azteca için değerlendirilen olası etki seviyesinin, şiddetli etki seviyesinin ve diğer toksik etki seviyelerinin üstünde, etki aralığı medyan değerinin altında olduğu, Cd’nin olası etki seviyesinin, toksik etki eşik seviyesinin, üst etki seviyesinin ve Hyalella azteca için değerlendirilen olası etki seviyesinin üstünde, etki aralığı medyan değerinin altında olduğu, Ni’nin tüm toksik seviyelerin üstünde olduğu, diğer metallerin herhangi bir toksik etkide bulunacak konsantrasyonlarda bulunmadıkları belirlenmiştir. Metaller arasında en düşük ve en yüksek değişim aralığı sırasıyla Cd ve Fe’e aittir. Diğer çalışılan alanlar ile karşılaştırıldığında, Uluabat Gölü sedimentinde bulunan metallerin çoğunun yakın konsantrasyon seviyelerinde oldukları, Cr, Ni ve Cd’nin diğer bölgelere göre daha yüksek değerlerde buldukları görülmüştür. Çizelge 4.4.10’da diğer çalışılan su kaynaklarında bulunan değerler ile Uluabat Gölü Sedimenti konsantrasyonlarının karşılaştırılması gösterilmiştir. Bursa İli tarım topraklarında incelenen Fe, Mn, Zn, Cu, Cd ve Ni elementleri konsantrasyonları ile sedimentte incelenen konsantrasyonlar birbirine yakın konsantrasyon aralıklarında bulunmuşlardır. Cr ve Pb değerleri sedimentte daha yüksek bulunmuştur (Aydınalp ve ark. 2005). Güney Marmara Bölgesi sanayi domatesi yetiştirilen topraklarda Cr, Pb, Ni konsantrasyonlarının sınır değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. (Başar ve ark. 2004). Tarımsal uygulamaların yoğun olduğu MKP Çayı Havzası ve Uluabat Gölü çevresi topraklarından yüzeysel akış yolu ile bu metallerin Uluabat Gölü’ne karışarak sedimentinde birikmeleri muhtemeldir. Ayrıca yüksek Ni içeriğinin toprağın kendi yapısından kaynaklandığı sanılmaktadır (Başar ve ark. 2004).

Çizelge 4.4.8. Sedimentteki toplam metallerin yıllık ortalama değerleri ve değişim aralıkları

| Metal | Ortalama | Aralık |
|-------|-------------------------|-------------------|
| As | 9,2581 ± 5,9065 | 2,9323 - 27,5761 |
| Cr | 131,6276 ± 59,2069 | 63,8713 - 315,675 |
| Cd | 5,0377 ± 3,0339 | 0,0972 - 12,5411 |
| Cu | 30,4620 ± 11,5228 | 14,4276 - 73,7899 |
| Ni | 220,0328 ± 133,0790 | 83,5795 - 669,825 |
| Fe | 27664,1972 ± 12317,1877 | 10774,5 - 63668,2 |
| Mn | 781,9467 ± 248,2939 | 415,307 - 1580,26 |
| Zn | 132,2166 ± 81,4116 | 27,0188 - 468,611 |
| B | 143,5631 ± 114,55002 | 15,5617 - 602,486 |
| Pb | 33,3769 ± 16,21583 | 8,2625 - 71,7797 |

Çizelge 4.4.9. Ululararası sediment kalite değerleri ve Uluabat Gölü sediment konsantrasyonları (Anonim 1999, Anonim 2000 b, Burton 2002).

| | As | Cr | Cd | Pb | Cu | Ni | Fe | Mn | Zn |
|------------|-------|---------|--------|--------|--------|---------|-----------|---------|---------|
| PEL | 17 | 90 | 3,53 | 91,3 | 197 | 36 | | | 315 |
| SEL | 33 | 110 | 10 | 250 | 110 | 75 | | | 820 |
| TET | 17 | 100 | 3 | 170 | 86 | 61 | | | 540 |
| ERM | 85 | 145 | 9 | 110 | 390 | 50 | | | 270 |
| PEL-HA28 | 48 | 120 | 3,2 | 82 | 100 | 33 | | | 540 |
| UET | 17 I | 95 H | 3 I | 127 H | 86 I | 43 H | 4 % I | 1100 I | 520 M |
| Bu çalışma | 9,258 | 131,627 | 5,0377 | 33,376 | 30,462 | 220,032 | 27664,197 | 781,946 | 132,216 |

ERM:Etki aralığı-Medyan

I : Infanual topluluğu etkileri

PEL: Olası etki seviyesi; kuru ağırlık

H : Hyalella azteca deneyi

SEL : Şiddetli etki seviyesi; kuru ağırlık

M : Microtox deneyi

TET : Toksik etki eşik seviyesi

PEL-HA28 : Hyalella azteca için belirlenen 28 günlük olası etki seviyesi değeri ; kuru ağırlık

UET : Üst Etki Eşik seviyesi

Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metaller ile sedimentteki metal değerleri karşılaştırıldığında, askıdaki metallerin daha düşük konsantrasyonlarda oldukları görülmüştür. Bunun nedeni olarak fırtınalı dönemlerde dipten su kolonuna geçen askıdaki katı maddenin çok fazla organik madde içermemesinin neden olabileceği düşünülmüştür. Sedimentteki molar oranları B:Fe:Mn:Ni:Cr:Zn:Cu:As:Cd:Pb için 13279:495357:14233:3748:2531:2022:479:124:45:161 ve konsantrasyonlara göre büyüklük sıralamaları Fe>Mn>Ni>B>Zn>Cr>Pb>Cu>As>Cd olarak belirlenmiştir.

Sedimentteki konsantrasyonların istasyonlara ve aylara göre değişimlerinin önemli olup olmadığını anlayabilmek için anova tablosu ile değerlendirilen istatistiksel

varyans analizi neticesinde, istasyonlara göre değişimi As, Cr, Fe, Mn ve Zn elementleri için önemli, Cd, Cu, Ni, B ve Pb elementleri için ise önemsiz olduğu $p=0,05$ 'e göre belirlenmiştir. As, Cr, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonlarının yıllık ortalama değerlerinin göl içi istasyonlara göre değişimleri şekil 4.4.16'da ve sedimentteki toplam As, Cr, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonları dağılım haritası şekil 4.4.17-şekil. 4.4.21'de gösterilmiştir. Mustafakemalpaşa Çayı'nın getirdiği taze askıda katı maddenin 3. 4. 5. istasyonlardaki sediment konsantrasyonuna etkisi olabilmektedir. Ayrıca 4. istasyon gibi daha sığ olan bölgelerde çökme daha hızlı olabildiği için sedimentteki metal oranı da artabilmektedir. Diğer 2., 1. ve 7 istasyonlarda da zaman zaman ters akımın meydana geldiği Kocasu Çayı, Akçalar Deresi ve pompa istasyonlarının etkileri olduğu düşünölmüştür.

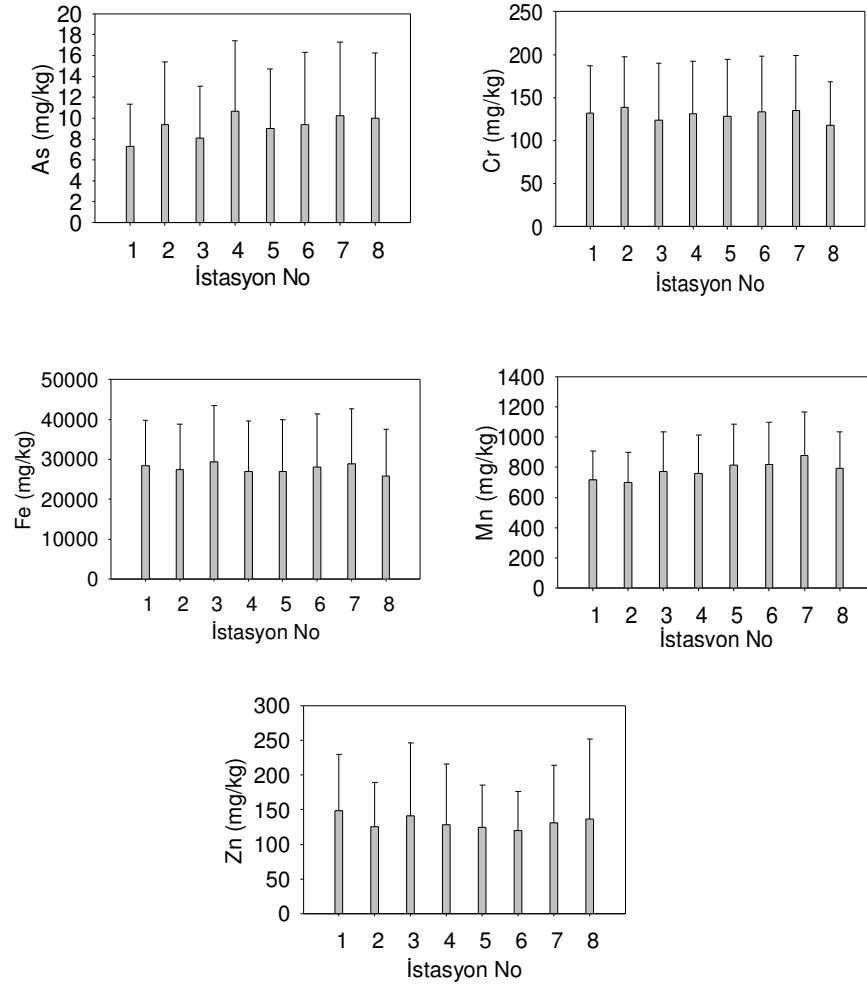
İncelenen tüm elementlerin aylara göre değişimlerinin önemli olduğu belirlenmiştir. Genel olarak yaz aylarında ve sonbahar başlarında yaşanan kurak sezonda konsantrasyonlar yüksek, kış ve ilkbahar aylarında da düşük konsantrasyonlar görölmüştür. Ancak Cd ve Ni'nin maksimum değerleri yağışlı dönemin başı olan Ekim ve Kasım Ayları'nda ve B'nin maksimum değerleri yağışlı dönemde (Nisan Ayı) bulunmuştur. Özellikle B'nin bu değişimi çözünmüş ve askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan formlarında da görölmüştür. Bu da B elementinin yağışlı dönemde göle daha çok giriş yaptığını göstermektedir. Ni'nin bu değişimine Kasım Ayı'ndaki yağışların kışa göre daha az olmasının neden olduğu düşünölmektedir. Ni'nin çözünmüş ve askıdaki katı maddelere tutunmuş formlarının konsantrasyonları yaz aylarında yüksek bulunmuştur. Ancak Kasım Ayı'nda çözünmüş formunun yüksek değerlerde bulunduğu görölmüştür. Cd için çözünmüş ve sedimentteki formlarının maksimum değerleri sonbahar aylarında, minimum değerleri ilkbahar aylarında bulunurken, askıda katı maddeye tutunmuş formunun maksimum konsantrasyonu Mart Ayı'nda belirlenmiştir. Buna göre Cd miktarının değişimine hava şartlarının, özellikle de rüzgar şiddetinin ve kirletici kaynakların konsantrasyonlarının etkisi olduğu düşünölmektedir. Bu üç elementin dışında Cu'nun suda, askıda katı maddeye tutunmuş ve sedimentte bulunan konsantrasyonlarının maksimum ve minimum değerlerini kurak sezonda almış olduğu görölmüştür. Cu'nun göle karışmasına neden olan kirletici kaynakların bazı aylarda daha az kirlilik getirdiği ve rüzgarın meydana getirdiği karışımın

konsantrasyonları etkilediği düşünölmüştür. Şekil 4.4.22’de ağır metallerin sedimentte bulunan konsantrasyonlarının aylara göre meydana gelen değışimleri gösterilmiştir.

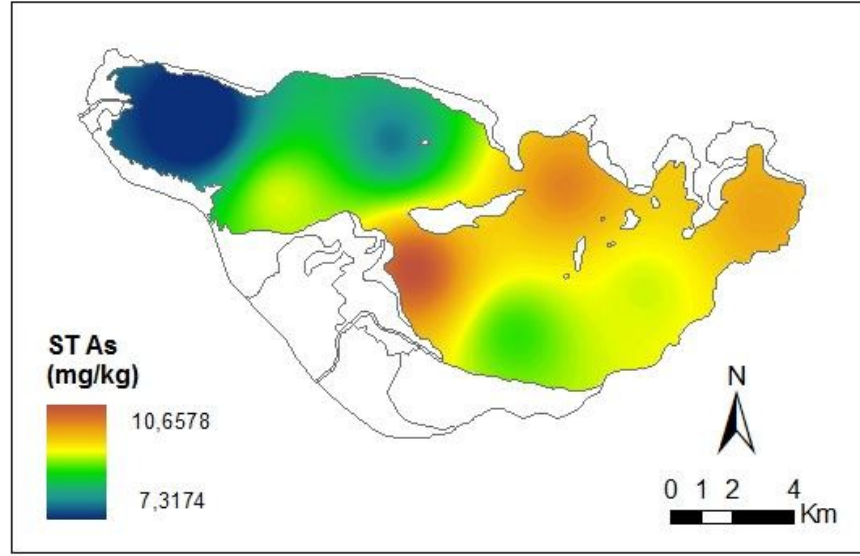
Sedimentteki metal konsantrasyonlarını, toprağın tane boyutu ve organik madde miktarı etkilemektedir. Ayrıca, sudaki askıda katı madde miktarı, sıcaklık, pH, iletkenlik ve rüzgar hızları etkilemektedir (Cuong ve ark. 2008, Mil- Homens ve ark. 2006). Bu nedenle de bu parametreler ile sedimentteki toplam metal konsantrasyonları arasında korelasyonlar kurulmuş ve önemlilik dereceleri $p=0,05$ ’e göre değerlendirilmiştir (Çizelge 4.4.11.). Buna göre metallerin çoğunun birbirleri ile olan ilişkileri önemli bulunmuştur. Ancak As’in Cu ile ve B’nin Cd ile olan ilişkileri dışında diğer metaller ile ilişkileri bulunamamıştır. Fe ve Mn’ın Cr, Cu ve birbirleri ile olan, Cr ve Cu’nun ve Pb’nin Cr, Cu, Fe ve Mn ile olan ilişkileri diğer metallere nazaran daha yüksek bulunmuştur. Bu ilişkiler bu metallerin benzer olarak hareket ettiklerini göstermektedir. Sıcaklık, AKM, pH ve iletkenliğin sanıldığı gibi her metal değil belirli metaller üzerinde etkili olduğu görölmüştür. Uluabat Gölü sedimentinin tane boyutu incelendiğinde yıllık ortalama kum, silt, kil yüzdeleri sırasıyla % 12,542, % 30,41 ve % 57,04 olarak bulunmuştur. Sedimentin killi bir yapıda olduğu görölmesine rağmen yapılan korelasyonlar sonucunda bu yapının sedimentin ağır metal konsantrasyonları üzerinde etkili olmadığını göstermiştir. Ancak, tekstür analizinin mevsimsel olarak yapılması sebebiyle hesaplamalarda daha az veri kullanılmıştır. Bu nedenle sonucun önemsiz çıkabileceği ya da % kil miktarının ağır metal düzeyini yeterince etkileyebilecek seviyede olup olmadığı tam olarak anlaşılamamıştır. Şekil 4.4.23’te % organik maddenin ve sıcaklığın sedimentteki bazı metaller ile ilişkilerini gösteren korelasyon grafikleri verilmiştir.

Çizelge 4.4.10. Diğer çalışılan su kaynaklarında bulunan değerler ile Uluabat Gölü Sedimenti konsantrasyonlarının karşılaştırılması

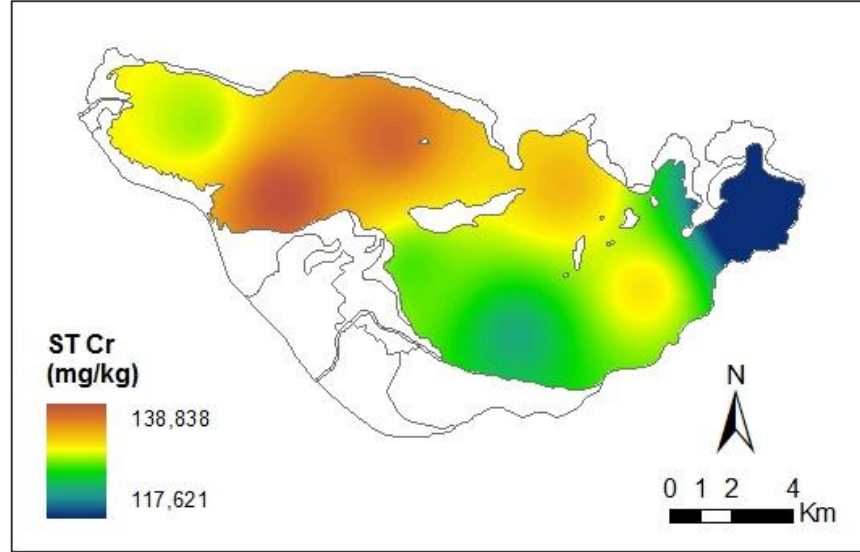
| Element | Kaynak | Ort ± SD |
|-------------------|---|-----------------------|
| Fe (mg/kg) | (Gue'guen ve Dominik 2003), Vistula Nehri | 37833,33 |
| | (Yiğiterhan ve Murray 2008), Danube Nehri | 42800 |
| | (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü | 19393± 7835 |
| | Çalışma Sonuçları | 29408,5368 ± 12952,43 |
| Mn (mg/kg) | (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü | 377±161 |
| | (Yiğiterhan ve Murray 2008), Danube Nehri | 830 |
| | (Duman ve ark. 2007), Sapanca Gölü | 354,946 |
| | Çalışma Sonuçları | 809,018 ± 264,26 |
| Cu (mg/kg) | (Yun-Zeng ve ark. 2007), Dianchi Gölü | 84,632 |
| | (Kishe ve Machiwa 2003), Victoria Gölü | 21,6±2,4 |
| | (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü | 38±34 |
| | (Woitke ve ark. 2003), Danube Nehri | 65,7±12 |
| Çalışma Sonuçları | 30,1768 ± 12,1667 | |
| Zn (mg/kg) | (Kishe ve Machiwa 2003), Victoria Gölü | 36,4±1,8 |
| | (Woitke ve ark. 2003), Danube Nehri | 187±25 |
| | (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü | 89±53 |
| | (Yiğiterhan ve Murray 2008), Danube Nehri | 170 |
| Çalışma Sonuçları | 118,37 | |
| Cr (mg/kg) | (Yun-Zeng ve ark. 2007), Dianchi Gölü | 136,707 ± 80,4683 |
| | (Yiğiterhan ve Murray 2008), Danube Nehri | 111 |
| | (Woitke ve ark. 2003), Danube Nehri | 64±6,5 |
| | (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü | 30±13 |
| Çalışma Sonuçları | 74,463 | |
| Pb (mg/kg) | (Yun-Zeng ve ark. 2007), Dianchi Gölü | 137,7188 ± 64,66 |
| | (Kishe ve Machiwa 2003), Victoria Gölü | 29,6±1,6 |
| | (Woitke ve ark. 2003), Danube Nehri | 46,3±6,8 |
| | (Duman ve ark. 2007), Sapanca Gölü | 15,96 |
| Çalışma Sonuçları | 54,42 | |
| Cd (mg/kg) | (Yun-Zeng ve ark. 2007), Dianchi Gölü | 33,3769 ± 16,21583 |
| | (Kishe ve Machiwa 2003), Victoria Gölü | 2,5±0,5 |
| | (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü | 2±3 |
| | (Woitke ve ark. 2003), Danube Nehri | 1,2±0,4 |
| Çalışma Sonuçları | 1,441 | |
| Ni (mg/kg) | Çalışma Sonuçları | 5,3984 ± 2,5594 |
| | (Duman ve ark. 2007), Sapanca Gölü | 28,923 |
| | (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü | 17±8 |
| Çalışma Sonuçları | 234,3932 ± 147,0718 | |
| Bor (mg/kg) | Çalışma Sonuçları | 143,5631 ± 114,55002 |
| As (mg/kg) | (Yun-Zeng ve ark. 2007), Dianchi Gölü | 36,637 |
| | (An ve Kampbell 2003), Texoma Gölü | 11±2 |
| | Çalışma Sonuçları | 10,0663 ± 6,5516 |



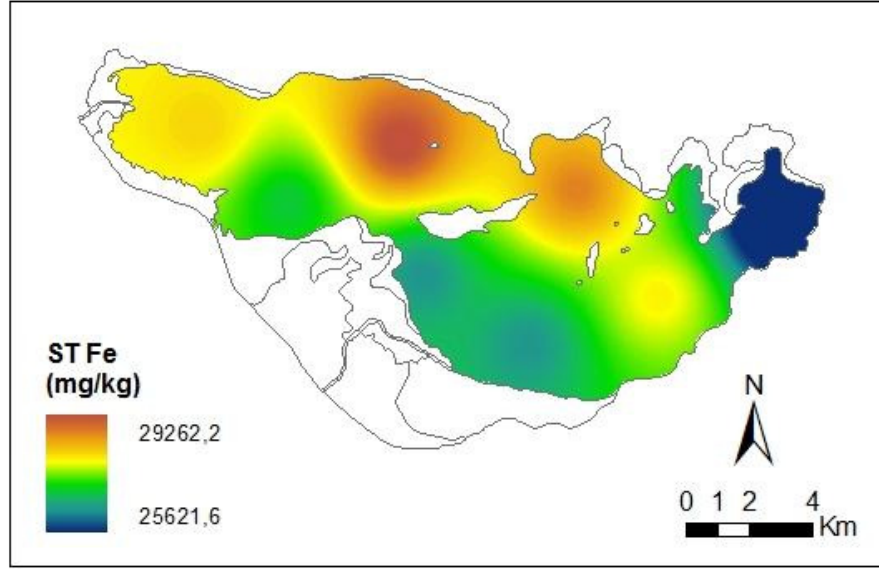
Şekil 4.4.16. Sedimentteki As, Cr, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonlarının yıllık ortalama değerlerinin göl içi istasyonlara göre değişimleri



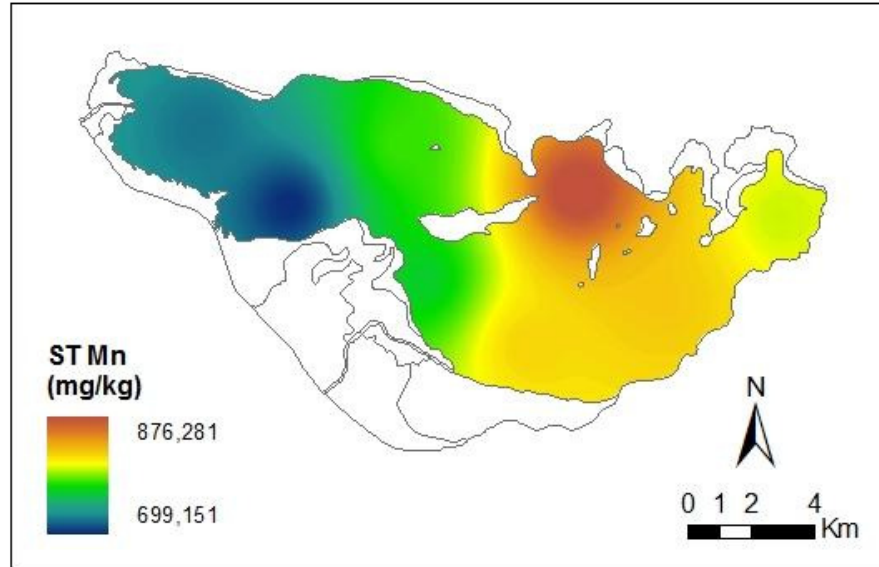
Şekil 4.4.17. Sedimentteki toplam As konsantrasyonları dağılım haritası



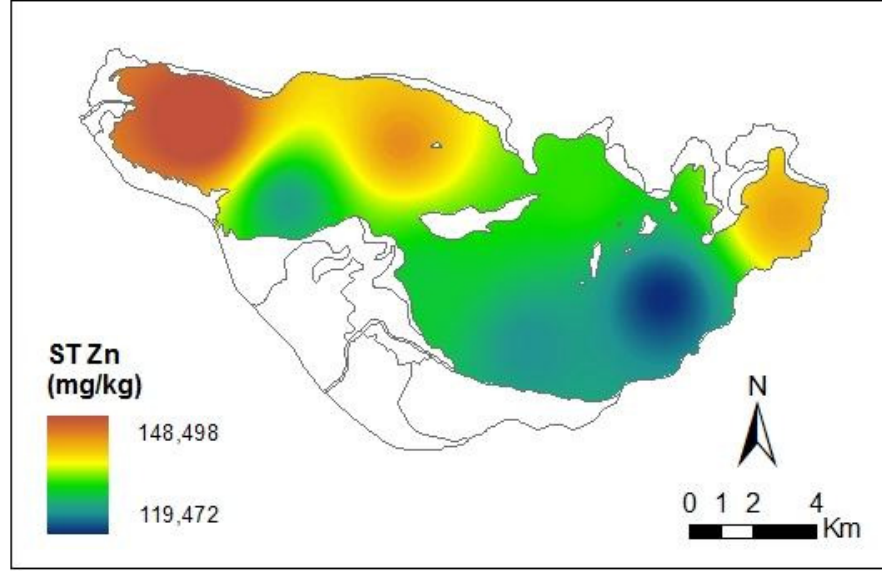
Şekil 4.4.18. Sedimentteki toplam Cr konsantrasyonları dağılım haritası



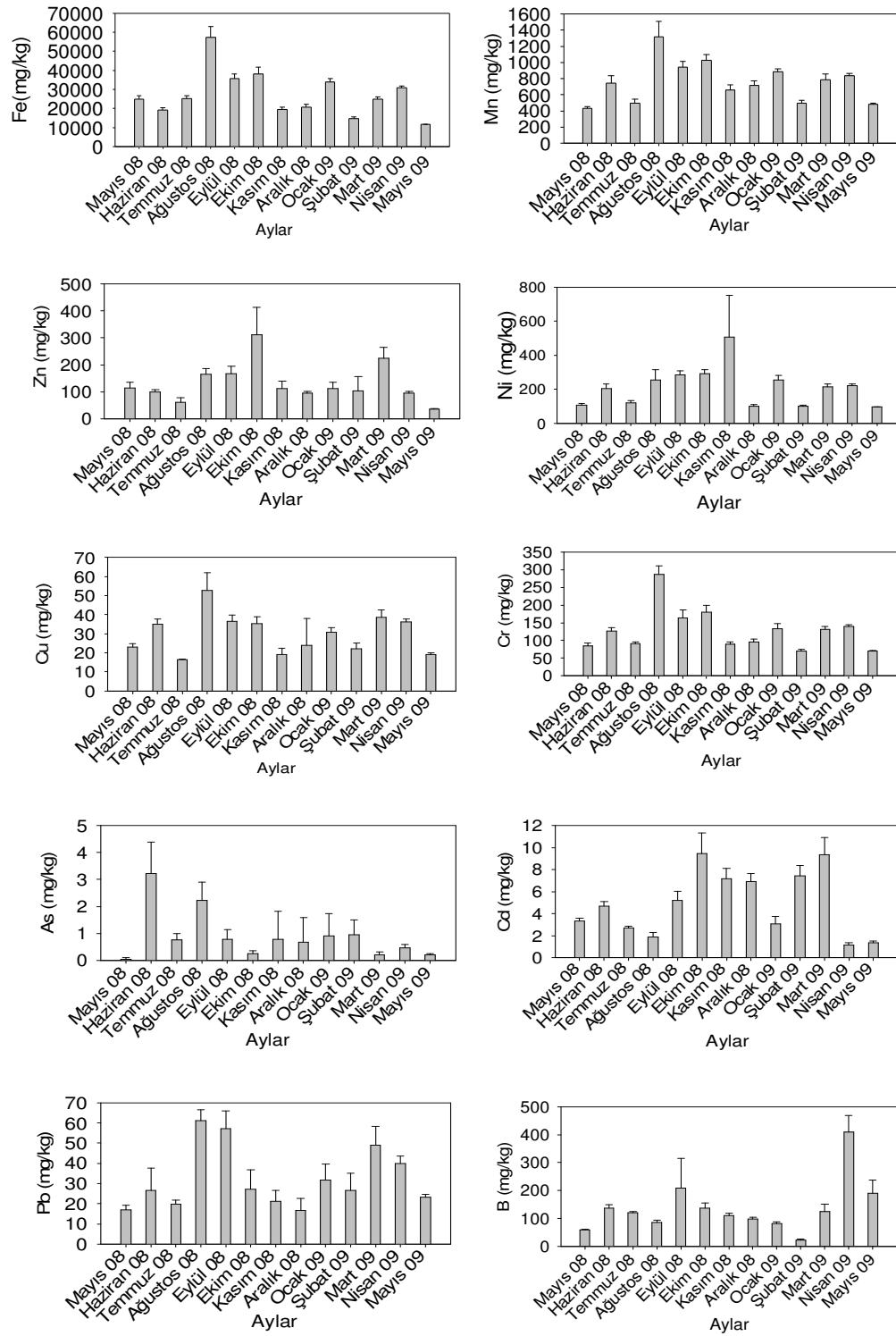
Şekil 4.4.19. Sedimentteki toplam Fe konsantrasyonları dağılım haritası



Şekil 4.4.20. Sedimentteki toplam Mn konsantrasyonları dağılım haritası



Şekil 4.4.21. Sedimentteki toplam Zn konsantrasyonları dağılım haritası

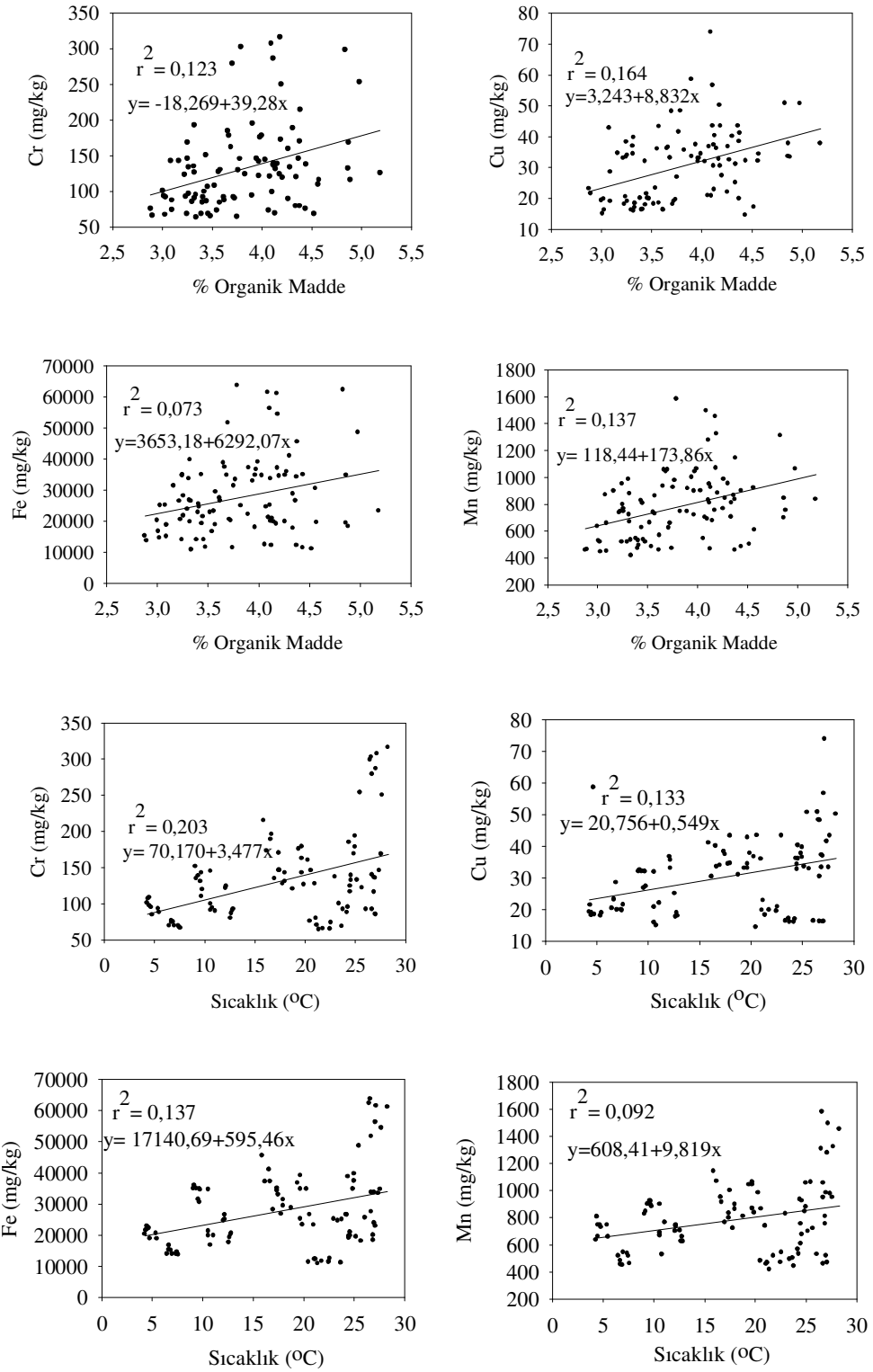


Şekil 4.4.22. Ağır metallerin sedimende bulunan konsantrasyonlarının aylara göre meydana gelen değişimleri

Çizelge 4.4.11. Su ve sediment kalitesi parametreleri ile sedimentteki toplam ağır metal ve iz element parametreleri arasındaki r korelasyon katsayıları

| | As | Cr | Cd | Cu | Ni | Fe | Mn | Zn | B | Pb | T | AKM | pH | İlet |
|-----------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------|-------|
| Cr | 0,132 | | | | | | | | | | | | | |
| Cd | 0,014 | -0,13 | | | | | | | | | | | | |
| Cu | 0,254 | 0,814 | -0,039 | | | | | | | | | | | |
| Ni | -0,102 | 0,263 | 0,225 | 0,211 | | | | | | | | | | |
| Fe | -0,015 | 0,948 | -0,175 | 0,729 | 0,279 | | | | | | | | | |
| Mn | 0,084 | 0,915 | -0,024 | 0,798 | 0,359 | 0,904 | | | | | | | | |
| Zn | 0,013 | 0,499 | 0,584 | 0,488 | 0,322 | 0,481 | 0,538 | | | | | | | |
| B | -0,144 | 0,044 | -0,311 | 0,129 | 0,046 | 0,035 | 0,05 | -0,06 | | | | | | |
| Pb | 0,015 | 0,686 | -0,143 | 0,691 | 0,152 | 0,644 | 0,63 | 0,333 | 0,141 | | | | | |
| T | 0,151 | 0,448 | -0,368 | 0,362 | 0,062 | 0,369 | 0,301 | 0,069 | 0,24 | 0,398 | | | | |
| AKM | 0,315 | 0,175 | -0,092 | 0,141 | 0,065 | 0,079 | 0,06 | -0,03 | -0,04 | 0,044 | 0,332 | | | |
| pH | -0,183 | 0,121 | 0,118 | 0,034 | -0,163 | 0,278 | 0,215 | 0,227 | -0,16 | -0,08 | -0,09 | -0,03 | | |
| İlet | -0,06 | 0,407 | 0,044 | 0,12 | 0,504 | 0,409 | 0,382 | 0,223 | -0,04 | 0,051 | 0,423 | 0,254 | 0,135 | |
| % Org Mad | 0,115 | 0,351 | -0,061 | 0,406 | 0,244 | 0,27 | 0,371 | 0,222 | -0,05 | 0,129 | 0,335 | 0,116 | -0,023 | 0,169 |

* Koyu renkli r değerleri $p < 0,05$ 'e göre önemlidir.



Şekil 4.4.23. % Organik maddenin ve sıcaklığın sedimentteki bazı metaller ile ilişkilerini gösteren korelasyon grafikleri

4. 4. 4. Sedimentte ve Askıda Katı Maddede Bulunan Ağır Metal ve İz Elementlerin Dağılım Katsayıları İle Karşılaştırılması

Doğal ortamlarda ağır metaller ve bazı iz elementler sudaki ve katı materyallerin yüzeyinde bulunan ve suyla ilişkili olan ligandlarla reaksiyona girmektedirler. Katı matriksine bağlı olan metallerin reaksiyonları sorpsiyon reaksiyonları olarak adlandırılmaktadır. Metal dağılım katsayısı (K_d : sorpsiyon dağılım katsayısı), denge halindeki, adsorblanmış metal ve iz element konsantrasyonunun (mg/kg) çözünmüş metal konsantrasyonuna (mg/l) oranıdır (4.1).

$$K_d = \frac{\text{Adsorblanan metal konsantrasyonu (mg / kg)}}{\text{Çözünmüş metal konsantrasyonu (mg / l)}} \quad (4.1)$$

Topraktaki ve yüzeysel sulardaki metal ve iz elementlerin taşınımı sırasında metallerin katı matriksine bağlanmaları sonucunda çözünmüş metal konsantrasyonlarında azalma görülmektedir. Bu durum tüm metal taşınımını etkilemektedir.

K_d (dağılım katsayısı), belirli pH ve konsantrasyon aralıklarında, belirli koşullar altında matematiksel doğrulama için kullanılmaktadır (Stumm ve Morgan 1996). Topraktaki her metalin K_d değeri, toprağın ve boşluk suyunun jeokimyasal özelliklerine bağlıdır. Aynı şekilde yüzeysel su sistemlerinde, her metal için K_d değerleri sediment ve askıdaki katı maddelerin doğal yapısına ve suyun jeokimyasal özelliklerine bağlıdır. K_d değerinin büyüklüğünde, ortamın pH'sı, topraktaki ya da yüzeysel sudaki adsorblayıcı maddenin konsantrasyonu gibi jeokimyasal parametreler etkili olmaktadır.

EPA yüzeysel sulardaki metal ve iz element dağılım katsayıları için bir kaç taşınım prosesini göz önüne almıştır. Bunlar: (1) Havzadaki yüzeysel akış suyunda toprak ve su arasında, (2) Akarsu, nehir ve göllerde askıdaki sediment ile su arasında, (3) Nehir ve göllerde sediment ve su arasında, (4) Akarsu, nehir ve göllerde çözünmüş organik karbon ile sudaki çözünmüş inorganik faz arasındadır (Anonim 2005 c).

Uluabat Gölü'nde incelenen sedimentteki, askıda katı maddeye tutunmuş haldeki ve suda çözünmüş halde bulunan metal ve iz element konsantrasyonları kullanılarak katı fazda bulunan metal ve iz elementler ile su da çözünmüş halde bulunan metaller arasındaki oranlar belirlenmiştir. Sedimentteki ve suda çözünmüş halde bulunan

metaller ve bazı iz elementler arasındaki oranların belirlenmesinde su kolonunun dip kısmındaki konsantrasyonlar kullanılmıştır. Belirlenen oranların logaritmaları alınarak literatürde bulunmuş Log K_d değerlerinin minimum, maksimum ve medyan değerleri ile karşılaştırılmıştır (Abdallah 2008, Anonim 2005 c, Ciffroy ve ark. 2009, Chetelat ve Gaillardet 2005, Kojima ve ark. 2003). Çizelge 4.4.12’de Karşılaştırmalarda kullanılan literatürden alınmış Log K_d (L/kg) değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.4.12. Karşılaştırmalarda kullanılan literatürden alınmış Log K_d (L/kg) değerleri

| Element | Kaynak | AKM/ Su | | Sediment /Su | |
|---------|---|-------------|--------|--------------|--------|
| | | Aralık | Medyan | Aralık | Medyan |
| As | Anonim 2005 c | 2 - 6 | 4 | 1,6 - 4,3 | 2,5 |
| Cr | Anonim 2005 c | 3,9 - 6 | 5,1 | 1,9 - 5,9 | 4,5 |
| Cd | Anonim 2005 c | 2,8 - 6,3 | 4,7 | 0,5 - 7,3 | 3,6 |
| Cu | Anonim 2005 c | 3,1 - 6,1 | 4,7 | 0,7 - 6,2 | 4,2 |
| Ni | Anonim 2005 c | 3,5 - 5,7 | 4,6 | 3,5 - 5,7 | 4 |
| Fe | Abdallah 2008, Kojima ve ark. 2003 | 3,66 - 4,12 | 4 | 3 - 5 | – |
| Mn | Ciffroy ve ark. 2009, Abdallah 2008 | 3,3 - 6-9 | – | 4,06 - 4,77 | 4,56 |
| Zn | Anonim 2005 c | 3,5 - 6,9 | 5,1 | 1,5 - 6,2 | 3,7 |
| B | Chetelat ve Gaillardet 2005 | 4 - 4,69 | – | – | – |
| Pb | Anonim 2005 c | 3,4 - 6,5 | 5,6 | 2 - 7 | 5,1 |

Ağır metallerin ve bazı iz elementlerin sedimentteki konsantrasyonlarının sudaki konsantrasyonlara oranlarının aylara göre değişimleri incelendiğinde, arseniğin literatürde verilen minimum ve maksimum değerlerin arasında kaldığı, genel olarak medyan değerlerinin üstünde olmakla beraber Ağustos ve Eylül Ayları’nda medyan değerlerinin altına indiği görülmüştür. Bu durum bu aylarda sedimentten suya geçişlerin olmuş olabileceğini göstermektedir. Arsenik için belirlenen Log (C_{sed}/C_{su}) değerleri en yüksek ilkbahar, en düşük yaz mevsimlerinde olmak üzere 2,17 ile 3,64 arasında değişmiştir.

Sedimentteki krom ve kadmiyumun sudaki konsantrasyonlarına oranlarının literatürdeki minimum ve maksimum değerlerin arasında, medyan değerlerinin altında

olduğu görülmüştür. Bu durum krom ve kadmiyumun sedimentten suya geçmiş olabileceğini göstermiştir. Krom için belirlenen Log (Csed/Csu) değerleri en yüksek kış, en düşük ilkbahar mevsimlerinde olmak üzere 2,007 ile 4,757 arasında, kadmiyum için belirlenen Log (Csed/Csu) değerleri en yüksek yaz, en düşük kış olmak üzere 1,22 ile 4,236 arasında değişmiştir.

Sedimentteki bakırın sudaki konsantrasyonlarına oranları incelendiğinde, literatürdeki minimum ve maksimum değerlerin arasında, medyan değerlerinin altında olduğu, Ağustos, Eylül ve Ekim Ayları'nda medyan değerlerine yaklaşıldığı ve bu aylarda bakırın sedimentteki birikiminin artarak denge durumuna geldiği görülmüştür. Bakır için belirlenen Log (Csed/Csu) değerleri en yüksek sonbahar, en düşük ilkbahar olmak üzere 2,14 ile 4,69 arasında değişmiştir.

Sedimentteki nikelin sudaki konsantrasyonlarına oranları incelendiğinde literatürdeki minimum ve maksimum değerlerin arasında, medyan değerlerine yakın bulunmuştur. Bu durum sedimentteki ve suda çözülmüş haldeki nikelin denge halinde olduğunu göstermiştir. Nikel için belirlenen Log (Csed/Csu) değerleri en yüksek sonbahar, en düşük yaz olmak üzere 2,75 ile 5,05 arasında değişmiştir.

Sedimentteki demirin sudaki konsantrasyonlarına oranlarının literatürdeki maksimum değerlere yakın olduğu görülmüştür. Bu durum demirin sedimentte depolandığını göstermektedir. Özellikle yaz aylarında (Haziran ve Temmuz) meydana gelen düşüş nedeniyle demirin suya geçmiş olabileceği görülmüştür. Manganın da demire benzer olarak literatür değerlerine yakın ve sediment ile su arasında denge halinde bulunduğu görülmüştür. Demir ve manganın Log (Csed/Csu) değerleri sırasıyla 3,75 ile 5,74 ve 3,51 ile 6,59 arasında değişmiştir. En yüksek değerleri son baharda, en düşük değerleri de demir ve mangan için sırasıyla ilkbahar ve yaz mevsiminde görülmüştür.

Sedimentteki çinkonun sudaki konsantrasyonlara oranları incelendiğinde, minimum ve maksimum literatür değerlerinin arasında, medyan değerlerinin altında bulunmuştur. Yaz aylarında oranların daha düştüğü sedimentten suya geçişlerin olmuş olabileceği görülmüştür. Çinkonun Log (Csed/Csu) değerleri en yüksek ilkbahar en düşük yaz mevsimlerinde olmak üzere 1,82 ile 4,35 arasında değişmiştir.

Sedimentteki bor konsantrasyonlarının sudaki konsantrasyonlarına oranlarının Mart, Nisan ve Mayıs Ayları'nda artmış olduğu görülmüştür. Bor için belirlenen Log

(C_{sed}/C_{su}) değerleri en yüksek ilkbahar, en düşük kiş mevsiminde olmak üzere 1,22 ile 3,038 arasında değişmiştir. Ancak sedimentteki ve suda znmş haldeki konsantrasyonların oranlarına ait K_d değerleri literatürde bulunamadığı için karşılaştırma yapılamamıştır.

Sedimentteki kurşun konsantrasyonlarının sudaki konsantrasyonlarına oranlarının literatürdeki minimum ve maksimum değerleri arasında ancak medyan değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle kurşunun sedimentten suya geçmiş olabileceği belirlenmiştir. Kurşun için belirlenen Log (C_{sed}/C_{su}) değerleri en yüksek yaz, en düşük kiş mevsimlerinde olmak üzere 1,9 ile 4,8 arasında değişmiştir.

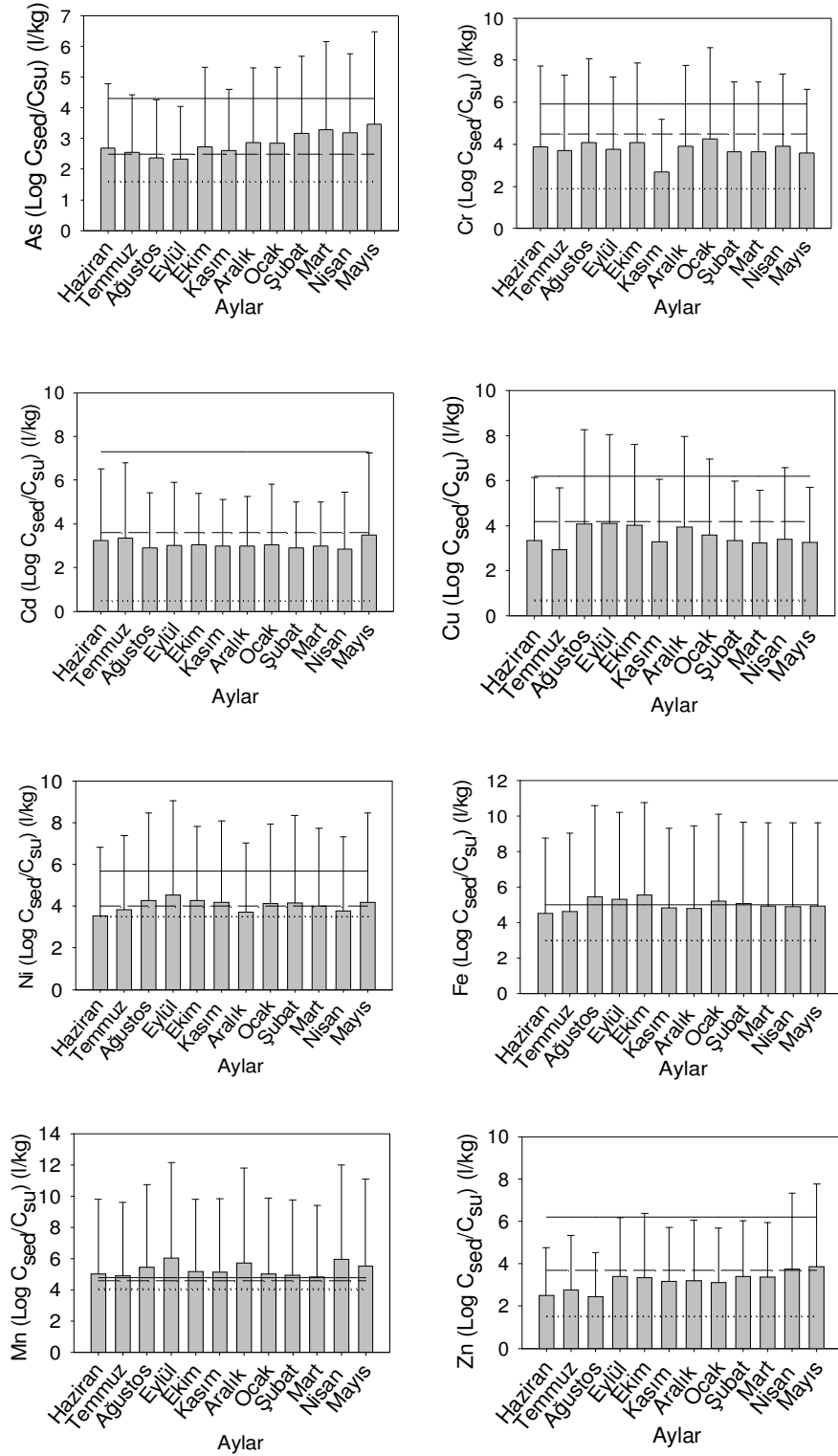
İncelenen ağır metal ve bazı iz elementlerin sedimentteki ve sudaki konsantrasyon oranlarının yıllık ortalamalarının istasyonlara göre değişimleri literatürdeki Log K_d değerlerine göre incelenmiştir. Arsenik oranlarının minimum ve maksimum değerler arasında kaldığı, medyan değerlerinin üstünde olduğu belirlenmiştir. Krom, kadmiyum ve bakır oranlarının maksimum ve minimum değerler arasında, medyan değerinin altında olduğu, özellikle en düşük değerlerin 1. istasyonda olduğu belirlenmiştir. Nikel oranlarının maksimum ve minimum değerlerin tam ortasında ve medyan değerine çok yakın olduğu ve istasyonlar arasında farklılığın olmadığı, mangan oranlarının minimum, maksimum ve medyan değerlerinin üstünde olduğu belirlenmiştir. Demirin maksimum değerlere yakın olduğu ve istasyonlar arasında farklılığın olmadığı belirlenmiştir. Çinko oranlarının medyan değerlerinin altında, ancak 7. ve 8. istasyonlarda oranların arttığı ve medyan değerine yakın olduğu grlmştir. Kurşun oranlarının maksimum ve minimum değerler arasında, medyan değerinin altında olduğu, özellikle 1. ve 2. istasyonlarda en düşük değerde ve bor oranlarının da tüm istasyonlarda birbirine yakın değerde olduğu grlmştir. Buna göre arsenik, nikel, mangan ve demir dışındaki elementlerin tüm istasyonlarda sedimentten suya geçmiş olabileceği ve özellikle de 1. ve 2. istasyonlarda % toplam karbon ve % CaCO₃'n daha düşük olması sebebiyle suya geçebilme olasılıklarının daha fazla olduğu belirlenmiştir. İstasyonlar arasındaki değişimlerine benzer olarak oranların mevsimsel ve yıllık ortalamaları literatürdeki log K_d medyan değerlerine göre karşılaştırılmıştır. Buna göre arsenik, nikel, mangan ve demirin suya geçebilme olasılıklarının daha düşük olduğu, diğer elementlerde mevsimsel farklılıklarla birlikte oranların sayısal değerlerinde değişimlerin olduğu ancak her mevsimde suya geçmiş olabilecekleri

belirlenmiştir. Çizelge 4.4.13'te İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (Csed/Csu) değerlerinin mevsimsel ve yıllık ortalamaları gösterilmiştir.

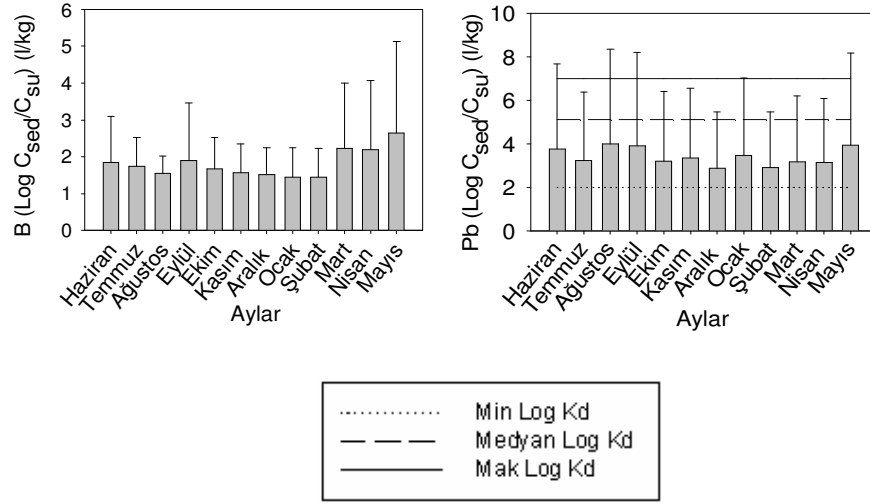
Çizelge 4.4.13. İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (Csed/Csu) değerlerinin mevsimsel ve yıllık ortalamaları

| Element | İlkbahar | | Yaz | | Sonbahar | | Kış | | Yıllık Ort | |
|---------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|------------|-------|
| | Ort | std | Ort | std | Ort | std | Ort | std | Ort | std |
| As | 3,330 | 2,982 | 2,548 | 2,146 | 2,592 | 2,424 | 2,981 | 2,651 | 2,984 | 2,956 |
| Cr | 3,733 | 3,439 | 3,922 | 3,871 | 3,780 | 3,780 | 4,143 | 4,145 | 3,876 | 3,937 |
| Cd | 3,200 | 3,530 | 3,206 | 3,287 | 3,018 | 2,660 | 3,001 | 2,560 | 3,114 | 3,293 |
| Cu | 3,307 | 2,977 | 3,698 | 3,998 | 3,932 | 3,850 | 3,691 | 3,835 | 3,708 | 3,863 |
| Ni | 4,024 | 4,084 | 3,995 | 4,049 | 4,354 | 4,334 | 4,076 | 4,035 | 4,130 | 4,186 |
| Fe | 4,922 | 4,700 | 5,060 | 5,148 | 5,331 | 5,211 | 5,092 | 4,841 | 5,117 | 5,094 |
| Mn | 5,633 | 5,856 | 5,194 | 5,163 | 5,644 | 5,936 | 5,379 | 5,816 | 5,501 | 5,817 |
| Zn | 3,705 | 3,732 | 2,586 | 2,430 | 3,314 | 2,913 | 3,242 | 2,857 | 3,365 | 3,506 |
| B | 2,404 | 2,343 | 1,728 | 1,255 | 1,734 | 1,439 | 1,467 | 0,775 | 1,990 | 2,154 |
| Pb | 3,573 | 4,023 | 3,769 | 4,124 | 3,595 | 4,045 | 3,192 | 3,364 | 3,575 | 4,007 |

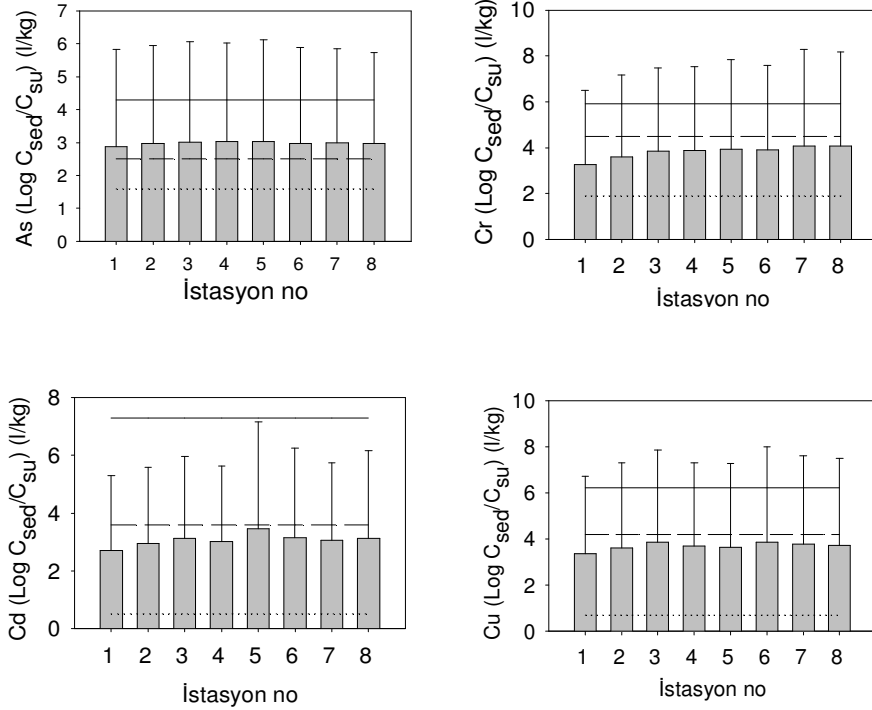
Ağır metal ve iz elementlerin sedimentteki konsantrasyonlarının suda çözülmüş haldeki konsantrasyonlarına oranlarının yıllık ortalamaları incelendiğinde, büyüklük sıralamaları Mn>Fe>Ni>Cr>Cu>Pb>Zn>Cd>As>B şeklindedir. İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (Csed/Csu) değerlerinin aylara ve istasyonlara göre değişimleri sırasıyla şekil 4.4.24 ve şekil 4.4.25'te gösterilmiştir. Grafiklerde gösterilen minimum, maksimum ve medyan Log Kd değerleri literatürden alınmıştır.



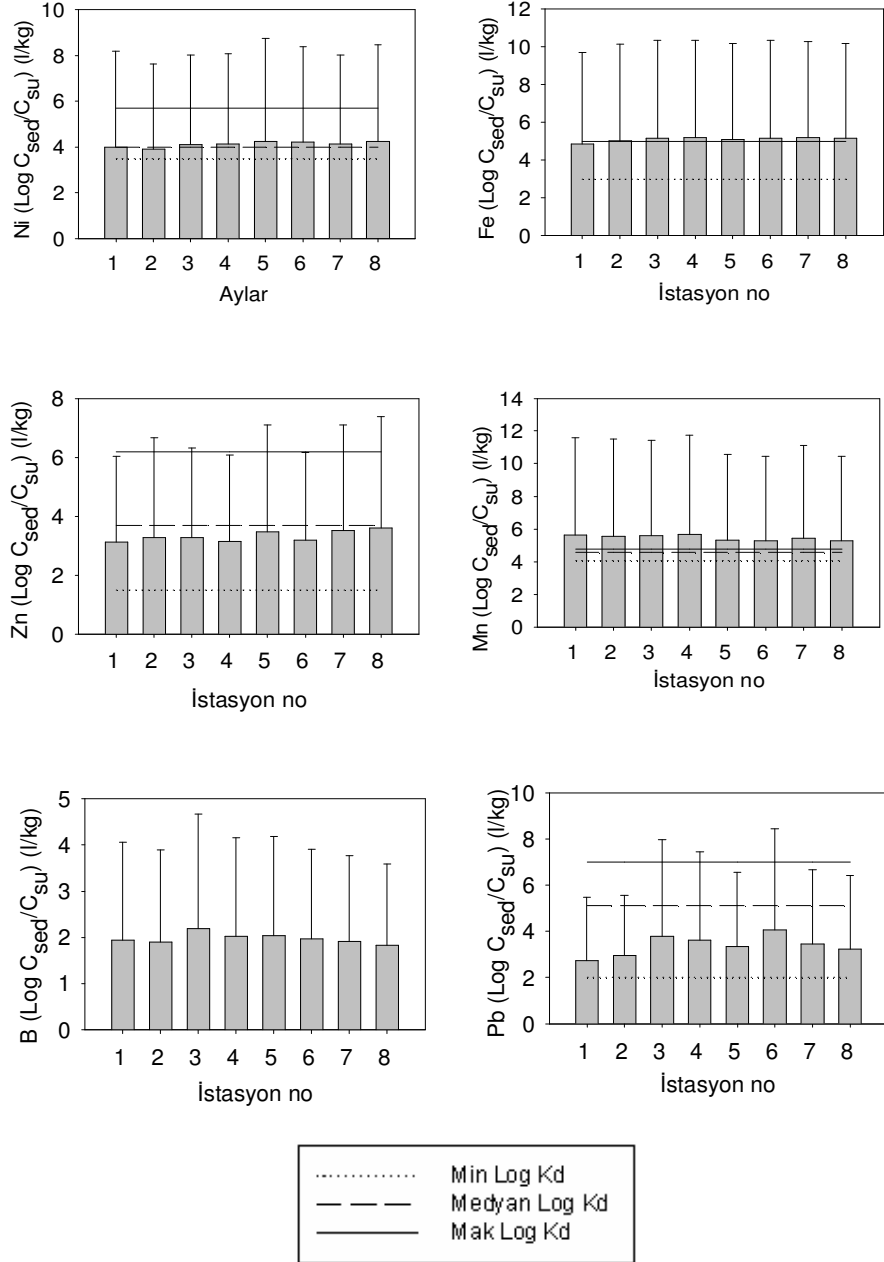
Şekil 4.4.24. İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (C_{sed}/C_{su}) değerlerinin aylara göre değişimleri



Şekil 4.4.24. (Devam) İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (C_{sed}/C_{su}) değerlerinin aylara göre değişimleri



Şekil 4.4.25. İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (C_{sed}/C_{su}) değerlerinin istasyonlara göre değişimleri



Şekil 4.4.25. (Devam) İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (C_{sed}/C_{su}) değerlerinin istasyonlara göre değişimleri

Ağır metallerin ve bazı iz elementlerin askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan konsantrasyonlarının sudaki konsantrasyonlara oranlarının aylara göre değişimleri incelendiğinde, arsenik ve bakırın literatürde verilen log K_d değerlerinin maksimum ve medyan seviyelerinden düşük, minimum değerlerine yakın oldukları, arseniğin Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim Ayları'ndaki, bakırın Temmuz, Ekim, Kasım ve Şubat Ayları'ndaki oranlarının diğer aylara göre daha düşük oldukları ve bu aylarda suya geçmiş olma olasılıklarının arttığı görülmüştür. Arseniğin Log (C_{akm}/C_{su}) değerlerinin en yüksek kısım, en düşük sonbaharda olmak üzere 0,95 ile 2,7 arasında değiştiği, bakırın Log (C_{akm}/C_{su}) değerlerinin en yüksek sonbahar, en düşük kış aylarında olmak üzere 1,48 ile 3,75 arasında değiştiği görülmüştür. Krom, kadmiyum, nikel, çinko, bor ve kurşun elementlerinin oranlarına bakıldığında, tümünün literatürdeki Log K_d değerlerinin maksimum, medyan ve minimum değerlerinden düşük oldukları, kadmiyumun Temmuz ve Nisan, nikelin Ağustos ve Eylül, çinkonun Mayıs ve kurşunun Haziran, Ağustos ve Mayıs Ayları'nda minimum Log K_d değerlerine yakın oldukları, bu aylar dışında suya geçmiş olma ihtimallerinin arttığı görülmüştür. Bor oranlarının literatürdeki maksimum ve minimum değerlerin çok altında olması suda çözülmüş halde bulunan borun önemli bir kısmının askıda katı maddeden kaynaklandığını göstermiştir. Nikel ve kurşunun Log (C_{akm}/C_{su}) değerlerinin en yüksek yaz, en düşük kısım görüldüğü, nikelin 1,106 ile 3,998 arasında, kurşunun 0 ile 4,098 arasında değiştiği belirlenmiştir. Çinko ve borun Log (C_{akm}/C_{su}) değerlerinin en yüksek ilkbahar, en düşük yaz mevsiminde olduğu, çinkonun 0,309 ile 3,942 arasında, borun 0 ile 2,689 arasında değiştiği belirlenmiştir. Kromun Log (C_{akm}/C_{su}) değerlerinin en yüksek yaz, en düşük ilkbaharda olmak üzere 0,422 ile 3,567 arasında değiştiği görülmüştür. Kadmiyumun en yüksek ve en düşük Log (C_{akm}/C_{su}) değerleri ilkbahar ve sonbaharda olmak üzere 0 ile 3,535 arasında değişmiştir. Demirin yaz aylarında, Eylül ve Ekim Ayları'nda dengede olduğu ancak diğer aylarda demir oranlarının düştüğü görülmüştür. Demirin ilkbahar, kış mevsimlerinde ve Kasım Ayı'nda askıda katı maddeden suya geçmiş olabileceği görülmüştür. Demirin en yüksek ve en düşük Log (C_{akm}/C_{su}) değerleri yaz ve ilkbaharda olmak üzere 0 ile 4,762 arasında değişmiştir. Mangan oranlarının aylara göre değişimlerine bakıldığında literatürdeki Log K_d değerlerinin maksimum ve minimum seviyelerinin arasında olduğu, Ekim, Kasım, Ocak, Şubat ve Mart Ayları'nda minimum seviyeye yaklaştığı görülmüştür. Bu aylarda manganın suya

geçmiş olabileceği belirlenmiştir. Manganın Log (Cakm/Csu) değerlerinin en yüksek sonbaharda, en düşük kışın olmak üzere 2,482 ile 5,462 arasında değiştiği görülmüştür.

Demir dışında, askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan elementlerin konsantrasyonlarının çözülmüş halde bulunan konsantrasyonlara oranlarının aylık değişimleri incelendiğinde, tüm aylarda literatürde verilmiş Log K_d medyan değerlerinin ve bazı aylarda minimum değerlerin de altında kaldıkları görülmüştür. Sedimentteki oranlarda ise elementlerin literatürdeki minimum değerlerin üstünde ve medyan değerlerine yakın bulunmuştur. Bu nedenle, ağır metal ve iz elementlerin askıda katı maddeden suya geçebilirliklerinin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeninin askıda katı maddede organik madde miktarının daha az olmasının neden olduğu anlaşılmıştır. Arsenik ve bakır dışındaki elementlerin tümünün yağışlı dönemlerde askıda katı maddeden suya geçebilme ihtimallerinin fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeninin yağışların artması ile meydana gelen yüzeysel akışların göle daha çok askıda katı madde getirmesinin olabileceği düşünülmüştür.

İncelenen ağır metal ve bazı iz elementlerin askıda katı maddedeki ve sudaki konsantrasyon oranlarının yıllık ortalamalarının istasyonlara göre değişimleri literatürdeki Log K_d değerlerine göre incelenmiştir. Buna göre incelenen elementlerin literatürdeki Log K_d değerlerinin maksimum ve medyan seviyelerinin altında olduğu ancak demirin tüm istasyonlarda denge durumunda olduğu belirlenmiştir. Literatürdeki minimum değerler ile karşılaştırıldığında krom, nikel, çinko ve borun oranlarının tüm istasyonlarda daha düşük olduğu görülmüştür. Arseniğin 2., 4. ve 6. istasyonlarda, kurşunun 3., 4. ve 6. istasyonlarda, bakırın 1. ve 2. istasyonlarda daha düşük, diğer istasyonlarda minimum değerlere yakın olduğu görülmüştür. Kadmiyumun 5. istasyonda minimum değerlere yakın, diğer istasyonlarda daha düşük seviyede olduğu, manganın tüm istasyonlarda minimum değerlerin üstünde olduğu görülmüştür. Buna göre demir dışındaki tüm elementlerin istasyonların çoğunda askıda katı maddeye tutunmuş halden suda çözülmüş hale geçmiş olabilecekleri belirlenmiştir. Şekil 4.4.26 ve şekil 4.4.27’te incelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (Cakm/Csu) değerlerinin aylara ve istasyonlara göre değişimleri gösterilmiştir.

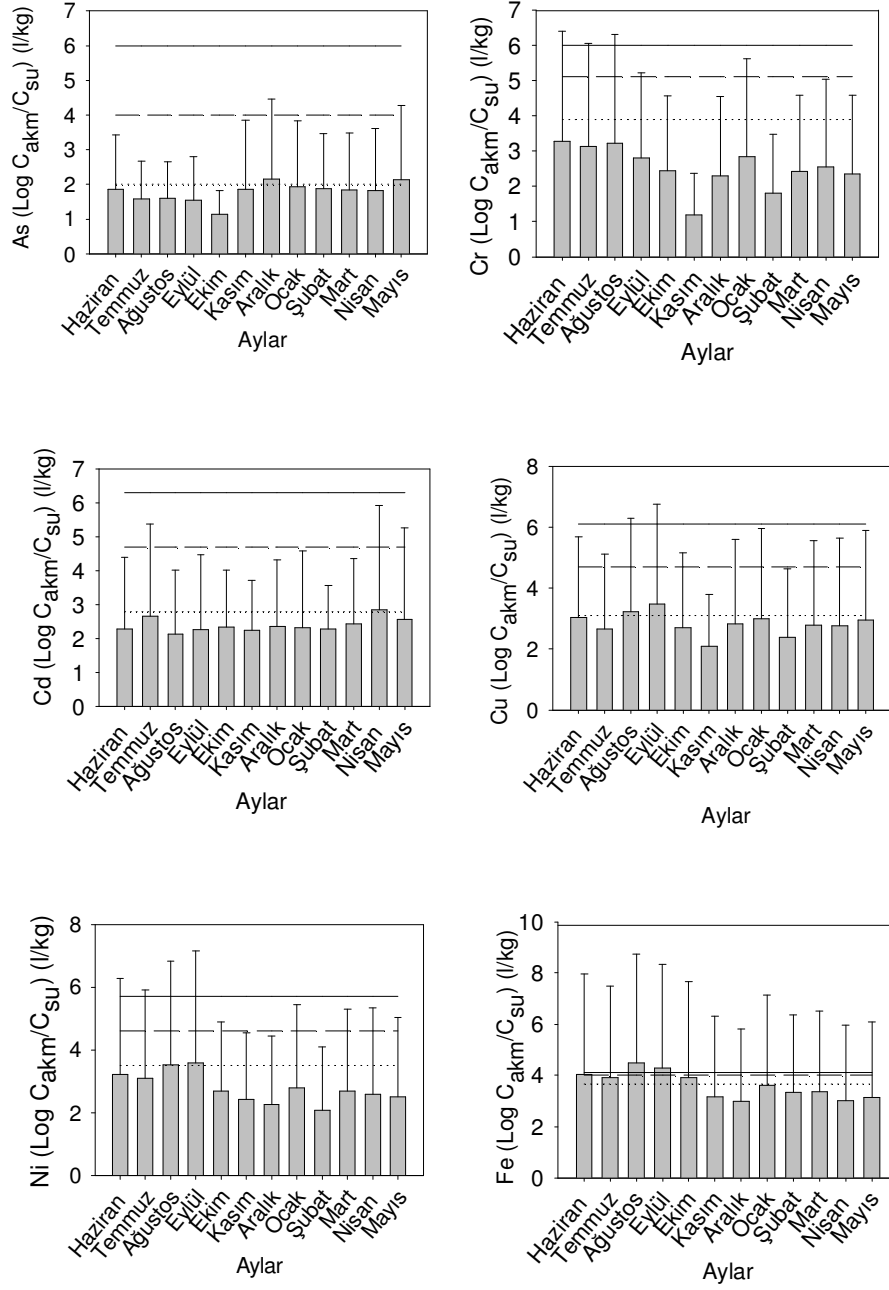
Ağır metal ve iz elementlerin Log (Cakm/Csu) değerinin mevsimsel ve yıllık ortalamaları literatürdeki Log K_d değerlerinin medyan seviyelerine göre değerlendirildiğinde, demir hariç tüm elementlerin her mevsimde suda çözülmüş hale

geçmiş olabilecekleri belirlenmiştir. Demirin yaz mevsiminde yüksek, ilkbaharda düşük, sonbahar ve kışta dengede olduğu belirlenmiştir. Buna göre demirin ilkbaharda suda çözülmüş hale geçmiş olabileceği belirlenmiştir. Yıllık ortalamalara göre de demir dışındaki tüm elementlerin askıda katı maddeden suda çözülmüş hale geçmiş olabilecekleri belirlenmiştir. Çizelge 4.4.14'te İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (Cakm/Csu) değerlerinin mevsimsel ve yıllık ortalamaları gösterilmiştir.

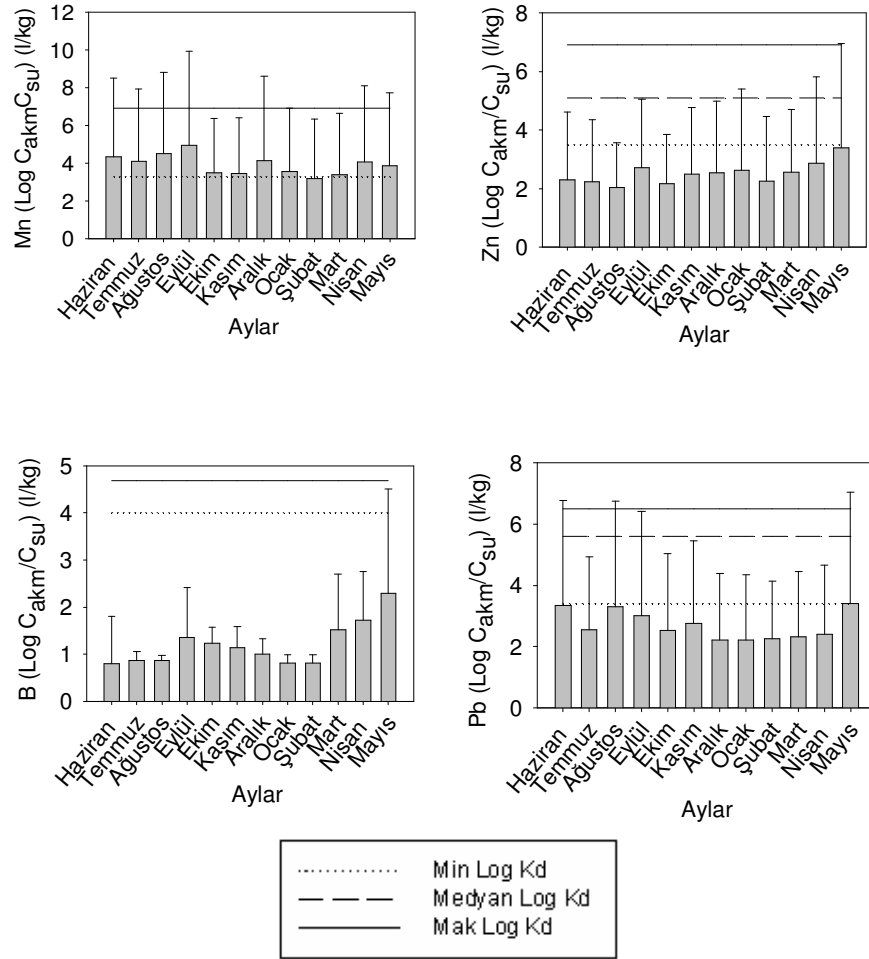
Çizelge 4.4.14. İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (Cakm/Csu) değerlerinin mevsimsel ve yıllık ortalamaları

| Element | İlkbahar | | Yaz | | Sonbahar | | Kış | | Yıllık Ort | |
|---------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|------------|-------|
| | Ort | std | Ort | std | Ort | std | Ort | std | Ort | std |
| As | 1,962 | 1,969 | 1,698 | 1,445 | 1,603 | 1,782 | 2,014 | 2,098 | 1,853 | 1,943 |
| Cr | 2,451 | 2,339 | 3,219 | 3,048 | 2,488 | 2,486 | 2,499 | 2,648 | 2,806 | 2,932 |
| Cd | 2,653 | 2,877 | 2,427 | 2,515 | 2,286 | 1,987 | 2,320 | 2,059 | 2,447 | 2,627 |
| Cu | 2,839 | 2,863 | 3,032 | 2,940 | 3,086 | 3,228 | 2,808 | 2,834 | 2,958 | 3,035 |
| Ni | 2,601 | 2,647 | 3,326 | 3,212 | 3,195 | 3,422 | 2,497 | 2,549 | 3,041 | 3,239 |
| Fe | 3,190 | 3,073 | 4,225 | 4,179 | 3,997 | 4,012 | 3,380 | 3,377 | 3,885 | 4,042 |
| Mn | 3,847 | 3,922 | 4,346 | 4,227 | 4,488 | 4,835 | 3,808 | 4,218 | 4,220 | 4,572 |
| Zn | 3,079 | 3,352 | 2,199 | 2,163 | 2,512 | 2,341 | 2,495 | 2,600 | 2,698 | 3,081 |
| B | 1,973 | 2,071 | 0,843 | 0,752 | 1,250 | 0,879 | 0,880 | 0,371 | 1,500 | 1,836 |
| Pb | 2,995 | 3,418 | 3,179 | 3,360 | 2,806 | 3,156 | 2,234 | 2,070 | 2,918 | 3,282 |

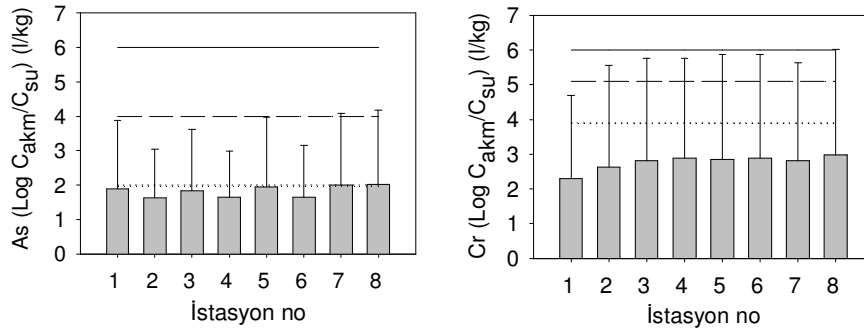
Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının suda çözülmüş halde bulunan konsantrasyonlarına oranlarının yıllık ortalamaları değerlendirildiğinde, büyüklük sıralaması $Mn > Fe > Ni > Cu > Pb > Cr > Zn > Cd > As > B$ şeklindedir. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan ağır metal ve iz elementlerin sudaki oranlarının sedimentteki oranların büyüklük sıralamasıyla karşılaştırıldığında, bakırın, kurşun ve kromdan daha yüksek orana sahip olduğu belirlenmiştir. Pb ve Cd için belirlenen K_d değerlerinin yüksek, Ni ve Cu için belirlenen K_d değerlerinin düşük olması durumu kirliliğin az olduğu bölgelerde görülmüştür (Nguyen ve ark. 2005a). Buna göre Uluabat Gölü'nde ağır metal ve iz element açısından kirliliğin yüksek olduğu söylenebilir. Sediment/ su oranlarının, AKM/su oranlarına göre, arsenikte 1,61, kromda 1,38, kadmiyumda 1,27, bakırda 1,25, nikelde 1,58, demirde 1,317, manganda 1,30, çinkoda 1,4, borda 1,26 ve kurşunda 1,22 kat fazla ve sedimentteki birikimin askıda katı maddeye nazaran daha çok olduğu belirlenmiştir.



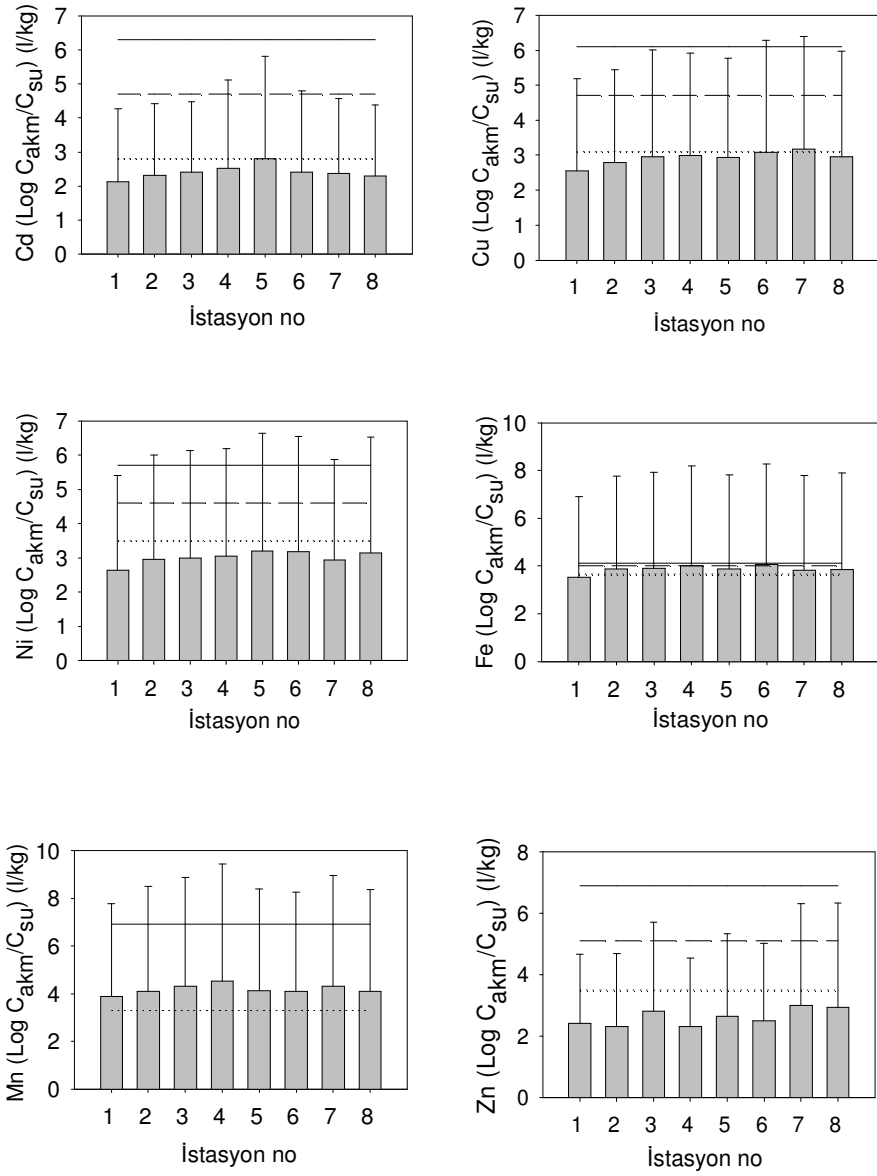
Şekil 4.4.26. İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (C_{akm}/C_{su}) değerlerinin aylara göre değişimleri



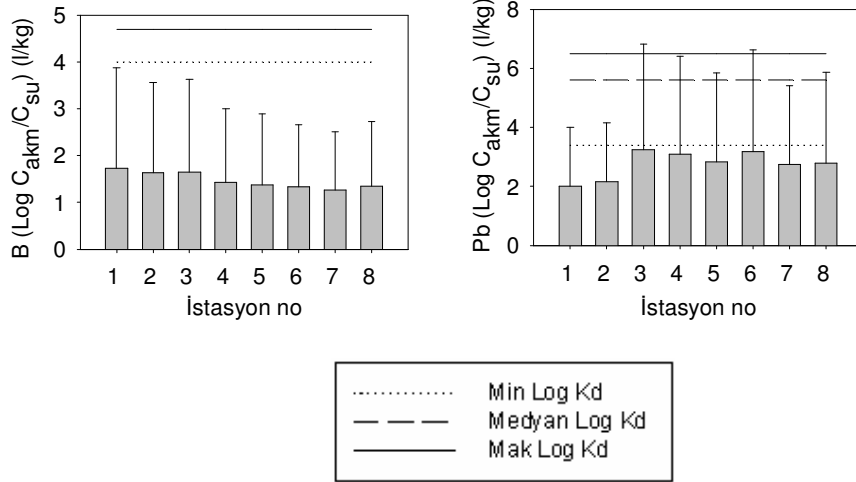
Şekil 4.4.26. (Devam) İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (C_{akm}/C_{su}) değerlerinin aylara göre değişimleri



Şekil 4.4.27. İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (C_{akm}/C_{su}) değerlerinin istasyonlara göre değişimleri



Şekil 4.4.27. (Devam) İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (C_{akm}/C_{su}) değerlerinin istasyonlara göre değişimleri



Şekil 4.4.27. (Devam) İncelenen ağır metal ve iz elementlerin Log (C_{akm}/C_{su}) değerlerinin istasyonlara göre değişimleri

4. 4. 5. Su Kolonundan Sedimente Geçen Ağır Metal ve İz Element Akılarının Belirlenmesi

Su ve sediment arasındaki geçişi belirlemek için kullanılan metotlardan biri, Fick Yasasıdır (4.2). Bu yasa, moleküler difüzyonla, elementlerin değişimini tanımlamaktadır.

$$F = - D (C / z) \quad (4.2)$$

Bu denklemde; F: Akı, D: Sedimentteki element için difüzyon katsayısı, C/z: sediment-su ara yüzeyinde elementin konsantrasyon değişimidir. D, poroziteye bağlıdır. Konsantrasyon değişimi, elementlerin sudaki ve sedimentteki konsantrasyonlarından belli olmaktadır. Porozite, sedimentin yoğunluğundan ve su içeriğinden belirlenmektedir (Thibodeaux 1996). Elde edilen konsantrasyon sonuçları ve sediment porozitesi değeri kullanılarak sedimentten suya geçen ağır metal ve iz element miktarı hesaplanabilmektedir. Tez çalışması kapsamında sedimentin yüzey tabakasının incelenmesi sebebiyle sediment tabakasında, derinlik boyunca inceleme yapılmamıştır.

Bu nedenle su kolonundan sedimentte geçen ağır metal ve iz element miktarı belirlenmiştir.

Göl ortamı bir reaktör olarak kabul ederek Fick Yasası'na göre kütle dengesi (4.3) aşağıdaki gibi yazılabilmektedir (Chapra 1997).

$$V \frac{dC}{dt} = -JA \quad (4.3)$$

V: hacim, C: konsantrasyon, t: zaman

J: akı, A: iki hacim arasındaki alan

$$J = V_s C$$

V_s: çökme hızı

Çökme hızı, parçacıkların tane büyüklüğüne ve yoğunluklarına bağlı olarak Stokes Yasası'na göre (Taillefert ve Gaillard 2002) aşağıdaki denklem (4.4) ile belirlenebilmektedir:

$$V_s = \frac{(\rho_p - \rho_w)gd^2}{18\eta} \quad (4.4)$$

ρ_p : parçacığın yoğunluğu (g/cm³)

ρ_w : su yoğunluğu (g/cm³)

g: yer çekimi sabiti (g/cm²)

d: parçacığın çapı (cm)

η : suyun viskozitesi (g/cm s)

Doğal sularda bulunan parçacıkların çökme hızları çaplarına göre belirlenmiştir (Chapra 1997). Kil parçacıklarının boyutu 2 ile 4 µm arasında, çökme hızları 0,3 ile 1 m/gün arasında değişmektedir. Yoğunlukları 2 ile 3,3 g/cm³ arasında değişse de genel olarak minerallerin yoğunluğu 2,65 g/cm³ olarak alınabilmektedir (Ünal ve Başkaya 1981, Chapra 1997). Demir-oksit parçacıkları üzerine yapılan bir çalışmada, 0,45 ile 3 µm boyutunda 1,6 (±0,15) x10⁻⁵cm/s ile 58,8 (±5,4) x10⁻⁵cm/s arasında çökme hızları

bulunmuştur (Taillefert ve Gaillard 2002). Uluabat Gölü sediment tane boyutunun tekstür analizi ile belirlenmesi sonucunda % 57,046 ile kil, % 30,41 silt, % 12,54 ile kum yapısına sahip ve kil boyutunun baskın olduğu belirlenmiştir. Trofik seviye indeksine göre yapılan değerlendirmeler neticesinde de gölde büyük partiküllerin baskın olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan (AKMTH) ağır metal ve iz elementlerin 0,45 µm gözenek çapındaki milipore filtre kağıdından süzülerek belirlenmiş olması sebebiyle daha küçük taneciklere tutunmuş olan ağır metal ve iz elementler belirlenmemiştir. Uluabat Gölü sediment yapısının büyük oranda kil boyutunda olması, su kolonunda küçük partiküllerin baskın olduğunun bulunması ve sığ bir göl olan Uluabat Gölü'nde sedimentin rüzgar etkiyle suya karışması nedeni ile kil parçacıklarının boyutunun orta değeri olan 3 µm, en büyük değeri olan 4 µm ve askıda katı maddenin en küçük boyutu olan 0,45 µm'deki tanecikler için çökme hızları Stokes Yasası'na göre belirlenmiştir. Buna göre çökme hızları, 0,45 µm çapındaki tanecikler için 0,0112 m/gün, 3 µm çapındaki tanecikler için 0,4993 m/gün, 4 µm çapındaki tanecikler için 0,8879 m/gün olarak belirlenmiştir. AKMTH bulunan ağır metal ve iz elementlerin mevsimsel konsantrasyonları mg/m³ birimine çevrilerek çökme hızları ile çarpılmıştır ve su kolonundan sedimente geçen akı hesaplanmıştır. Akılar, DSİ'nin 1995 yılı batimetrik ölçüm çalışmalarından elde edilmiş olan su kotu ve göl yüzey alanı değerleri ve 2008-2009 yılı su kotu değerleri kullanılarak her mevsim için bulunmuş göl yüzey alanları ile çarpılarak sedimentteki birikim hesaplanmıştır. Buna göre Uluabat Gölü ilkbahar mevsimi yüzey alanı 4,7625 m su kotu için 164,7 km², yaz mevsimi yüzey alanı 2,881 m su kotu için 134,6 km², sonbahar mevsimi yüzey alanı 2,687 m su kotu için 131,2 km², kış mevsimi yüzey alanı 4,135 m su kotu için 158,1 km² ve yıllık ortalama su kotu olan 3,61 m için yüzey alanı 149,4 km² olarak belirlenmiştir.

Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan ağır metal ve iz elementlerin çökelmeleri neticesinde meydana gelen sedimentteki birikim için hesaplanan mevsimsel akı değerleri incelendiğinde, Cr, Ni, Mn ve Zn'nin en yüksek yaz, en düşük kış aylarında, As ve Fe'nin en yüksek yaz, en düşük ilkbahar aylarında, Pb ve Cu'nun en yüksek ve en düşük sırasıyla yaz ve sonbahar aylarında, Cd ve B'nin en yüksek ilkbahar, en düşük yaz aylarında sedimente çöklediği görülmüştür. Mevsimler arasındaki akı değişimlerinin konsantrasyonlar ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. B ve Cd dışında diğer tüm elementlerin yaz aylarında daha çok çökelmekte oldukları görülmüştür. Her

üç boyuttaki taneciğin akıları incelendiğinde, doğal olarak çapı büyük olanların daha çok çöktüğü görülmektedir. Çizelge 4.4.15, 4.4.16, 4.4.17, 4.4.18’de her tanecik boyutu için hesaplanan ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri akı değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.4.15. Her tanecik boyutu ve ilkbahar mevsimi için hesaplanan akı değerleri

| Element | J - 0,45 μ m (g/m ² gün) | | J - 3 μ m (g/m ² gün) | | J - 4 μ m (g/m ² gün) | |
|---------|---|--------|--------------------------------------|----------|--------------------------------------|----------|
| | Ort | std | Ort | std | Ort | std |
| As | 0,0089 | 0,0098 | 0,3946 | 0,4364 | 0,7016 | 0,7760 |
| Cr | 0,1515 | 0,0098 | 6,7541 | 0,4364 | 12,0108 | 0,7760 |
| Cd | 0,0420 | 0,0446 | 1,8704 | 1,9878 | 3,3261 | 3,5348 |
| Pb | 0,2431 | 0,1202 | 10,8362 | 5,3605 | 19,2698 | 9,5324 |
| Cu | 0,1974 | 0,2877 | 8,8006 | 12,8258 | 15,6501 | 22,8079 |
| Ni | 0,1758 | 0,2049 | 7,8380 | 9,1355 | 13,9383 | 16,2456 |
| B | 2,4110 | 1,8085 | 107,4854 | 80,6215 | 191,1402 | 143,3683 |
| Fe | 10,5323 | 8,3815 | 469,5330 | 373,6507 | 834,9656 | 664,4592 |
| Mn | 0,5597 | 0,4854 | 24,9499 | 21,6386 | 44,3681 | 38,4797 |
| Zn | 0,5350 | 0,6184 | 23,8507 | 27,5704 | 42,4135 | 49,0281 |

Çizelge 4.4.16. Her tanecik boyutu ve yaz mevsimi için hesaplanan akı değerleri

| Element | J - 0,45 μ m (g/m ² gün) | | J - 3 μ m (g/m ² gün) | | J - 4 μ m (g/m ² gün) | |
|---------|---|----------|--------------------------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|
| | Ort | std | Ort | std | Ort | std |
| As | 0,0614 | 0,0382 | 2,7361 | 1,7009 | 4,8656 | 3,0247 |
| Cr | 1,1231 | 0,9170 | 50,0678 | 40,8799 | 89,0351 | 72,6963 |
| Cd | 0,0207 | 0,0168 | 0,9212 | 0,7509 | 1,6381 | 1,3353 |
| Pb | 0,3625 | 0,5070 | 16,1594 | 22,6013 | 28,7362 | 40,1917 |
| Cu | 0,2708 | 0,1784 | 12,0717 | 7,9546 | 21,4670 | 14,1456 |
| Ni | 1,4556 | 0,8744 | 64,8914 | 38,9816 | 115,3957 | 69,3205 |
| B | 0,3946 | 0,2653 | 17,5900 | 11,8264 | 31,2802 | 21,0308 |
| Fe | 171,5476 | 110,7558 | 7647,6537 | 4937,5310 | 13599,7431 | 8780,3600 |
| Mn | 3,7196 | 2,7497 | 165,8197 | 122,5832 | 294,8755 | 217,9884 |
| Zn | 1,3690 | 1,0046 | 61,0326 | 44,7867 | 108,5336 | 79,6438 |

Çizelge 4.4.17. Her tanecik boyutu ve sonbahar mevsimi için hesaplanan akı değerleri

| Element | J - 0,45µm (g/m ² gün) | | J - 3 µm (g/m ² gün) | | J - 4 µm (g/m ² gün) | |
|---------|-----------------------------------|---------|---------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| | Ort | std | Ort | std | Ort | std |
| As | 0,0180 | 0,0202 | 0,8033 | 0,8985 | 1,4285 | 1,5979 |
| Cr | 0,2535 | 0,2210 | 11,3030 | 9,8525 | 20,0999 | 17,5207 |
| Cd | 0,0398 | 0,2210 | 1,7738 | 9,8525 | 3,1543 | 17,5207 |
| Pb | 0,1625 | 0,0796 | 7,2432 | 3,5497 | 12,8804 | 6,3125 |
| Cu | 0,0855 | 0,0895 | 3,8128 | 3,9888 | 6,7802 | 7,0932 |
| Ni | 0,4453 | 0,3859 | 19,8496 | 17,2047 | 35,2983 | 30,5950 |
| B | 1,4409 | 0,5432 | 64,2345 | 24,2146 | 114,2276 | 43,0606 |
| Fe | 44,0640 | 46,3608 | 1964,3892 | 2066,7804 | 3493,2529 | 3675,3341 |
| Mn | 1,2187 | 1,1012 | 54,3279 | 49,0904 | 96,6108 | 87,2969 |
| Zn | 0,7842 | 0,4146 | 34,9619 | 18,4841 | 62,1723 | 32,8700 |

Çizelge 4.4.18. Her tanecik boyutu ve kış mevsimi için hesaplanan akı değerleri

| Element | J - 0,45µm (g/m ² gün) | | J - 3 µm (g/m ² gün) | | J - 4 µm (g/m ² gün) | |
|---------|-----------------------------------|---------|---------------------------------|----------|---------------------------------|-----------|
| | Ort | std | Ort | std | Ort | std |
| As | 0,0251 | 0,0230 | 1,1208 | 1,0264 | 1,9932 | 1,8252 |
| Cr | 0,0789 | 0,0702 | 3,5153 | 3,1275 | 6,2513 | 5,5616 |
| Cd | 0,0361 | 0,0180 | 1,6093 | 0,8021 | 2,8619 | 1,4263 |
| Pb | 0,1357 | 0,0931 | 6,0497 | 4,1491 | 10,7581 | 7,3783 |
| Cu | 0,0838 | 0,1162 | 3,7366 | 5,1816 | 6,6447 | 9,2143 |
| Ni | 0,1369 | 0,1594 | 6,1037 | 7,1049 | 10,8541 | 12,6346 |
| B | 0,5027 | 0,3243 | 22,4121 | 14,4571 | 39,8552 | 25,7089 |
| Fe | 15,0048 | 13,1773 | 668,9189 | 587,4487 | 1189,5315 | 1044,6540 |
| Mn | 0,5461 | 0,3826 | 24,3443 | 17,0580 | 43,2912 | 30,3340 |
| Zn | 0,5022 | 0,7099 | 22,3888 | 31,6465 | 39,8138 | 56,2766 |

Belirlenen akıların tümünün yıllık ortalamaları alındığında, büyüklük sıralaması, Fe>Mn>B>Zn>Ni>Cr>Pb>Cu>Cd>As şeklinde, konsantrasyonların büyüklük sıralamasıyla benzer olarak bulunmuştur. Akıların Uluabat Gölü yüzey alanının mevsimsel değerleri ile çarpımı sonucu belirlenen günlük çökelen kütle miktarları (birikim) tonlar mertebesinde bulunmuştur. Çizelge 4.4.19'da Uluabat Gölü sedimentine günlük çökelen ağır metal ve iz element miktarının mevsimsel ve yıllık ortalama değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.4.19. Uluabat Gölü sedimentine günlük çökelen ağır metal ve iz element miktarının mevsimsel ve yıllık ortalama değerleri

| | Çökelen Kütle (ton/gün) | | | | | | | | | |
|----|-------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|------------|----------|
| | İlkbahar | | Yaz | | Sonbahar | | Kış | | Yıllık Ort | |
| | Ort | std | Ort | std | Ort | std | Ort | std | Ort | std |
| As | 60,67 | 57,17 | 343,82 | 324,02 | 98,39 | 92,72 | 165,43 | 155,91 | 176,26 | 166,11 |
| Cr | 1038,51 | 978,71 | 6291,47 | 5929,16 | 1384,44 | 1304,72 | 518,86 | 488,98 | 2474,53 | 2332,03 |
| Cd | 287,59 | 271,03 | 115,75 | 109,09 | 217,26 | 204,75 | 237,54 | 223,86 | 215,31 | 202,91 |
| Pb | 1666,16 | 1570,21 | 2030,58 | 1913,64 | 887,18 | 836,09 | 892,92 | 841,50 | 1404,81 | 1323,91 |
| Cu | 1353,18 | 1275,26 | 1516,92 | 1429,56 | 467,01 | 440,11 | 551,51 | 519,75 | 991,04 | 933,96 |
| Ni | 1205,17 | 1135,77 | 8154,19 | 7684,61 | 2431,27 | 2291,26 | 900,89 | 849,01 | 3440,97 | 3242,81 |
| B | 16526,91 | 15575,18 | 2210,34 | 2083,06 | 7867,76 | 7414,68 | 3307,98 | 3117,49 | 7382,53 | 6957,40 |
| Fe | 72195,19 | 68037,68 | 960996,64 | 905655,59 | 240607,95 | 226752,03 | 98731,08 | 93045,44 | 376332,9 | 354660,9 |
| Mn | 3836,28 | 3615,36 | 20836,74 | 19636,81 | 6654,35 | 6271,14 | 3593,17 | 3386,25 | 9395,15 | 8854,11 |
| Zn | 3667,28 | 3456,09 | 7669,29 | 7227,64 | 4282,30 | 4035,69 | 3304,54 | 3114,24 | 4959,55 | 4673,94 |

4. 4. 6. Çözünmüş Halde, Askıda Katı Maddeye Tutunmuş Halde Bulunan ve Sedimentteki Toplam Ağır Metal ve İz Elementlerin Birlikte Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, Uluabat Gölü'nün farklı bölgelerini temsil eden 8 istasyonda, suda, askıda katı maddede ve sedimentte olmak üzere ağır metaller incelenmiştir. Suda çözünmüş ve askıda katı maddeye tutunmuş halde incelenen ağır metaller, su kolonu boyunca yüzey ve dip tabakalarında belirlenmiştir. Genel olarak, en yüksek konsantrasyonlar sedimentte görülmüştür. Özellikle de 2.,3., 4. ve 5. istasyonların MKP Çayı'na yakın ve buralardaki askıda katı madde konsantrasyonlarının yüksek olması, 1. istasyonun gölün çıkış bölgesinde bulunmasına rağmen, Uluabat ve Atabay pompa istasyonları ile zaman zaman ters akımın olduğu Kocasu Çayı'na yakın olması, 8. ve 7. istasyonlarda Akçalar Deresi'ne yakınlık dolayısıyla organik kirlenmenin yüksek olması sedimentte bulunan metal konsantrasyonlarını arttırmıştır.

Yüzey sularının çoğunda, sedimentteki ağır metal konsantrasyonları ile askıda katı madde miktarı arasında ilişki görülmüştür. Bu durum, Uluabat Gölü için As parametresi için geçerli olmuştur. Bunun dışında iletkenliğin, pH'ın özellikle de sıcaklık ve organik madde miktarının sediment konsantrasyonlarını pozitif yönde etkilediği bulunmuştur.

Metallerin konsantrasyon ortalamalarına göre büyüklük sıralamaları, suda çözünmüş metaller için B>Fe>Zn>Cr>Pb>Ni>As>Cu>Mn>Cd, askıda katı maddeye

tutunmuş metaller için $Fe > Mn > B > Zn > Ni > Cr > Pb > Cu > Cd > As$, sediment için $Fe > Mn > Ni > B > Zn > Cr > Pb > Cu > As > Cd$ dir. Özellikle, çözülmüş halde bulunan metallerin Uluabat Gölü'ndeki konsantrasyon sıralamaları ile noktasal kaynaklardaki konsantrasyonların sıralamalarında en yüksek ve en düşük konsantrasyondaki metaller B ve Cd olmak üzere farklılıklar bulunmuştur. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metaller karşılaştırıldığında, Mn, Zn ve As hariç göl içindeki konsantrasyonların noktasal kaynaklara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Mn ve Zn tüm noktasal kirletici kaynaklarda, As Akçalar Deresi, Atabay ve Uluabat Pompa İstasyonlarında göl ortalamasına göre yüksek bulunmuştur. Göl içindeki sediment ve askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metaller karşılaştırıldığında sedimentteki konsantrasyonların çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu da sedimentten suya geçen askıda katı maddenin daha az organik madde içermesine bağlanmıştır.

Su kolonu boyunca yapılan incelemelerde yüzey ve dip tabakası arasında, çözülmüş halde bulunan metaller için farkın önemsiz olduğu, askıda katı maddelere tutunmuş metallerin bir kısmı (Fe, Mn, Cu ve Ni) için önemli bulunmuştur. Dipte bulunan konsantrasyonların daha yüksek seviyelerde oldukları görülmüştür. Bu farkın dipteki askıda katı madde konsantrasyonlarının daha yüksek olmasından kaynaklandığı tahmin edilmiştir.

Suda çözülmüş halde bulunan ve sedimentteki toplam metallerin konsantrasyon seviyeleri uluslararası standartlar ile karşılaştırıldığında bazı metallerin toksik seviyeyi aşmış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, çalışılan diğer su kaynaklarındaki konsantrasyon değerleri ile karşılaştırıldığında çözülmüş metallerde Fe, Zn, Cr, Ni, B ve Pb, sedimentte Cr, Ni, Cd ve askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan metallerde Cd'nin daha yüksek seviyelerde oldukları belirlenmiştir.

Ağır metal ve iz elementlerin sedimentteki konsantrasyonlarının suda çözülmüş halde bulunan konsantrasyonlara oranları literatürdeki $\log(K_d)$ değerleri ile karşılaştırıldığında, arsenik, nikel, mangan ve demir dışındaki elementlerin tüm istasyonlarda sedimentten suya geçebileceği ve özellikle de 1. ve 2. istasyonlarda % toplam karbon ve % $CaCO_3$ 'ün daha düşük olması sebebiyle suya geçebilme olasılıklarının daha fazla olduğu belirlenmiştir. Mevsimsel ve yıllık ortalamaların karşılaştırması yapıldığında, arsenik, nikel, mangan ve demirin suya geçebilme olasılıklarının daha düşük olduğu, diğer elementlerde mevsimsel farklılıklarla birlikte

oranların sayısal değerlerinde değişimlerin olduğu ancak her mevsimde suya geçebilecekleri görülmüştür. Ağır metal ve iz elementlerin askıda katı maddelere tutmuş halde bulunan konsantrasyonları ile suda çözülmüş halde bulunan konsantrasyonlarının oranları literatürdeki Log (K_d) değerleri ile incelendiğinde, yıllık ortalamalara göre demir dışındaki tüm elementlerin suda çözülmüş hale geçebildikleri belirlenmiştir. Sedimentteki birikimin askıda katı maddeye göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeninin askıda katı maddede, organik madde miktarının daha az olmasının neden olduğu anlaşılmıştır.

Su kolonundaki B ve Cd haricinde AKMTH bulunan ağır metal ve iz elementlerin tümünün yaz aylarında daha çok çökelmekte oldukları görülmüştür. Bunun nedeninin yaz aylarında ağır metal, iz element, askıda katı madde halinde bulunan planktonların ve diğer organik maddelerin konsantrasyonlarının artması ve su seviyesinin azalması ile çökelmenin daha hızlı gerçekleşmesi nedeniyle meydana geldiği düşünülmüştür. 0,45 μ m, 3 μ m ve 4 μ m boyutlardaki taneciklerin akıları incelendiğinde, doğal olarak çapı büyük olanların daha çok çökeldiği görülmektedir. Belirlenen akıların tümünün yıllık ortalamaları alındığında, büyüklük sıralaması, Fe>Mn>B>Zn>Ni>Cr>Pb>Cu>Cd>As şeklinde, konsantrasyonların büyüklük sıralamasıyla benzer olarak bulunmuştur. Akıların Uluabat Gölü yüzey alanının mevsimsel değerleri ile çarpımı sonucu belirlenen günlük çökelen kütle miktarları (birikim) tonlar mertebesinde bulunmuştur.

4. 5. Uluabat Gölü Noktasal Kirletici Kaynakların Su ve Sediment Kalitesine Olan Etkileri

4. 5. 1. Noktasal Kirlilik Kaynaklarının Debi Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

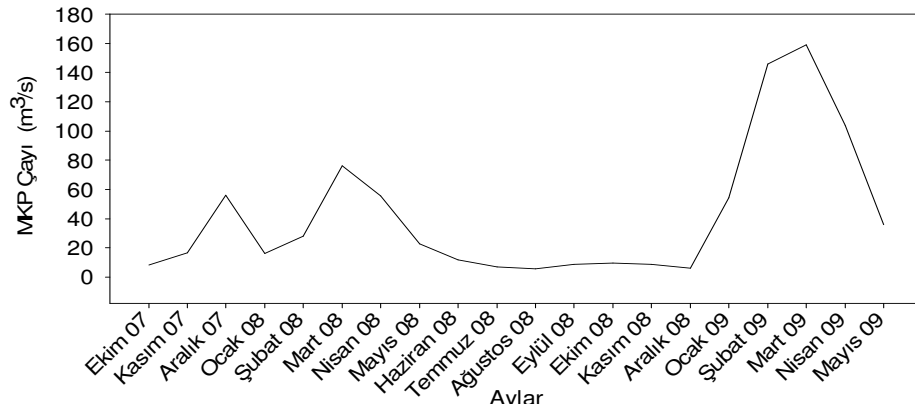
Uluabat Gölü'nü kirleten noktasal kirlilik kaynaklarının su ve sedimente olan etkilerini belirleyebilmek amacıyla bu kirletici kaynaklara ait debi ölçümleri incelenerek, göle deşarj ettikleri yükler hesaplanmıştır. Yüklerin, sudaki ve sedimentteki konsantrasyonların mevsimsel değişimleri incelenmiştir.

Uluabat Gölü'nü besleyen ve kirleticilerin girişine neden olan noktasal kaynaklardan MKP Çayı debi ölçümleri Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nden (EİE), Atabay, Karaoğlan ve Uluabat Pompa İstasyonları'nın debi ölçümleri Devlet Su İşleri (DSİ) 1. Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır. Akçalar Deresi'nin debi ölçümleri arazi çalışmalarında örnek alımı esnasında hidrolog tarafından muline kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MKP Çayı debi ölçümlerinin değerlendirilmesinde Elektrik İşleri Etüt İdaresi'ne ait 302 nolu Uluabat Gölü Havzası Akım Gözlem İstasyonu verileri kullanılmıştır. Şekil 4.5.1'de Elektrik İşleri Etüt İdaresi'ne ait MKP Çayı Akım Gözlem İstasyonu gösterilmiştir (Anonim 2010 e).

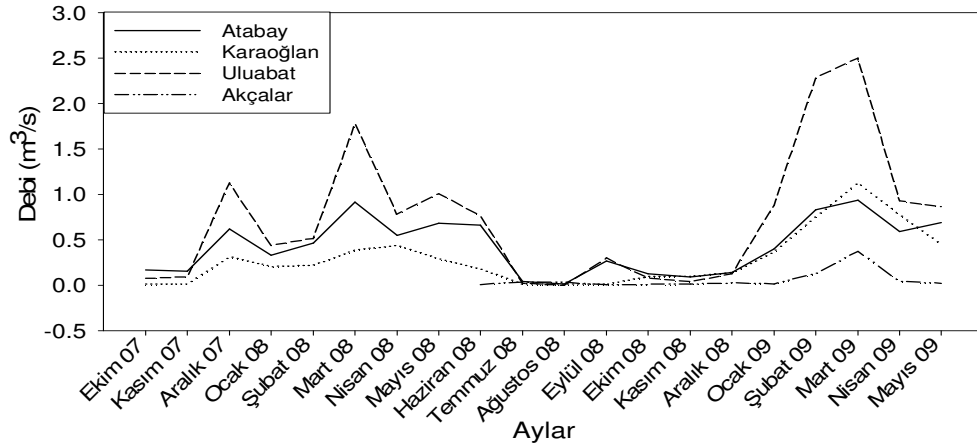


Şekil 4.5.1. Elektrik İşleri Etüt İdaresi'ne ait MKP Çayı Akım Gözlem İstasyonu

Arazi çalışmalarının başlangıcının 2008 yılının Mayıs Ayı olması nedeniyle debi değerleri su yılı başlangıcı olan 2007 yılı Ekim Ayı'ndan itibaren incelenmiştir. Aylık değişimler incelendiğinde, Aralık Ayı'ndan itibaren kış ve ilkbahar aylarında yükseldiği, yaz aylarında ve sonbahar başlangıcında düştüğü belirlenmiştir. 2009 yılının kış ve ilkbahar aylarının debi değerlerinin 2008 yılına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum aynı aya ait debilerin yıllara göre değiştiğini göstermiştir. MKP Çayı'na ait debilerin aylık değişimleri incelendiğinde, en yüksek ve en düşük değerleri Mart ve Ağustos Ayları'nda 159 ve 5,74 m³/s olarak belirlenmiştir. Atabay, Karaoğlan, Uluabat P.İ ve Akçalar Deresi'ne ait en yüksek debiler Mart Ayı'nda, en düşük debiler Akçalar Deresi hariç Ağustos Ayı'nda belirlenmiştir. Akçalar Deresi'nin en düşük debisi Eylül Ayı'nda belirlenmiştir. Atabay, Karaoğlan, Uluabat P.İ ve Akçalar Deresi'ne ait en yüksek debiler sırasıyla 0,9337, 1,1277, 2,4977 ve 0,3760 m³/s, en düşük debiler 0,0159, 0,0129, 0 ve 0,004 m³/s olarak belirlenmiştir. MKP Çayı'na ve noktasal kirletici kaynaklara ait debilerin aylık değişimleri şekil 4.5.2 ve şekil 4.5.3'te gösterilmiştir.

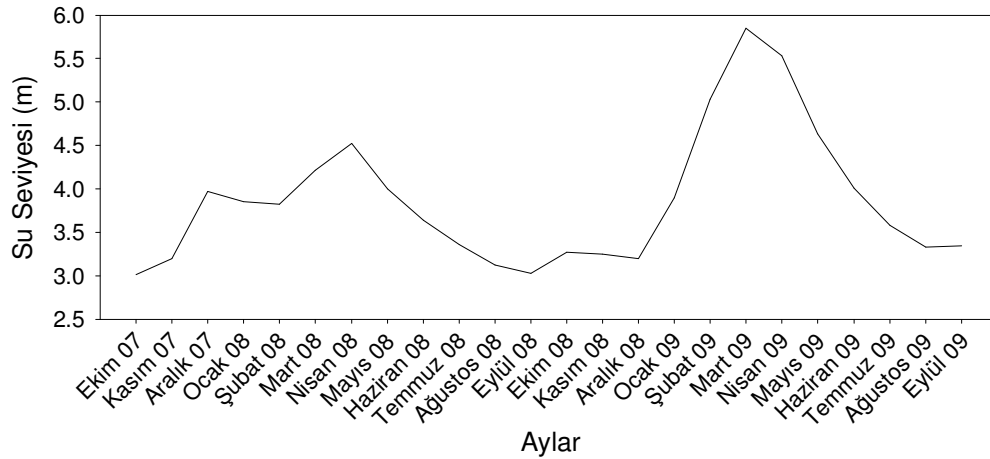


Şekil 4.5.2. MKP Çayı aylık debi değişimleri



Şekil 4.5.3. Noktasal kirletici kaynaklara ait aylık debi değişimleri

Debi ölçümlerine paralel olarak Uluabat Gölü'nün su seviyesinin değişimini görebilmek amacıyla Elektrik İşleri Etüt İdaresinden alınan 2008 ve 2009 su yılına ait Gölyazı istasyonu limnigraf ölçümlerinin aylık ortalamaları değerlendirilmiştir. Bu değerler arazide yapılan ölçümlerden farklı olup su kotuna göre hesaplanmıştır. Bu değerlendirme, Uluabat Gölü'nün su seviyesinin hangi aylarda yükselip alçaldığını göstermiştir. Buna göre göl su seviyesi 2009 Mart Ayı'nda (5,85 m) maksimuma, 2007 Ekim Ayı'nda (3,01 m) minimuma ulaşmıştır. Debi ölçümlerinin de göl su seviyesine benzer olarak Mart Ayı'nda maksimuma ulaştığı, Ağustos Ayı'nda ve sonbahar başlarında minimuma düştüğü görülmüştür. Şekil 4.5.4'te Gölyazı İstasyonu limnigraf ölçüm sonuçlarının aylık değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.5.4. Gölyazı İstasyonu limnigraf ölçümleri aylık değişimi

4. 5. 2. Noktasal Kirletici Kaynaklarının Mevsimsel Yük Değişimlerinin ve Uluabat Gölü'ne Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi

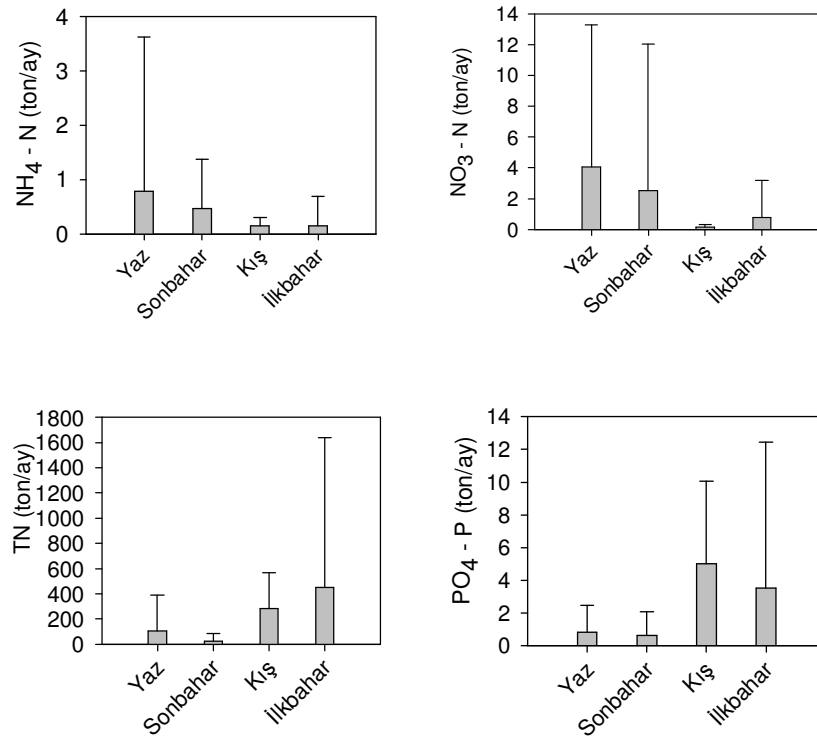
4. 5. 2. 1. BOİ, KOİ, AKM ve Besin Maddesi Yüklerinin Değerlendirilmesi

Göle giren noktasal kirletici kaynakların aylık debi değerlerinin ortalamaları alınarak belirlenen yıllık ortalamalara göre en yüksek ve en düşük değerler MKP Çayı ve Akçalar Deresi'nde 46,448 ve 0,0609 m³/sn olarak belirlenmiştir. Kirletici kaynakların yıllık debi ortalamalarının büyüklük sıralamaları MKP Çayı>Uluabat P. İ.>Atabay P. İ.> Karaoğlan P.İ.>Akçalar Deresi şeklindedir. Kirletici parametrelerinin yıllık toplam yükleri incelendiğinde TN, NO₃-N, BOİ ve KOİ parametrelerinin büyüklük sıralaması debiler ile doğru orantılı olarak aynı sıralamada bulunmuştur. Ancak NH₄-N, TP, PO₄-P ve AKM parametrelerinin yük değerlerinin bu sıralamaya uymadığı görülmüştür. Özellikle en yüksek NH₄-N yüklerinin Uluabat Pompa İstasyonu ve Akçalar Deresi'nden kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu nedenle Uluabat P.İ.'na ve Akçalar Deresi'ne yakın olan gölün en batısı ve doğusundaki 1. ve 8. istasyonlarda alg yoğunluğu yüksek bulunmuştur. En yüksek trofik seviye 8. istasyonda bulunmuştur. Akçalar Deresi'nden kaynaklanan TP ve PO₄-P yüklerinin Karaoğlan P.İ.'dan yüksek olduğu belirlenmiştir. Karaoğlan P.İ.'dan kaynaklanan AKM yüklerinin Atabay P. İ ve Akçalar Deresi'nden yüksek olduğu bulunmuştur. Çizelge 4.5.1'de Uluabat Gölü'ne deşarj olan noktasal kirletici kaynaklara ait yıllık ortalama debi, azot-fosfor fraksiyonları, BOİ, KOİ ve AKM yükleri gösterilmiştir.

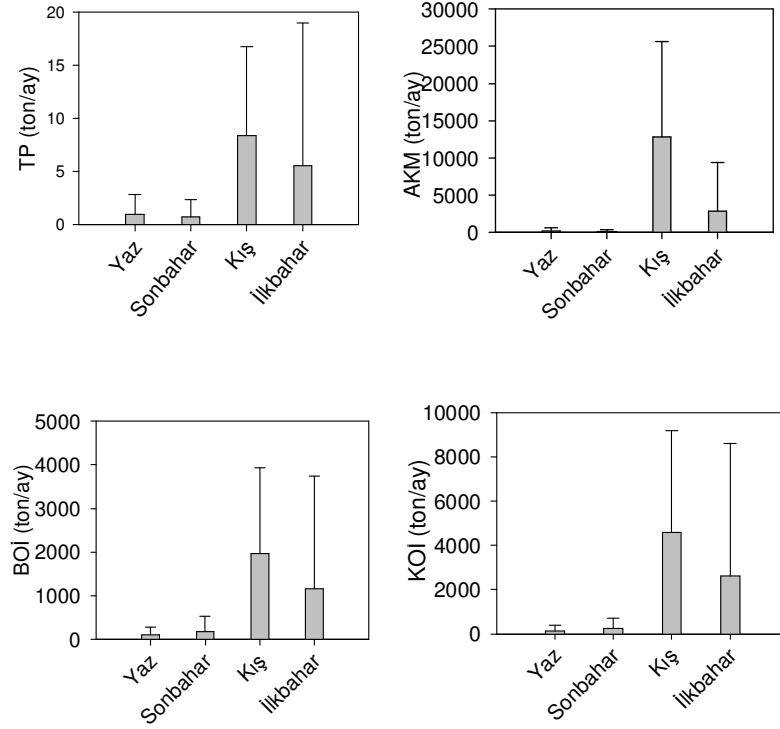
Göle deşarj olan azot-fosfor fraksiyonları, BOİ, KOİ ve AKM yüklerinin mevsimsel değişimleri incelendiğinde, yükler genel olarak ilkbahar ve kış aylarında yağışların ve dolayısıyla debilerin artması nedeniyle yüksek, yaz ve sonbahar aylarında düşük bulunmuşlardır. Göle deşarj olan toplam azot-fosfor fraksiyonları, BOİ, KOİ ve AKM yüklerinin mevsimsel değişimleri şekil 4.5.5.'te gösterilmiştir. Yağışların azalması ile azalan su seviyesi konsantrasyonların yaz ve sonbahar aylarında artmasına neden olmuştur. Şekil 4.5.6'da su kalitesi parametreleri konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.5.1. Noktasal kirletici kaynaklara ait yıllık ortalama debi, azot-fosfor fraksiyonları, BOİ, KOİ ve AKM yükleri

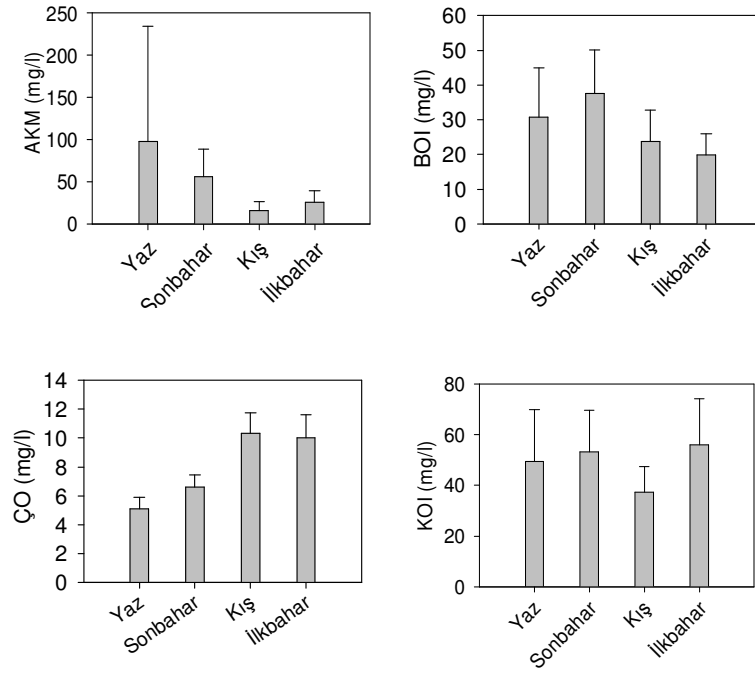
| İstasyon | MKP Çayı | Akçalar Deresi | Atabay Pompa İst. | Karaoğlan Pompa İst. | Uluabat Pompa İst. |
|------------------------------------|----------|----------------|-------------------|----------------------|--------------------|
| Ortalama Debi (m ³ /sn) | 46,448 | 0,060925 | 0,39955 | 0,33547 | 0,73212 |
| TN (ton/yıl) | 10093,81 | 22,4578 | 105,377 | 44,95 | 136,38 |
| NH ₄ -N (ton/yıl) | 0 | 3,1459 | 2,83 | 0 | 16,13 |
| NO ₃ -N (ton/yıl) | 69,14 | 3,0431 | 20,57 | 7,09 | 12,55 |
| TP (ton/yıl) | 141,07 | 0,5827 | 4,281 | 0,39572 | 6,463 |
| PO ₄ -P (ton/yıl) | 94,456 | 0,461 | 3,119 | 0,159 | 8,124 |
| KOI (ton/yıl) | 65942,75 | 169,625 | 578,916 | 226,08 | 1076,34 |
| BOI (ton/yıl) | 31193,86 | 92,1515 | 399,39 | 134,99 | 668,14 |
| AKM (ton/yıl) | 101813,7 | 142,0231 | 151,179 | 164,715 | 495,45 |



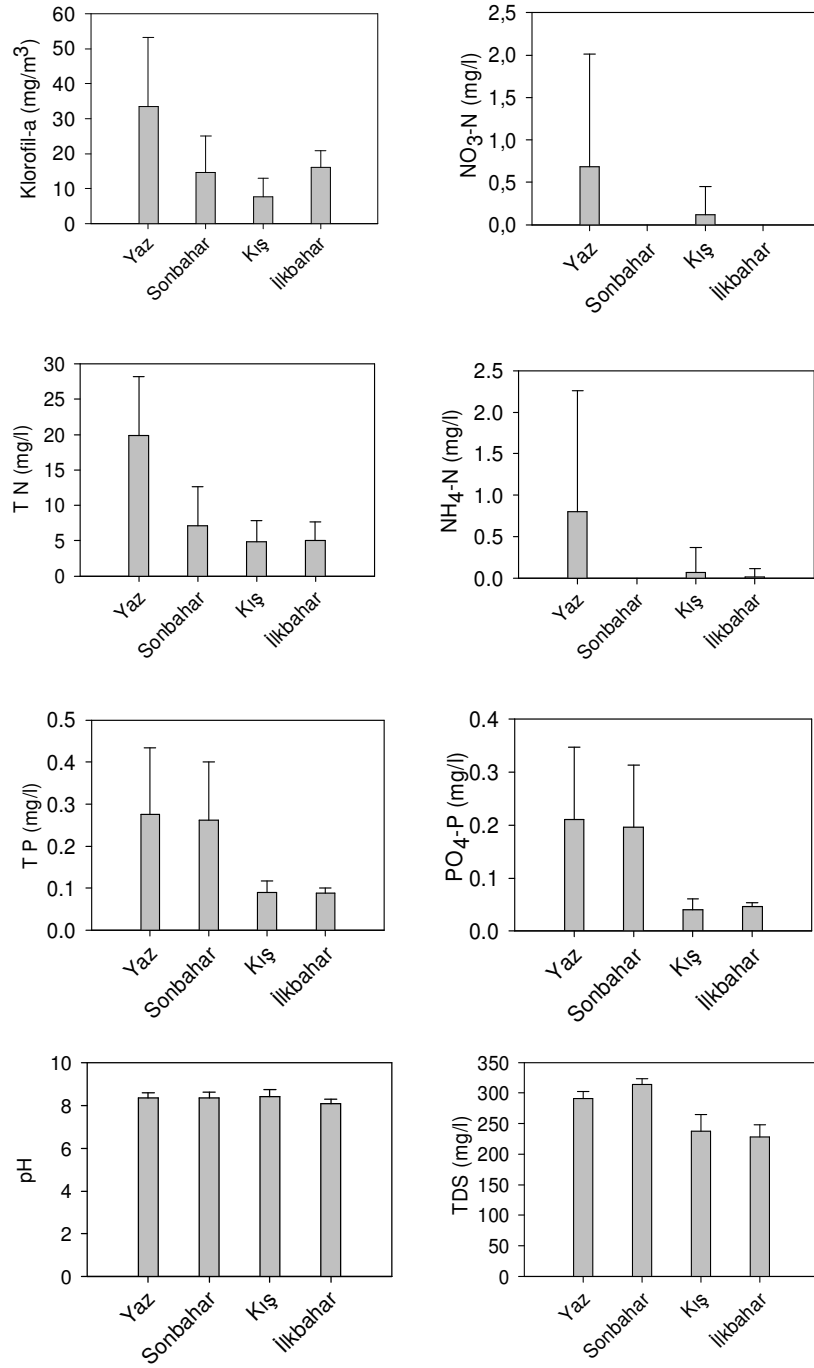
Şekil 4.5.5. Göle deşarj olan toplam BOİ, KOİ, AKM ve besin maddesi yüklerinin mevsimsel değişimleri



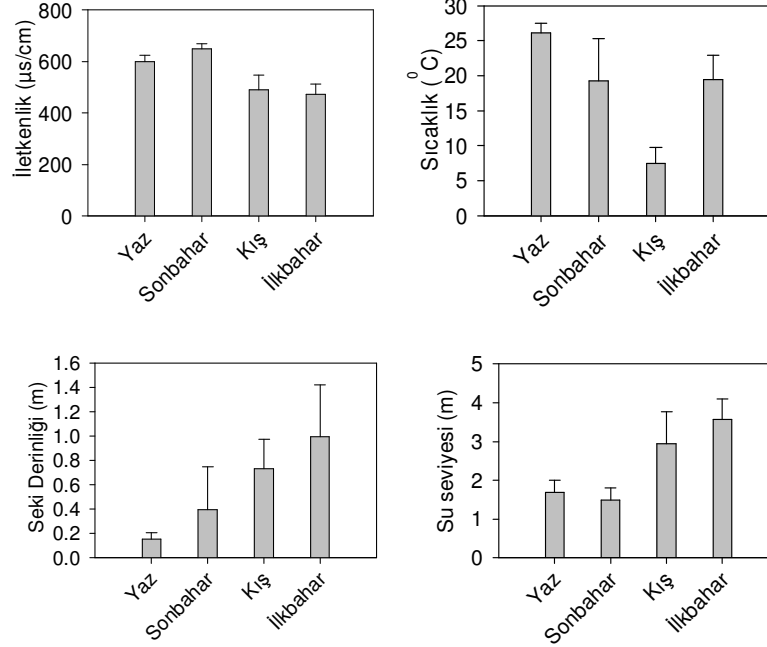
Şekil 4.5.5. (Devam)Göle deşarj olan toplam BOİ, KOİ, AKM ve besin maddesi yüklerinin mevsimsel değişimleri



Şekil 4.5.6. Su kalitesi parametreleri konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri



Şekil 4.5.6. (Devam) Su kalitesi parametreleri konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri



Şekil 4.5.6. (Devam) Su kalitesi parametreleri konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri

Uluabat Gölü'nü kirleten noktasal kirletici kaynaklar değerlendirilerek göl suyundaki ve sedimentindeki konsantrasyonlara olan etkilerini anlayabilmek amacıyla her noktasal kaynağa ait yüklerin aylık değerleri ile sudaki ve sedimentteki konsantrasyonların aylık konsantrasyon değerleri arasında korelasyon analizi yapılarak aralarındaki ilişkilerin önemli olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Uluabat Gölü'nü besleyen en önemli akarsu olan Mustafakemalpaşa Çayı taşımış olduğu kirleticiler nedeni ile göle oldukça yüksek miktarlarda yük boşaltmaktadır. Mustafakemalpaşa Çayı'nın göl suyundaki ve sedimentinde bulunan kirletici konsantrasyonları değerlendirildiğinde, kirletici yükler ile su seviyesi arasında pozitif bir korelasyon bulunmuştur. Su seviyesi ve akarsu debileri yağışların çok olduğu dönemlerde artmaktadır. Dolayısıyla yükler de debi ile birlikte artmaktadır. Su kalitesi parametreleri ile yükler arasındaki ilişkiler incelendiğinde, ilginç olarak yük artışının su kalitesini olumlu yönde etkilemiş olduğu görülmektedir. Yükteki bu artışın kirletici

kaynaklardaki konsantrasyon artışlarından değil debi artışlarından dolayı meydana geldiği anlaşılmıştır. Debi artışının da göldeki su seviyesini arttırarak seyrelmeye neden olduğu anlaşılmıştır. Mustafakemalpaşa Çayı'nın göle getirmiş olduğu aylık yük değerleri ile elektriksel iletkenlik, tuzluluk ve BOİ parametreleri ile olan ilişkileri negatif bulunmuştur. Seyrelmeden dolayı seki derinliğinin de ve çözülmüş oksijen ile birlikte pozitif ilişkili olduğu görülmüştür. MKP Çayı'nın göldeki askıda katı madde üzerinde olumsuz etkili olduğu ve konsantrasyonları arttırıcı yönde negatif ilişkili olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.5.2'de MKP Çayı'nın aylık kirletici yükleri ile su kalitesi parametrelerinin ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayısı değerleri gösterilmiştir. Korelasyonlar aylık ortalama değerler kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.5.2. MKP Çayı'nın aylık kirletici yükleri ile su kalitesi parametrelerinin ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayısı değerleri

| Parametre | TN (ton/ay) | TP (ton/ay) | PO ₄ -P (ton/ay) | KOİ (ton/ay) | BOİ (ton/ay) | AKM (ton/ay) |
|--------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| EC (µs/cm) | -0,661 | -0,778 | -0,727 | -0,856 | -0,867 | -0,757 |
| TDS (mg/l) | -0,662 | -0,781 | -0,73 | -0,859 | -0,869 | -0,759 |
| Ç O (mg/l) | 0,641 | 0,823 | 0,793 | 0,847 | 0,852 | 0,754 |
| Su Seviyesi (m) | 0,711 | 0,842 | 0,779 | 0,926 | 0,928 | 0,807 |
| BOİ (mg/l) | | | | -0,62 | -0,633 | |
| Seki derinliği (m) | | | | 0,598 | 0,623 | |
| AKM (mg/l) | | | | | -0,578 | |

* r korelasyon katsayılarının tümü p=0,05'e göre önemli bulunmuştur.

MKP Çayı'nın sediment kirliliği üzerine etkileri incelendiğinde, TN yükünün % TOC ile, TP yükünün sedimentteki TP konsantrasyonları ile, BOİ yükünün TP konsantrasyonları ile ve KOİ yükünün TP ile olan ilişkileri pozitif ve önemli bulunmuştur. Hesaplanan r korelasyon katsayıları sırasıyla 0,577, 0,592, 0,733 ve 0,698 dir. KOİ ve BOİ yüklerinin sedimentte bulunan azot formları ile olan ilişkileri negatif bulunmuştur. Debilerin yükselmesi ile meydana gelen BOİ ve KOİ yükü artışının aynı zamanda azot formlarının seyrelmesine neden olduğu anlaşılmaktadır.

Akçalar Deresi'nin Uluabat Gölü su kalitesine olan etkileri incelendiğinde, TN ve NO₃-N yüklerinin sudaki NH₄-N konsantrasyonları ile olan ilişkilerinin önemli olduğu görülmüştür ve r korelasyon değerleri 0,615 ve 0,635 olarak belirlenmiştir. BOİ ve KOİ yüklerinin BOİ konsantrasyonları ile olan ilişkileri (-0,631 ve -0,624) MKP Çayı'na benzer olarak negatif bulunmuştur. Bu durumun debi artışına bağlı olarak

konsantrasyonların azalmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Debi artışının azot fraksiyonlarında seyrelmeye yol açmamasının, tarımsal alanlardan kaynaklanan yüzeysel akış sularının göle girmesinin neden olduğu anlaşılmıştır. $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonlarındaki bu artış ve TN yükünün $\text{NH}_4\text{-N}$, TP, $\text{PO}_4\text{-P}$, BOİ ve KOİ yükleri ile ilişkili olması $\text{PO}_4\text{-P}$ konsantrasyonlarının da artmış olabileceğini ve bu bölgedeki ötrofikasyonu hızlandırdığını göstermektedir.

Akçalar Deresi'nin göl sedimentinin kalitesine olan etkisi incelendiğinde, sudaki $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları ile olan ilişkileri önemli bulunurken sedimentteki azot formları ile ilişkiler önemli bulunmamıştır.

Atabay Pompa İstasyonunun göle getirmiş olduğu yük değerleri ile yapılan korelasyonlar neticesinde, MKP Çayı ve Akçalar Deresi'ne benzer olarak KOİ ve BOİ yükleri ile su seviyesi ($r:0,669$ ve $r:0,584$) ve KOİ yükleri ile seki derinliğinin pozitif ilişkili ($r:0,595$), elektriksel iletkenlik ($r:-0,601$), tuzluluk ($r:-0,603$) ve pH ($r:-0,604$) değerleri ile negatif ilişkili olduğu belirlenmiştir. Atabay Pompa İstasyonunun $\text{NO}_3\text{-N}$ yükünün sudaki TN ($r:0,669$), AKM ($r:0,636$) ve klorofil-a ($r:0,714$) konsantrasyonları ile pozitif ilişkili olduğu belirlenmiştir. Fosfor ile birlikte sınırlayıcı olduğu belirlenen azotun etkisi ile klorofil-a'nın arttığı anlaşılmıştır. Ayrıca, $\text{NO}_3\text{-N}$ yükünün AKM konsantrasyonları ile de ilişkili olması $\text{NO}_3\text{-N}$ 'in alg popülasyonunu arttırmış olabileceğini göstermektedir. Ayrıca TN yükünün de klorofil-a konsantrasyonları ile ilişkisi ($r: 0,683$) pozitif ve önemli bulunmuştur. TN ($r:0,736$), $\text{NO}_3\text{-N}$ ($r: 0,592$) TP ($r: 0,903$) yüklerinin $\text{PO}_4\text{-P}$ yükü ile pozitif ilişkili olması özellikle yakın bölgelerdeki fosfor artışına ve ötrofikasyonun hızlanmasına neden olmuş olabileceği düşünülmüştür.

Atabay Pompa istasyonu yük değerlerinin sedimentle olan ilişkilerine bakıldığında, $\text{NO}_3\text{-N}$ yükünün sedimentteki elektriksel iletkenlik değerleri ile, KOİ yükünün TP konsantrasyonları ile olan ilişkileri önemli ve pozitif bulunmuştur. Belirlenen r korelasyon değerleri sırasıyla 0,653 ve 0,599 dur. Atabay Pompa İstasyonunun $\text{NO}_3\text{-N}$ yükünün sudaki ve sedimentteki azot fraksiyonları ve elektriksel iletkenlik üzerine etkili olduğu görülmüştür. Aynı zamanda KOİ yükünün sedimentteki TP konsantrasyonları üzerine etkili olması Atabay Pompa istasyonunun besin maddesi yükü bakımından su ve sedimente etkili olduğunu göstermektedir.

Karaoğlan Pompa İstasyonunun göle getirmiş olduğu yük değerlerinin su kalitesi parametreleri ile olan ilişkileri incelendiğinde KOİ , BOİ ve TP yüklerinin BOİ

konsantrasyonları ile olan ilişkileri negatif ve önemli bulunmuştur. Belirlenen r korelasyon değerleri sırasıyla -0,638, -0,665 ve -0,576 olarak bulunmuştur. BOİ yükünün aynı zamanda AKM (r: -0,653), PO₄-P (r: -0,691) ve TP (r: -0,681) konsantrasyonları ile olan ilişkileri de negatif ve önemli bulunmuştur. TN, TP, PO₄-P KOİ ve BOİ yüklerinin elektriksel iletkenlik ve tuzluluk ile olan ilişkileri de negatif ve önemli bulunmuştur. TN, TP, PO₄-P, KOİ ve BOİ yüklerinin elektriksel iletkenlik ile ilişkilerini gösteren r değerleri sırasıyla -0,602, -0,815, -0,638, -0,799 ve -0,869 tuzluluk ile belirlenen r değerleri -0,603, -0,817, -0,638, -0,802 ve -0,871 olarak bulunmuştur. TN (r:0,655), TP (r:0,864), PO₄-P (r:0,670), KOİ (r:0,883) ve BOİ (r:0,933) yüklerinin su seviyesi ile olan ilişkileri ise pozitif ve önemli bulunmuştur. Bu durum su seviyesinin seyrelmeyi arttırdığını bu nedenle de sudaki parametrelerin konsantrasyonlarının azaldığını göstermiştir. Su seviyesindeki ve debilerde meydana gelen artma dolayısıyla TP, KOİ ve BOİ yüklerinin çözülmüş oksijen ile olan ilişkileri pozitif ve önemli bulunmuştur. Bulunan r korelasyon katsayılarının değerleri sırasıyla 0,744, 0,594 ve 0,636'dır. Ayrıca, NO₃-N yükünün klorofil-a konsantrasyonları ile olan ilişkilerinin pozitif ve önemli olduğu (r: 0,628) ve alg populasyonunu arttırdığı belirlenmiştir.

Karaoğlan Pompa İstasyonunun sediment kalitesi üzerine olan etkileri incelendiğinde, TP konsantrasyonları üzerine, TP, KOİ ve BOİ yüklerinin etkili olduğu görülmüştür. Belirlenen r değerleri sırasıyla 0,699, 0,765 ve 0,838 dir. Karaoğlan Pompa İstasyonunun, TP, KOİ ve BOİ yüklerinin TN yükü ile negatif ilişkili olması sudakinin aksine sedimentte azot birikimi üzerine etkili olmadığını göstermiştir. Sedimentteki azot fraksiyonları ile bir ilişki bulunamamıştır. KOİ ve BOİ yüklerinin sedimentteki NO₃-N, NH₄-N, TN, pH ve elektriksel iletkenlik ile olan ilişkilerin sudakine benzer olarak negatif ve önemli olduğu belirlenmiştir.

Uluabat Pompa istasyonunun elektriksel iletkenlik ve tuzluluk parametrelerinin PO₄-P, KOİ, BOİ ve AKM yükleri ile olan ilişkileri diğer noktasal kaynaklara benzer olarak, negatif, çözülmüş oksijen konsantrasyonları ile pozitif ve önemli bulunmuştur. PO₄-P, KOİ, BOİ ve AKM yüklerinin elektriksel iletkenlik ile hesaplanan r korelasyon katsayıları -0,725, -0,825, -0,843 ve -0,632 dir. Tuzluluk ile belirlenmiş olan r korelasyon katsayıları -0,727, -0,827, -0,845 ve -0,634 tür. Çözülmüş oksijen konsantrasyonları ile belirlenen r değerleri 0,832, 0,686, 0,715 ve 0,581 dir. Su seviyesi ile hesaplanan r değerleri 0,744, 0,886, 0,884 ve 0,702 dir. Ayrıca TP yükünün de su

seviyesi ile ilişkisi önemli bulunarak 0,593 olarak hesaplanmıştır. BOİ ve KOİ yüklerinin BOİ konsantrasyonları ile hesaplanan r korelasyon katsayı değerleri de -0,590 ve -0,589 olarak belirlenmiştir. Su seviyesi ve debi miktarındaki artışlar nedeni ile oluşan seyrelmeler dolayısıyla meydana gelen tuzluluk, elektriksel iletkenlik ve BOİ konsantrasyonlarının azalmasına Uluabat Pompa İstasyonunun etkisinin de olduğu görülmüştür. Ancak göldeki AKM, TN ve klorofil-a konsantrasyonlarının artışına Uluabat Pompa istasyonundan boşalan NH₄-N yükünün etkisi olduğu görülmüştür. NH₄-N yükünün AKM, TN ve klorofil-a konsantrasyonları ile ilişkilerini gösteren r korelasyon değerleri 0,672, 0,634 ve 0,679 olarak belirlenmiştir. Su kalitesi parametreleri dışında kirletici yüklerinin de birbirleriyle ilişkili olduğu görülmüştür. TN ve NO₃-N, TP ve PO₄-P yüklerinin birbirleriyle ve diğer kirlilik parametrelerinin yükleri ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu da diğer kirleticilerin de göle deşarj olduğu tüm gölü olmasa da o bölgeyi etkileyebilecekleri düşünülmüştür. Göl ortalamasını ve alg popülasyonunu etkileyen parametrenin NH₄-N olduğu bulunmuştur. Uluabat Pompa İstasyonunun su kalitesine etkisine benzer olarak sedimentin elektriksel iletkenlik parametresi ile pozitif ilişkili (r: 0,739) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, KOİ ve BOİ yüklerinin TP konsantrasyonları ile ilişkilerinin pozitif ve önemli olduğu (r: 0,697 ve r: 0,717) görülmüştür. Noktasal kirlilik kaynaklarının sediment ve su kalitesi parametreleri ile olan ilişkileri çizelge 4.5.3 ve çizelge 4.5.4.'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5.3 Noktasal kirlilik kaynaklarının sediment kalitesi parametreleri ile olan ilişkileri

| Parametre | MKP Çayı | Atabay Pompa İstasyonu | Karaoğlan Pompa İstasyonu | Uluabat Pompa İstasyonu |
|--------------------|-------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|
| % TOC | √ (Pozitif) | | | |
| TN | √ (Negatif) | | √ (Negatif) | √ (Negatif) |
| NH ₄ -N | √ (Negatif) | | √ (Negatif) | √ (Negatif) |
| NO ₃ -N | √ (Negatif) | √ (Negatif) | √ (Negatif) | √ (Negatif) |
| TP | √ (Pozitif) | √ (Pozitif) | √ (Pozitif) | √ (Pozitif) |
| pH | | √ (Negatif) | √ (Negatif) | √ (Negatif) |
| EC | | √ (Pozitif) | √ (Negatif) | √ (Pozitif) |

Çizelge 4.5.4. Noktasal kirlilik kaynaklarının su kalitesi parametreleri ile olan ilişkileri

| Parametre | MKP Çayı | Akçalar Deresi | Atabay Pompa İstasyonu | Karaoğlan Pompa İstasyonu | Uluabat Pompa İstasyonu |
|--------------------|----------------|----------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|
| TN | | | √ (Pozitif) | | √ (Pozitif) |
| NH ₄ -N | | √ (Pozitif) | | | |
| TP | | | | √ (Negatif) | |
| PO ₄ -P | | | | √ (Negatif) | |
| BOİ | √ (Negatif) | √ (Negatif) | | √ (Negatif) | √ (Negatif) |
| AKM | √ (Negatif) | | √ (Pozitif) | √ (Negatif) | √ (Pozitif) |
| pH | | | √ (Negatif) | | |
| EC | √ (Negatif) | | √ (Negatif) | √ (Negatif) | √ (Negatif) |
| TDS | √ (Negatif) | | √ (Negatif) | √ (Negatif) | √ (Negatif) |
| ÇO | √ (Pozitif) | | | √ (Pozitif) | √ (Pozitif) |
| Klorofil-a | | | √ (Pozitif) | √ (Pozitif) | √ (Pozitif) |
| Su seviyesi | √ (Pozitif) | | √ (Pozitif) | √ (Pozitif) | √ (Pozitif) |
| Seki Derinliği | √ (Pozitif) | | √ (Pozitif) | √ (Pozitif) | |

4. 5. 2. 2. BOİ, KOİ, AKM ve Besin Maddesi Yüklerinin Su ve Sediment Kalitesine Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi

Kirletici kaynakların su ve sediment kalitesine olan etkilerini anlayabilmek için yapılan korelasyon analizi sonuçlarına göre uzun yıllardan beri yüksek miktarda askıda katı madde taşıdığı bilinen MKP Çayı'nın göldeki AKM konsantrasyonları ile olan ilişkisinin önemli olduğu belirlenmiştir. Akçalar Deresi'nin TN ve NO₃-N yüklerinin göldeki NH₄-N konsantrasyonlarına olan etkilerinin önemli olduğu belirlenmiştir. Atabay ve Karaoğlan Pompa İstasyonlarının ayrıca, NO₃-N yüklerinin klorofil-a konsantrasyonlarına, Uluabat Pompa İstasyonunun NH₄-N

konsantrasyonlarının klorofil-a'ya olan etkileri önemli bulunmuştur. Noktasal kirletici kaynakların sediment kalitesine olan etkileri değerlendirildiğinde, MKP Çayı, Atabay, Karaoğlan ve Uluabat Pompa İstasyonlarının TP konsantrasyonları üzerine etkili olduğu anlaşılmıştır. MKP Çayı'nın % TOC üzerine, Atabay Pompa İstasyonu'nun $\text{NO}_3\text{-N}$ yükünün, Uluabat Pompa İstasyonunun $\text{NH}_4\text{-N}$ yükünün elektriksel iletkenlik üzerinde etkili olabileceği belirlenmiştir.

Su ve sediment kalitesi parametrelerinin konsantrasyonları ile yükler arasında belirlenen ilişkiler ile konsantrasyonların mevsimsel değişimleri karşılaştırıldığında elde edilen istatistiksel bilgiler doğrulanmıştır. Özellikle yükler ile negatif ilişkili bulunan BOİ, $\text{PO}_4\text{-P}$, TP, tuzluluk, iletkenlik parametrelerinin yüklerin azaldığı yaz ve sonbahar aylarında yüksek konsantrasyonlarda belirlenmişlerdir. Negatif ilişkili olan pH'ın mevsimler arasındaki farklılıkları çok olmamakla birlikte yaz ve sonbaharda daha yüksektir. Yükler ile pozitif ilişkili olan çözünmüş oksijen, seki derinliği ve su seviyesi parametrelerinin yüklerin daha çok olduğu kış ve ilkbahar aylarında daha yüksek oldukları görülmüştür. Yağışlarla artan su seviyesi, organik madde ve askıda katı madde konsantrasyonlarının azalmasına ve dolayısıyla da çözünmüş oksijen ve görünürlüğün artmasına neden olmuştur. Yükler ile pozitif ilişkili olduğu belirlenen $\text{NH}_4\text{-N}$ ve TN konsantrasyonlarının yüklerin azaldığı yaz ve sonbaharda yüksek bulunması, azot yükünün sadece noktasal kaynaklar ile değil, tarımdan dönen yayılı yükler ile göle karışabildiğini düşündürmüştür. Benzer olarak yükler ile pozitif ilişkili bulunan klorofil-a'nın yaz ve sonbaharda artış göstermesi yaz ve sonbaharda besin maddesi konsantrasyonlarının ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ TN, $\text{PO}_4\text{-P}$, TP) ve sıcaklıkların artması dolayısıyla alg popülasyonunun artmasından kaynaklanmıştır.

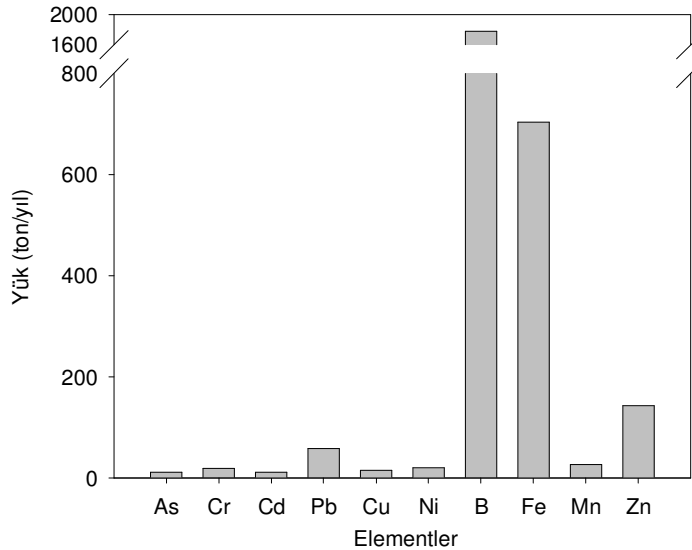
Sediment kalitesi parametrelerinden yükler ile pozitif ilişkili olan TP konsantrasyonlarının, yüklerin daha yüksek olduğu kış ve ilkbahar aylarında, yükler ile negatif ilişkili olan TN, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarının ve elektriksel iletkenliğin yüklerin düşük olduğu yaz ve sonbahar aylarında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yükler ile pozitif ilişkili olan % TOC, negatif ilişkili olan pH ve mevsimler arasındaki farklılıklarının çok belirgin olmadığı belirlenmiştir. Bunun nedeninin sıcaklık, su seviyesi gibi bazı faktörler olabileceği düşünülmüştür. Noktasal kirletici kaynaklara ait su kalitesi parametrelerinin yıllık ortalama ve standart sapma değerleri Ek-1'de verilmiştir.

4. 5. 2. 3. Ağır Metal ve İz Element Yüklerinin Değerlendirilmesi

Uluabat Gölü'ne deşarj olan noktasal kirletici kaynakların çözünmüş halde (ÇH) ve askıda katı maddeye tutunmuş halde (AKMTH) bulunan ağır metal ve iz element yüklerinin mevsimsel değişimleri ve Uluabat Gölü'ne olan etkileri belirlenmiştir.

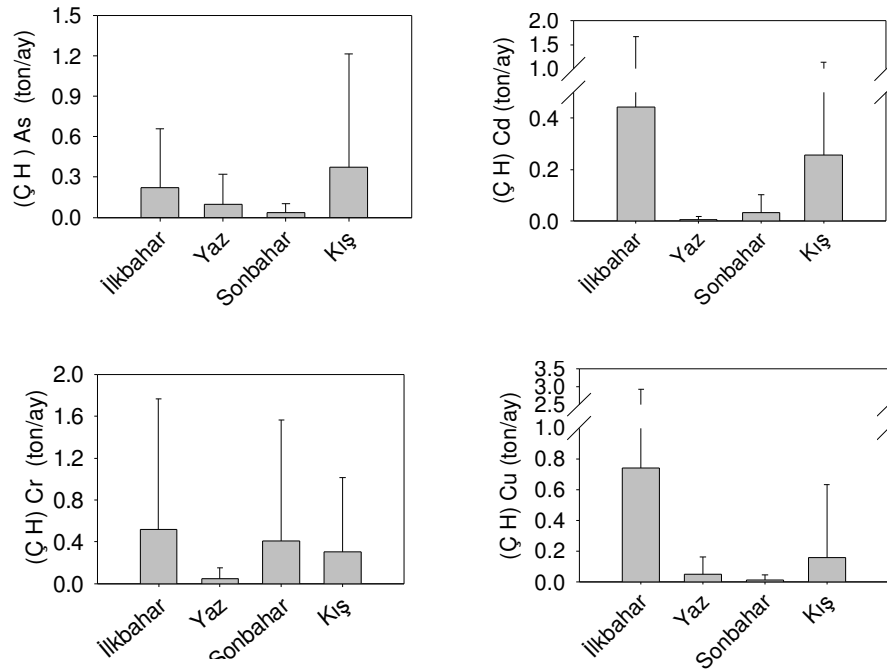
Çözünmüş halde bulunan metal yüklerinin yıllık toplam miktarları değerlendirilmiştir. Noktasal kirlilik kaynaklarından deşarj olan arsenik, krom, kadmiyum, bakır, nikel, bor, demir ve çinko elementlerinin yıllık toplam yüklerinin büyüklük sıralaması MKP Çayı>Uluabat P. İ.>Atabay P. İ.> Karaoğlan P.İ.>Akçalar Deresi şeklindedir. Bu sıralama debiler için yapılan sıralamaya uygun bulunmuştur. Kurşun ve mangan elementleri için bu sıralama değişmiştir. Kurşun yükünün Karaoğlan P.İ'da Atabay P. İ'na göre, mangan yükünün de Atabay P.İ'da Uluabat P. İ'na göre yüksek olduğu belirlenmiştir.

Göle deşarj olan toplam çözünmüş metal yükleri büyükten küçüğe doğru sıralandırıldığında bu sıralama B>Fe>Zn>Pb>Mn>Ni>Cr>Cu>As>Cd olarak belirlenmiştir. Göle taşınan en yüksek ve en düşük metal yükleri bor (1779 ton/yıl) ve kadmiyum (11,046 ton/yıl) elementlerine aittir. Göle deşarj olan çözünmüş haldeki metallerin yıllık toplam yükleri şekil 4.5.7'de gösterilmiştir.

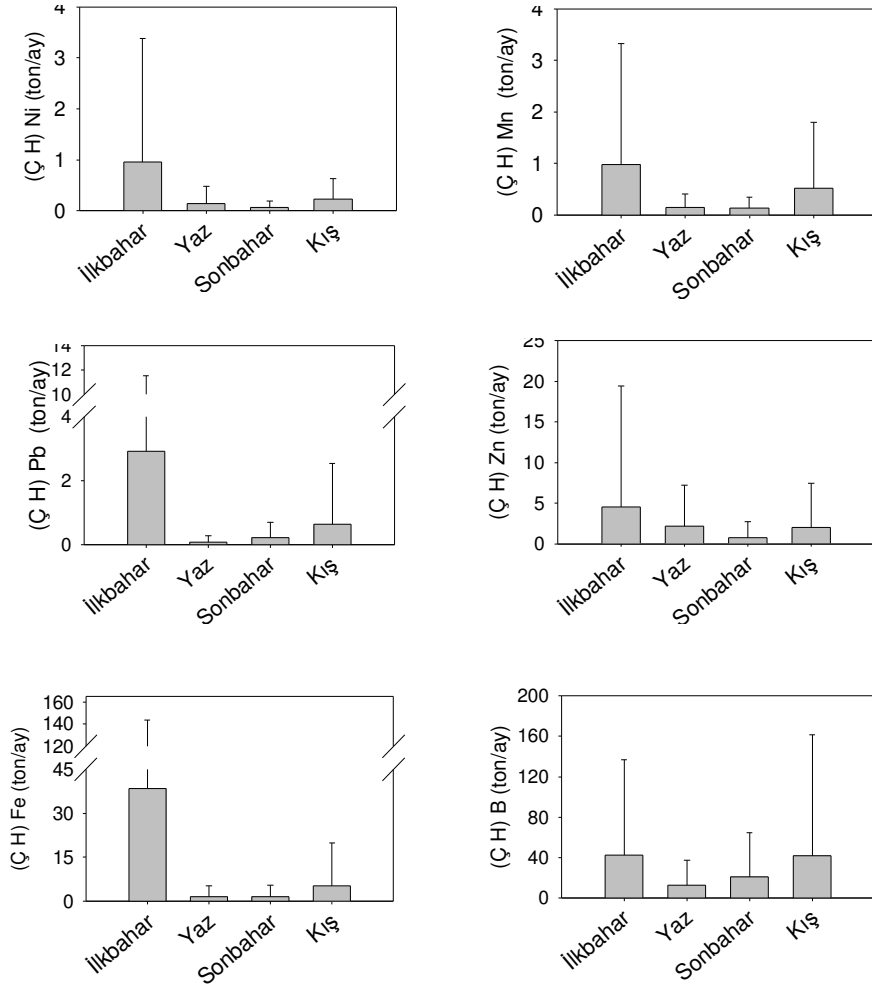


Şekil 4.5.7 Göle deşarj olan çözünmüş haldeki metallerin yıllık toplam yükleri

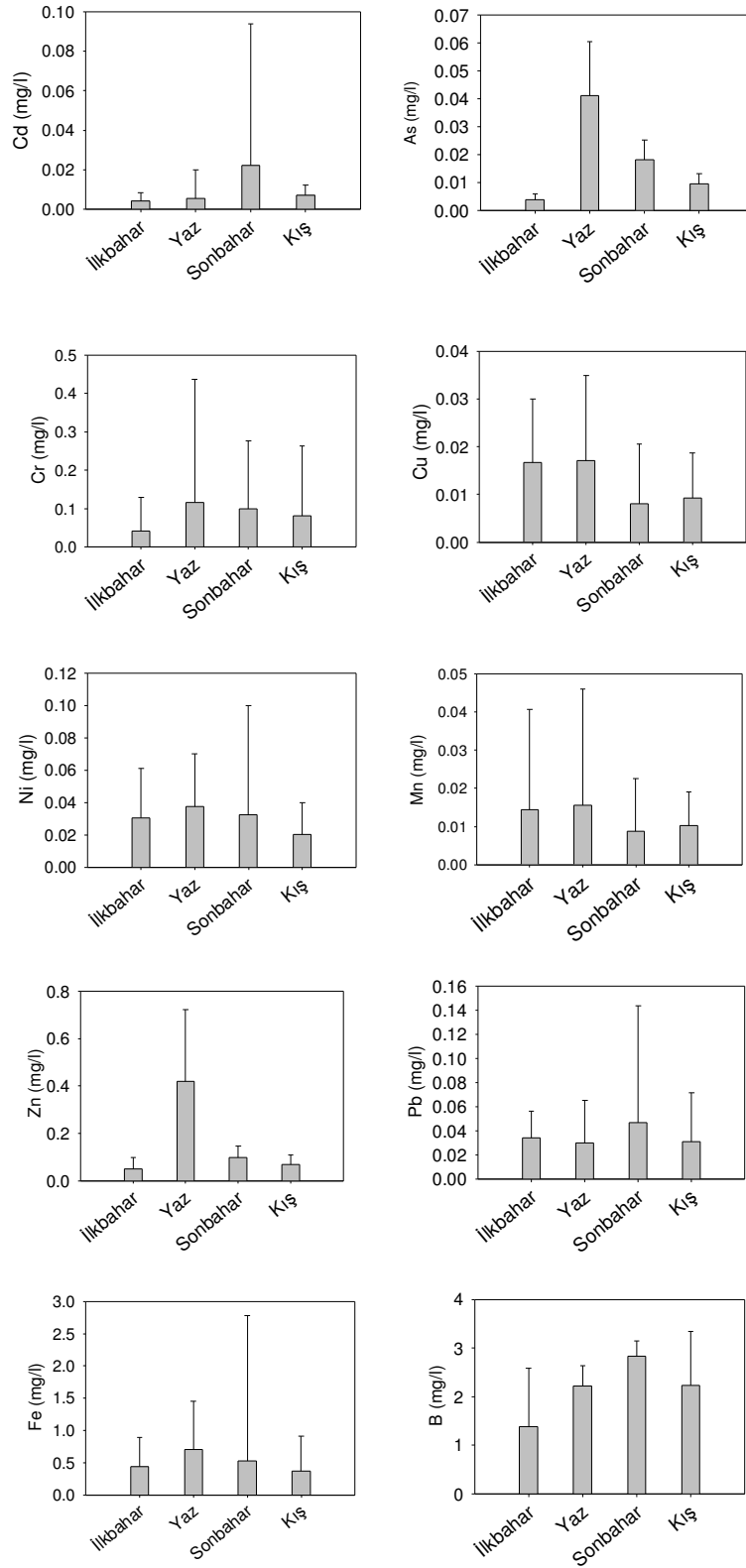
Çözünmüş halde bulunan metallerin tüm noktasal kaynaklara ait yüklerinin mevsimsel ortalamaları alınarak değişimleri incelenmiştir. Buna göre her metalin yük değerlerinin ilkbahar ve kış ortalamalarının yaz ve sonbahar ortalamalarına göre yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin yağışlar ile yükselen debilerin yükleri arttırmasından kaynaklandığı tahmin edilmiştir. Çözünmüş halde bulunan metal yüklerinin mevsimsel değişimleri şekil 4.5.8’de gösterilmiştir. Göldeki konsantrasyonların mevsimsel değişimi yükler ile karşılaştırıldığında yüklerden farklı olarak yaz ve sonbahar aylarında yüksek olduğu görülmüştür. Yaz ve sonbahar aylarında gelen kirletici yükü azalsa da azalan su seviyesi konsantrasyonların artmasına neden olmaktadır. Ancak bakır, krom, nikel, mangan, demir ve bor konsantrasyonlarının göle giren yükün çok arttığı ilkbahar ve kış aylarında da yaz ve sonbahardaki konsantrasyonlarına yakın olduğu belirlenmiştir. Göldeki çözünmüş halde bulunan metal konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri şekil 4.5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.5.8 Çözünmüş halde bulunan metal yüklerinin mevsimsel değişimleri



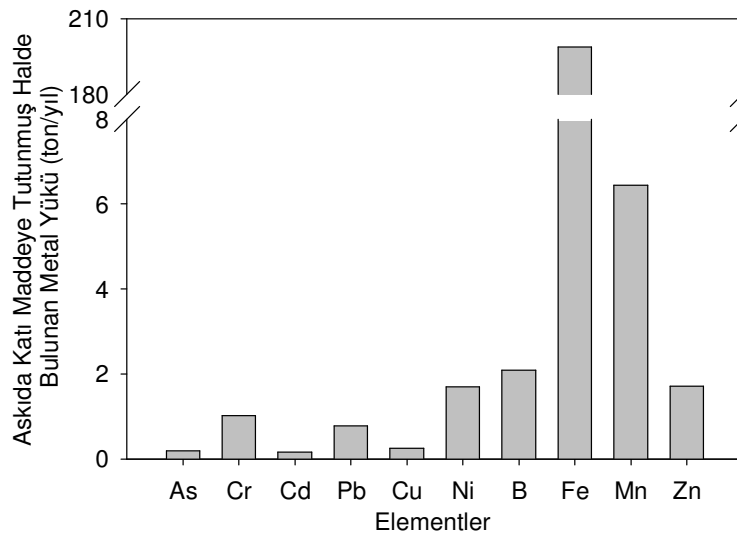
Şekil 4.5.8. (Devam) Çözünmüş halde bulunan metal yüklerinin mevsimsel değişimleri



Şekil 4.5.9. Çözünmüş halde bulunan metal konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri

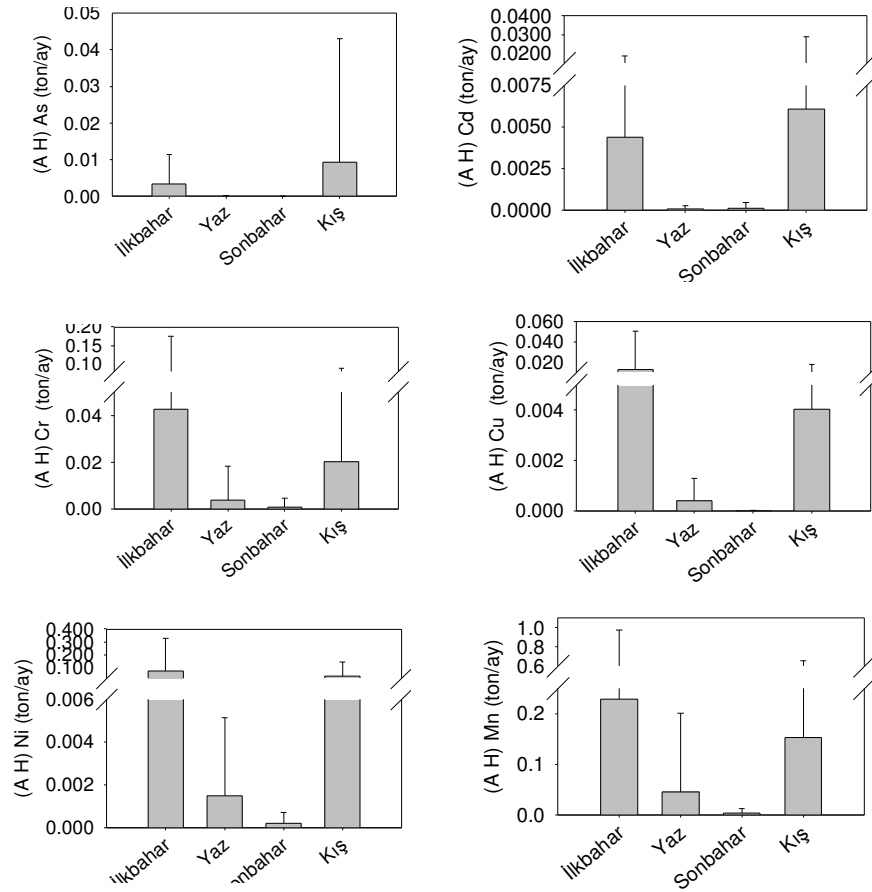
Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metal yüklerinin yıllık toplam miktarları incelenerek noktasal kirlilik kaynaklarından deşarj olan metaller büyüklük sıralamasına konulmuştur. Bu sıralamalar incelendiğinde, çinko ve bor yüklerinin dışındaki metal yüklerinin debi büyüklük sıralamasına uymadığı belirlenmiştir. Bunun nedeninin noktasal kaynaklardaki askıda katı maddelere tutunmuş metal ve askıda katı madde konsantrasyonlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, en az debiye sahip Akçalar Deresi en çok askıda katı madde ve demir konsantrasyonuna sahiptir. Bu nedenle demir yükü bakımından MKP Çayı'ndan sonra 2. sırada gelmektedir. Benzer olarak Atabay P. İ.'nunun debi ölçümleri Uluabat P.İ'nundan düşük olmasına rağmen arsenik konsantrasyonlarının yüksek olması yıllık toplam arsenik yükünün daha fazla olmasına yol açmıştır. Krom, kadmiyum, bakır, nikel, mangan ve kurşun yüklerinin pompa istasyonlarının ortalamaları sıralamasında farklılıklar belirlenmiştir.

Göle deşarj olan toplam askıda katı maddelere tutunmuş haldeki metal yükleri büyükten küçüğe doğru sıralandığında bu sıralama $Fe > Mn > B > Zn > Ni > Cr > Pb > Cu > As > Cd$ şeklinde belirlenmiştir. Göle taşınan en yüksek ve en düşük metal yükleri demir (198,59 ton/yıl) ve kadmiyum (0,1597 ton/yıl) dur. Göle deşarj olan askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan metallerin yıllık toplam yükleri şekil 4.5.10'da gösterilmiştir.

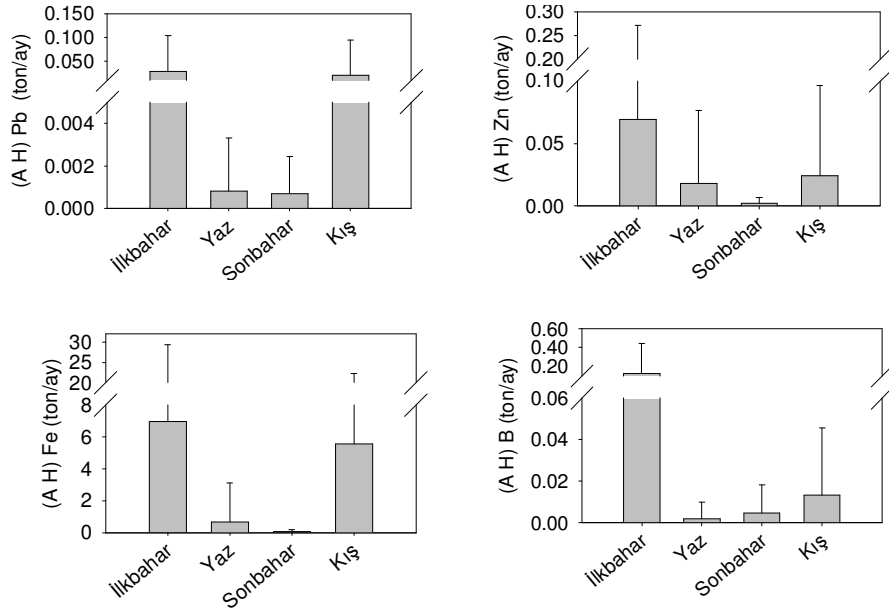


Şekil 4.5.10. Göle deşarj olan askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan metallerin yıllık toplam yükleri

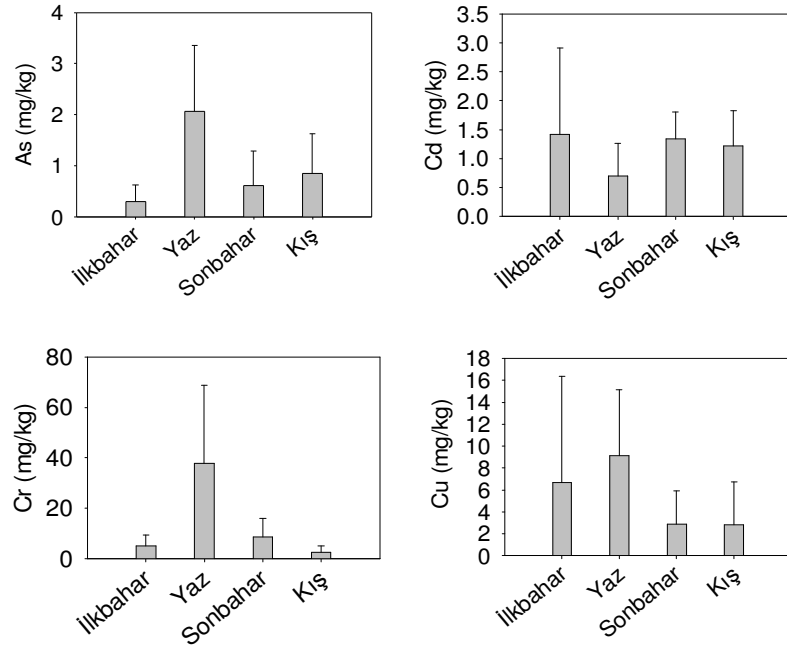
Tüm noktasal kirletici kaynakların askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metal yüklerinin mevsimsel değişimleri incelendiğinde, çözülmüş metal yüklerine benzer olarak ilkbahar ve kış aylarında yüksek, yaz ve sonbahar aylarında düşük bulunmuştur. Yağışların askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan metal yüklerini de artırdığı belirlenmiştir. Ancak konsantrasyonlar su seviyesinin azalması nedeniyle çözülmüş metallere benzer olarak yaz ve sonbahar aylarında yüksek bulunmuştur. Arsenik, kadmiyum, bakır, bor ve kurşunun ilkbahar ve kış aylarında da çok miktarda yük dolayısıyla yüksek konsantrasyonları belirlenmiştir. Şekil 4.5.11 ve şekil 4.5.12’de Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metal yüklerinin ve göldeki konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri gösterilmiştir.



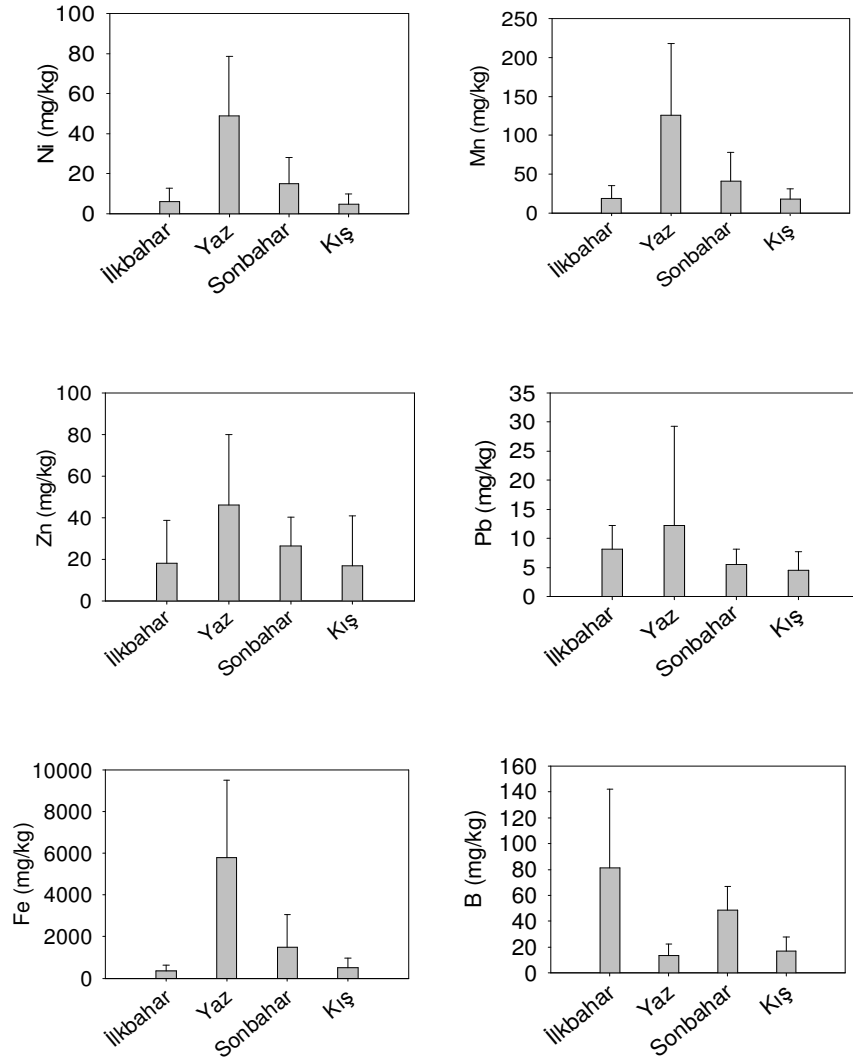
Şekil 4.5.11. AKMTH Bulunan metal yüklerinin mevsimsel değişimleri



Şekil 4.5.11. (Devam) AKMTH Bulunan metal yüklerinin mevsimsel değişimleri



Şekil 4.5.12. AKMTH bulunan metal konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri



Şekil 4.5.12. AKMTH bulunan metal konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri

4. 5. 2. 4. Ağır Metal ve İz Element Yüklerinin Su ve Sediment Kalitesine Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi

Uluabat Gölü'nde ve noktasal kirletici kaynaklarda izlenen ağır metal ve iz elementlerin suda çözülmüş, askıda katı maddeye tutunmuş halleri ve sedimentteki toplam konsantrasyonları değerlendirilerek noktasal kirletici kaynakların suda ve sedimentte bulunan ağır metal konsantrasyonları üzerine olan etkileri korelasyon analizi ile açıklanmaya çalışılmıştır.

Noktasal kirletici kaynakların suda çözülmüş halde bulunan metal yüklerinin göl suyundaki çözülmüş metallerin aylık ortalama konsantrasyonlarına olan etkileri incelendiğinde, Akçalar Deresi'nin çözülmüş halde bulunan arsenik yükünün göl suyunun ortalama arsenik konsantrasyonu ile olan ilişkisinin pozitif ve önemli olduğu ($r: 0,679$) belirlenmiştir. MKP Çayı, Atabay, Karaoğlan ve Uluabat Pompa İstasyonlarının çözülmüş halde bulunan metal yüklerinin göldeki çözülmüş halde bulunan metal konsantrasyonları ile ilişkileri önemli bulunmamıştır.

Çözülmüş halde bulunan metal yüklerinin göldeki aylık ortalama askıda katı maddeye tutunmuş haldeki metal konsantrasyonları ile olan ilişkileri incelendiğinde ilginç olarak noktasal kaynakların tümündeki kadmiyumun yükünün göldeki askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan kadmiyum konsantrasyonları ile olan ilişkilerinin önemli olduğu belirlenmiştir. MKP Çayı, Akçalar Deresi, Atabay, Karaoğlan ve Uluabat Pompa istasyonları ile kadmiyum konsantrasyonları arasında belirlenen r korelasyon katsayısı değerleri sırasıyla 0,736, 0,780, 0,802, 0,822 ve 0,754 tür. Ayrıca Karaoğlan Pompa İstasyonunun bor yükünün göldeki askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan bor konsantrasyonları ile olan ilişkisinin de önemli olduğu ($r: 0,618$) belirlenmiştir.

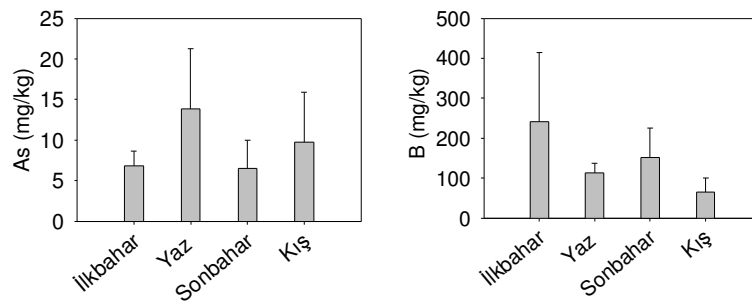
Çözülmüş halde bulunan metal yüklerinin göl sedimentindeki konsantrasyonlar ile ilişkileri kurulduğunda, Atabay Pompa İstasyonunun arsenik yüklerinin sedimentteki arsenik konsantrasyonlarıyla ($r:0,733$), Karaoğlan Pompa İstasyonunun bor yükünün sedimentteki bor konsantrasyonları ile ($r: 0,634$) olan ilişkileri pozitif ve önemli bulunmuştur. Karaoğlan Pompa İstasyonunun bor yükünün askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan ve sedimentteki toplam bor konsantrasyonlarını etkilediği anlaşılmıştır.

Askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan metal yüklerinin suda bulunan askıdaki metallerin konsantrasyonlarına olan etkileri incelendiğinde, MKP Çayı, Akçalar Deresi, Atabay ve Uluabat Pompa İstasyonlarına ait Cd ve B yüklerinin sudaki askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan aylık ortalama konsantrasyonlarla olan ilişkileri pozitif ve önemli bulunmuştur. Ayrıca Karaoğlan Pompa İstasyonunun Cd yükünün de sudaki konsantrasyonlarla ilişkisi önemli bulunmuştur. MKP Çayı, Akçalar Deresi, Atabay, Karaoğlan ve Uluabat Pompa İstasyonlarına ait Cd için belirlenen r korelasyon katsayıları sırasıyla 0,618, 0,772, 0,764, 0,736 ve 0,741 dir. MKP Çayı,

Akçalar Deresi, Atabay ve Uluabat Pompa İstasyonlarına ait B için belirlenen r korelasyon katsayıları sırasıyla 0,817, 0,684, 0,907 ve 0,883 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Akçalar Deresi'nin As ve Cu yüklerinin sudaki As ve Cu konsantrasyonları ile, Atabay Pompa İstasyonunun Cr yükünün göldeki Cr konsantrasyonları ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Akçalar Deresi'nin As ve Cu için belirlenen r korelasyon katsayısı değerleri sırasıyla 0,789 ve 0,587, Atabay Pompa İstasyonunun Cr yükü için belirlenen r değeri de 0,577 dir.

Askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan metal yüklerinin suda çözülmüş halde bulunan metal konsantrasyonları ile ilişkileri incelendiğinde, Akçalar Deresi'nin arsenik, bakır, mangan ve çinko yüklerinin suda çözülmüş halde bulunan konsantrasyonları arasındaki ilişkiler pozitif ve önemli bulunmuştur. Belirlenen r korelasyon katsayıları sırasıyla 0,708, 0,912, 0,865 ve 0,619 dur. Atabay Pompa İstasyonunun bakır yükünün suda çözülmüş halde bulunan konsantrasyonları arasındaki ilişkileri (r:0,582) önemli bulunmuştur. Akçalar ve Atabay Pompa İstasyonları ile göle giren askıda katı maddeye tutunmuş haldeki arsenik, bakır, mangan ve çinkonun suda çözülmüş hale geçtiği düşünülmüştür.

Son olarak askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan metal yükleri ile sedimentteki konsantrasyonlar arasındaki ilişkiler incelendiğinde MKP Çayı, Akçalar Deresi, Atabay ve Uluabat Pompa İstasyonlarının sedimentteki bor konsantrasyonları ile ilişkileri önemli ve pozitif bulunmuştur. Korelasyon katsayısı r değerleri sırasıyla 0,889, 0,708, 0,866 ve 0,813 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Akçalar Deresi'nin arsenik yükünün sedimentteki konsantrasyonlar ile ilişkisi pozitif ve önemli (r: 0,774) bulunmuştur. Yükler ile ilişkili olan As ve B'nin sedimentteki konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri şekil 4.5.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5.13. As ve B'nin sedimentteki konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri

Göle karışan noktasal kirletici kaynakların (NKK) sırasıyla suda çözünmüş halde (ÇH), askıda katı maddelere tutunmuş halde (AKMTH) ve sedimentteki konsantrasyonlarıyla ilişkileri çizelge 4.5.5. çizelge 4.5.6. ve çizelge 4.5.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5.5. NKK'ların metal yükleri ile Ç H metal konsantrasyonları arasındaki ilişkileri

| Ç H Metaller | Akçalar Deresi | Atabay P. İ. |
|--------------|-------------------------------|---------------|
| As | (Ç. H) 0,679 (AKMTH) 0,708 | |
| Cu | (AKMTH) 0,912 | (AKMTH) 0,582 |
| Mn | (AKMTH) 0,865 | |
| Zn | (AKMTH) 0,619 | |

* Parantez içindekiler NKK'ya ait yüklerin hangi formda olduğunu göstermektedir

Çizelge 4.5.6. NKK'ların metal yükleri ile AKMTH bulunan metal konsantrasyonları arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon katsayıları

| AKMTH Metaller | MKP Çayı | Akçalar Deresi | Atabay P. İ. | Uluabat P. İ. | Karaoğlan P. İ. |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | (ÇH) | (ÇH) | (ÇH) | (ÇH) | (ÇH) |
| Cd | 0,736 (AKMTH) | 0,780 (AKMTH) | 0,802 (AKMTH) | 0,754 (AKMTH) | 0,822 (AKMTH) |
| B | 0,618 (AKMTH) | 0,772 (AKMTH) | 0,764 (AKMTH) | 0,741 (AKMTH) | 0,736 (ÇH) |
| As | 0,817 | 0,684 (AKMTH) | 0,907 | 0,883 | 0,618 |
| Cu | | 0,789 (AKMTH) | | | |
| Cr | | 0,587 | (AKMTH) | | |
| | | | 0,577 | | |

* Parantez içindekiler NKK'ya ait yüklerin hangi formda olduğunu göstermektedir

Çizelge 4.5.7. NKK'ların metal yükleri ile sedimentteki metal konsantrasyonları arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon katsayıları

| Sedimentteki Toplam Metal Konsantrasyonu | MKP Çayı | Akçalar Deresi | Atabay P. İ. | Uluabat P. İ. | Karaoğlan P. İ. |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| B | (AKMTH) 0,889 | (AKMTH) 0,708 | (AKMTH) 0,866 | (AKMTH) 0,813 | (ÇH) 0,634 |
| As | - | (AKMTH) 0,774 | (ÇH) 0,733 | - | - |

* Parantez içindekiler NKK'ya ait yüklerin hangi formda olduğunu göstermektedir

Yapılan tüm korelasyon hesapları neticesinde arseniğin sudaki çözünmüş ve askıda katı maddeye tutunmuş formlarının yalnızca Akçalar Deresi'nin göle getirmiş olduğu arsenik yükleri ile ilişkisi bulunmuştur. Arsenik konsantrasyonları ile pozitif ilişkili olan arseniğin çözünmüş ve askıdaki formlarının yüklerinin mevsimsel değişimleri incelendiğinde, konsantrasyonların yaz ve sonbaharda arttığı, yüklerin ise debi ile doğru orantılı olarak ilkbahar ve kış aylarında yükseldiği görülmüştür. Bu farklılığın nedeninin seyrelmeden kaynaklandığı düşünülmüştür. Arseniğin askıdaki katı maddelere tutunmuş halde bulunan konsantrasyonlarının kış aylarında da yüksek olmasına, bu aylarda arsenik ve askıda katı madde yükünün yüksek bulunması neden olmuştur.

Sedimentteki konsantrasyonlarıyla yine Akçalar Deresi ve Atabay Pompa İstasyonu yüklerinin ilişkisi olduğu belirlenmiştir. Bakırın suda çözünmüş ve askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan formlarının Akçalar Deresi ve Atabay Pompa İstasyonlarının bakır yükleri ile suda çözünmüş haldeki mangan ve çinkonun Akçalar Deresi yükleri ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan bakır ve mangan yüklerinin ilkbahar ve kış aylarında daha yüksek bulunmasıyla birlikte, yazları da belli miktarda yük taşıdıkları görülmüştür. Bu yükler ile pozitif ilişkili bulunan bakırın her iki formdaki konsantrasyonu ile manganın çözünmüş haldeki konsantrasyonlarının ilkbahar, yaz ve kış aylarında yüksek oldukları görülmüştür. İlkbahar ve kış aylarında yüksek olan askıda katı maddelere tutunmuş haldeki çinko yükünden etkilenen çözünmüş haldeki çinko konsantrasyonlarının yaz aylarında yüksek bulunması, su seviyesinin azalıp konsantrasyonun artmasından hem de tarımsal uygulamaların hızlandığı bu mevsimde sulamadan dönen suların göle karışmasından ileri gelebileceği düşünülmüştür. Kromun askıdaki konsantrasyonlarının da çinkoya benzer olarak yaz aylarında yüksek bulunup, askıda katı maddelere tutunmuş formdaki krom yüklerinin ilkbahar ve kış aylarında yüksek bulunması, bakır, mangan ve kromun da tarımsal kaynaklı olarak yazları artmış olabileceği düşünülmüştür.

Askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan kadmiyumun incelenen tüm noktasal kaynakların yükleri ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Kadmiyumun çözünmüş haldeki konsantrasyonlarının yüklerle ilişkisi bulunamamıştır. Kadmiyuma benzer olarak borun askıda katı maddelere tutunmuş formlarının ve sedimentteki konsantrasyonlarının tüm noktasal kirletici kaynaklar ile olan ilişkileri önemli

bulunmuştur. Borun çözülmüş formlarının kirletici yükleri ile ilişkisi bulunamamıştır. Kadmiyum ve bor yüklerinin her iki formunun ilkbahar ve kış aylarında yüksek olmasına rağmen, askıda katı maddelere tutunmuş haldeki konsantrasyonlarının ilkbahar, kış ve sonbahar aylarında yüksek bulunmuştur. Yüksek buldukları sonbahar aylarında yayılı olan başka kaynaklardan da göle giriş olduğu düşünülmüştür.

Yüklerin sedimentteki birikimle olan ilişkileri incelendiğinde, sedimentteki borun sudaki konsantrasyonlarına benzer olarak ilkbahar ve sonbaharda yüksek bulunması, incelenen noktasal kaynakların dışındaki yüklerin sedimentteki konsantrasyonları sonbaharda etkilediğini göstermiştir. Arseniğin sedimentteki konsantrasyonlarının yaz ve kış aylarında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sedimentteki konsantrasyonların yazın yüksek, sonbaharda daha düşük olması yaz aylarında başka bir kirletici kaynağın sedimentin arsenik konsantrasyonlarını etkileyebildiğini düşündürmüştür.

Kromun askıda katı maddelere tutunmuş formlarının yalnızca Atabay Pompa İstasyonunun krom yükleri ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre arsenik ve bakırın yalnızca iki, mangan, çinko ve kromun yalnızca bir noktasal kaynak ile, kadmiyum ve borun tüm noktasal kirletici kaynak yükleri ile ilişkili olması bu metallerin göldeki konsantrasyonlarını ve dağılımlarını etkilemektedir. Kadmiyum ve borun gölün tüm bölgelerine dağılmış olabileceği düşünülmüştür. Ancak konsantrasyon bakımından değerlendirildiğinde kadmiyumun tüm noktasal kaynaklarla ilişkili olsa bile göle karışan yükün bora göre çok az olması göldeki konsantrasyonlarının düşük olmasına neden olmuştur. Uluabat Gölü'nde suda ve sedimentte incelenen metallere demir, nikel ve kurşunun noktasal kirletici kaynaklar ile ilişkileri önemli bulunmamıştır. Bu metallerin incelenen noktasal kirletici kaynaklarda belirli miktarlarda yüke sahip oldukları belirlenmiştir. Demir ve nikelin toprağın kendi yapısında bulunması suda da bulunacaklarını göstermektedir. Ayrıca atmosferden çökelmelerin olması sebebiyle bu metaller bir çok kirlilik kaynağından etkilenebilmektedirler. Noktasal kirletici kaynaklara ait suda ÇH ve AKMTH'de bulunan metal konsantrasyonlarının yıllık ortalama ve standart sapma değerleri Ek-2'de verilmiştir.

4. 6. Atmosferden Kaynaklanan Ağır Metal ve İz Element Miktarlarının Belirlenmesi

Son yıllarda, atmosferdeki partikül maddelerin, insan sağlığı, bitki, toprak ve su yaşamı üzerinde gözle görülür etkilerinin olduğu bilinmektedir. Ağır metal ve iz elementlerin bazıları endüstri ve motorlu araçlardan kaynaklanmaktadır. Özellikle Cu, Zn, Cd, Sb, Ba, Pb, Cr, Ni, Sn ve Mo'nun trafik kaynaklı olduğu bilinmektedir.

Uluabat Gölü'nü kirleten noktasal kirlilik kaynakları dışında, ağır metaller için önemli bir yayılı kirlilik kaynağı olan atmosferdeki konsantrasyonlar, daha önce yapılmış bir çalışmada belirlenmiştir (Taşdemir ve ark. 2006). Bu çalışmada, tez kapsamında incelenen arsenik ve bor dışındaki tüm elementler için konsantrasyonlar ölçülmüş ve literatürdeki kuru çökeltme hızları kullanılarak kuru çökeltme akıları hesaplanmıştır. Ölçümleri yaz ve ilkbahar aylarında yapılmış olan çalışmada, Cd ve Pb dışındaki elementlerin yaz aylarında bulunan konsantrasyonları ilkbahardan, Cd ve Pb'nin ilkbahar aylarındaki konsantrasyonları yazdan daha yüksek seviyede belirlenmiştir. Uluabat Gölü'nde, Pb'nin suda çözülmüş halde bulunan konsantrasyonları, Cd'nin askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan konsantrasyonları ve sedimentte her iki metalin de konsantrasyonları, atmosferdekilere benzer olarak, ilkbahar aylarında yaz mevsiminden daha yüksek bulunmuştur.

Ağır metal ve iz elementlerin kuru çökeltme akıları, çökeltme hızları (Vd) ve konsantrasyonların çarpımlarından hesaplanabilmektedir (4.5).

$$F = Vd \times C \quad (4.5)$$

Ancak bu formül, partikül büyüklük dağılımını göze almadığı için genişletilmiştir. Buna göre büyük ve küçük partiküller için belirlenmiş kuru çökeltme hızları ile akılar hesaplanmıştır (4.6).

$$F = Cf \times Vdf + CcxVdc \quad (4.6)$$

Vdf ve Vdc , sırasıyla küçük ve büyük partiküller için belirlenmiş kuru çökeltme hızlarıdır.

Yaz ve ilkbahar aylarının ortalamaları alınarak belirlenmiş konsantrasyonlar, ince ve kalın partiküllerin kuru çökeltme hızları kullanılarak, kuru çökeltme akıları hesaplanmıştır. Yapılmış olan çalışmadan alınmış olan akı değerleri ile Uluabat Gölü'nün yaz ve ilkbahar ayları ortalama yüzey alanı (149,65 km²) çarpılarak Uluabat Gölü'ne günlük çökelen ağır metal ve iz element kütle miktarı hesaplanmıştır. Çizelge 4.6.1'de atmosferdeki ağır metal ve iz element konsantrasyonları, kuru çökeltme hızları, kuru çökeltme akıları ve Uluabat Gölü'ne günlük çökelen ağır metal ve iz element miktarları gösterilmiştir (Taşdemir ve ark. 2006).

Çizelge 4.6.1. Atmosferdeki ağır metal ve iz element konsantrasyonları, kuru çökeltme hızları, kuru çökeltme akıları ve Uluabat Gölü'ne günlük çökelen ağır metal ve iz element miktarları

| Element | Konsantrasyon (ng/m ³) | | Toplam Akı (mg/m ² gün) | Uluabat Gölüne Çökelen Kütle Miktarı (kg/gün) |
|---------|---------------------------------------|--------|---------------------------------------|--|
| | Ort | Std | | |
| Cr | 10,7 | 6,7 | 0,014 | 2,0951 |
| Mn | 51,1 | 32,6 | 0,213 | 31,87545 |
| Fe | 2165,4 | 1717,4 | 1,992 | 298,1028 |
| Ni | 5,1 | 4,1 | - | - |
| Cu | 396,6 | 391,7 | 1,005 | 150,3983 |
| Zn | 250,5 | 178,5 | 0,635 | 95,02775 |
| Cd | 0,7 | 0,9 | 0,001 | 0,14965 |
| Pb | 77,2 | 78,7 | 0,131 | 19,60415 |

Bu hesaplamalarda, nikelin kuru çökeltme hızı olmadığı için atmosferik kuru çökeltme akısı belirlenememiştir. Çökelen kütle miktarları büyüklük sıralamasına sokulduğunda, sıralama Fe>Cu>Zn>Mn>Pb>Cr>Cd şeklinde belirlenmiştir. Büyüklük sıralamasında Pb ve Mn'nin sıralaması çökeltme hızlarının farklı olması nedeniyle konsantrasyonlardan farklı olmuştur. Atmosferden Uluabat Gölü'ne çökelen ağır metal ve iz element kütle miktarları diğer noktasal kirlilik kaynaklarıyla karşılaştırıldığında Cu dışındaki çözülmüş haldeki ağır metal ve iz element yüklerine göre çok düşük mertebede olduğu görülmüştür. Bakırın atmosferden göle giren yükünün noktasal kaynakların çözülmüş halde bulunan bakır yüküne göre 3,81 kat fazla olduğu belirlenmiştir. Benzer olarak askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan ağır metal ve iz elementlerin noktasal kirlilik yükleri ile atmosferden göle giren yükler karşılaştırıldığında, Mn, Cu, Zn ve Pb'nin atmosferden kaynaklanan yüklerinin noktasal

kirlilik kaynak yüklerinden sırasıyla 1,8, 214, 20, 9,21 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ağır metal ve iz elementlerin göle giren toplam yükleri değerlendirildiğinde, Cu dışındaki tüm elementlerin büyük oranda noktasal kirlenici kaynaklar tarafından göle bırakıldığı, Cu yükünün % 78,94'ünün atmosferden kaynaklandığı belirlenmiştir. Çizelge 4.6.2'de Uluabat Gölü kirlenici kaynaklarının toplam ağır metal ve iz element yükleri ve yüzde oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.6.2. Uluabat Gölü kirlenici kaynaklarının toplam ağır metal ve iz element yükleri ve yüzde oranları

| Metaller | NKK ÇH | | NKK AKMTH | | Atmosfer | | Toplam Yük (ton/yıl) |
|----------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|----------------------------|
| | Yük (ton/yıl) | % | Yük (ton/yıl) | % | Yük (ton/yıl) | % | |
| As | 10,898 | - | 0,190 | - | - | - | - |
| Cr | 19,199 | 91,515 | 1,016 | 4,843 | 0,764 | 3,642 | 20,978 |
| Cd | 11,046 | 98,097 | 0,160 | 1,418 | 0,055 | 0,485 | 11,261 |
| Pb | 58,166 | 88,000 | 0,777 | 1,175 | 7,155 | 10,825 | 66,098 |
| Cu | 14,388 | 20,691 | 0,257 | 0,369 | 54,895 | 78,940 | 69,540 |
| Ni | 20,566 | - | 1,689 | - | - | - | - |
| B | 1779,000 | - | 2,091 | - | - | - | - |
| Fe | 702,924 | 69,574 | 198,598 | 19,657 | 108,807 | 10,769 | 1010,329 |
| Mn | 26,721 | 59,642 | 6,447 | 14,390 | 11,634 | 25,968 | 44,802 |
| Zn | 142,354 | 79,639 | 1,709 | 0,956 | 34,685 | 19,404 | 178,748 |

4. 7. Uluabat Gölü Sedimenti Ağır Metal ve İz Element Fraksiyonlarının Dağılımları ve Suya Geçebilme Risk Durumlarının Değerlendirmesi

4. 7. 1. Sedimentte Bulunan Ağır Metal ve İz Element Fraksiyonlarının Suya Geçebilme Risk Durumlarının Değerlendirmesi

Sedimentte incelenen ağır metallerin kimyasal fraksiyonları, mobil ağır metaller (F1), Kolay serbest hale geçebilen metaller (F2), Mn-oksitlere bağlı ağır metaller (F3), Organik maddeye bağlı ağır metaller (F4) ve kalıntı halindeki ağır metaller (F5) dir. Kalıntı halinde bulunan ağır metaller, sedimentte bulunan toplam ağır metallerden fraksiyonların toplamı çıkarılarak belirlenmiştir.

Metal konsantrasyonlarının değerlendirilmesinde, iki ana yayın kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi, New York Eyaleti Çevre Koruma Bölümü'nün-NYSDEC (1999) yayınlamış olduğu rehber kitaptır (Liu ve ark. 2008). Burada mevcut kirlilik LEL (Düşük etki seviyesi) ve SEL (Yüksek etki seviyesi) olmak üzere iki farklı sınır konsantrasyon seviyeleri kullanılmıştır. Metal konsantrasyonları, düşük etki seviyesi'ni (LEL) aştığında canlıların sağlığı orta derecede, yüksek etki seviyesini (SEL) aştığında, yüksek derecede etkilenmektedir. Kullanılan diğer yayın ise, risk değerlendirme değerleridir (RAC). Bu yayındaki sınıflandırma, metallerin karbonatlara bağlı ve değişebilir fraksiyonlarının yüzdeleri kullanılarak yapılmaktadır. Burada farklı metallerin konsantrasyonları ve maruz kalınma süreleri kadar farklı metallerin toksik etkileri de göz önüne alınmaktadır. Metallerin karbonatlara bağlı ve değişebilir fraksiyonlarının yüzdelerine göre yapılan değerlendirme, zayıf bağlı, sudaki fazlarla dengede olmaları ve canlılara geçebilmeleri nedeniyle önemlidir. RAC'ye göre, sedimentte bulunan herhangi bir metalin karbonatlara bağlı ve değişebilir fraksiyonlarının konsantrasyonlarının toplam metalin %11-30 arasındaki konsantrasyonu orta riskli, % 50'den fazla miktarı da yüksek riskli ve kolaylıkla besin zincirine girebilen değer olarak değerlendirilmektedir. Sedimentin en üst kısmı, suyla en çok reaksiyona giren bölge olması nedeniyle RAC yüzey sedimentine (6m) göre değerlendirme yapmaktadır (Liu ve ark. 2008). Bu nedenle bu çalışmada yüzey sedimentindeki metaller incelenerek risk değerlendirilmesi yapılmıştır.

Uluabat Gölü sedimentinin pH değerleri 7,12 ile 9,05 arasında değişmektedir. En yüksek ve en düşük değerleri 8. ve 1. İstasyonlarda görülmüştür. Organik madde konsantrasyonları % 2,87 ile % 5,18 arasında değişmiştir. Ağır metal

konsantrasyonlarının toplam ve diğer fraksiyonlarının yıllık ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimleri, LEL ve SEL'ye göre karşılaştırmalı grafikleri şekil 4.7.1'de gösterilmiştir.

Metaller arasında en yüksek konsantrasyona sahip demirin sedimentteki fraksiyonlarının dağılımları incelendiğinde, kalıntı fraksiyonunun en baskın değerinde toplam demirin % 94,680 olduğu görülmüştür. Derin deniz sedimentlerinde, demirin 85%'nin kalıntı fraksiyonunda olduğu görülmüştür. Demirin organiklere bağlı fraksiyonunun (F4) en yüksek 8., en düşük 7. istasyonlarda olmak üzere ikinci en baskın (% 4,379) fraksiyon olduğu görülmüştür. Bu fraksiyonun düşük değerleri, çözünmeyen ve statik bir fraksiyon olduğunu göstermektedir. Demirin karbonat bağlı fraksiyonu en çok CaCO_3 içeren sedimente sahip istasyonda görülmüştür. Mn-oksitlere bağlı olan fraksiyonu (% 1,039) 3. baskın değerdedir. Mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonları en küçük değerlerde sırasıyla % 0,010 ve % 0,0119 bulunmuştur. (F1 + F2) yüzde değerleri % 0,0229 olarak metaller arasında en düşük yüzdeye sahiptir. Bu durum alkali pH koşullarının mevcut olmasından kaynaklanmıştır. Demirin minimum çözünme aralığı 7.4 ile 8.5 aralığıdır. Demirin tüm istasyonlarda LEL ile SEL seviyeleri arasında olduğu belirlenmiştir. Toplam konsantrasyonlar en yüksek 3. en düşük 8. istasyonlarda bulunmuşlardır.

Manganın kalıntı (F5) halindeki fraksiyonunun, göl sedimentindeki en yaygın fraksiyonu olduğu belirlenmiştir. Bu durum yağışlarla birlikte göle giriş yapan askıda katı maddenin birikiminden kaynaklanmaktadır. Doğal bataklıklarda, Mn'in ortalama % 53'ünün kalıntı halinde bulunduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada % 48,190 olarak bulunmuştur. Çözünemeyen fraksiyonlar (özellikle alkali pH koşullarında) geri dönüşsüz bir şekilde bağlanmaktadır. En yüksek CaCO_3 içeriği bulunan sedimente sahip göllerde bu fraksiyon miktarı yüksek bulunmuştur. Mn, CaCO_3 partiküllerine tutunan mikronütrient katyonudur. Manganın Mn-oksitlere bağlı fraksiyonu (F3) 2. en baskın fraksiyon (% 26,235), 3. baskın olarak ta % 14,035 ile kolay serbest hale geçebilen fraksiyonların olduğu belirlenmiştir. Doğal bataklıklarda, manganın ortalama olarak % 11'inin kolay indirgenebilir halde bulunduğu ve Mn(OH)_2 'nin askıda katı madde ile ilişkili olarak kalıntı fraksiyonuna dönüştüğü görülmektedir. 4. baskın fraksiyon ise organik bağlı fraksiyondur (F4). Manganın organik maddenin suda çözünebilir ve çözünemeyen fraksiyonları ile kompleks oluşturduğu bilinmektedir. Suda çözünebilir

(mobil) fraksiyonlar göl sedimentindeki en düşük miktarda (% 2,083) bulunmuştur. Bunu nedeni olarak göldeki alkali koşulların meydana gelmesinin olduğu düşünülmüştür. Manganın çözünürlüğünün pH'taki her bir birim artışı için 100 kat azaldığı bildirilmektedir. Konsantrasyon bakımından en yüksek 2. metal olan Mn'nin tüm istasyonlarda LEL ile SEL arasında değerler aldığı, en yüksek ve en düşük konsantrasyonların 7. ve 2. istasyonlarda olduğu belirlenmiştir. Mn-oksitlere bağlı ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlar metaller içinde en yüksek değerlerini almışlardır.

Yapılan çalışmalarda, göllerdeki sedimentlerde, Cr'nin kalıntı fraksiyonunun (Cr-F5) en baskın fraksiyon olduğu ve toplam Cr'nin % 96,618'sinin silikat minerallerine bağlı olduğu görülmüştür. Organik maddelere bağlı fraksiyonların ikinci (% 2,033), Mn-oksitlere bağlı olanlar 3. (% 0,897) ve kolay serbest hale geçebilir 4. ve mobil fraksiyonlarda 5. derecede baskın olduğu görülmüştür. Mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonların toplam yüzdesi % 0,4433 ile çok az miktarda olduğu görülmüştür. Fe-oksitler ile Cr'nin ilişkisinin olduğu belirtilmiştir. CaCO₃ miktarı daha yüksek olan göllerde karbonat bağlı fraksiyonların yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum Cr'nin karbonatlarla tepkimeye girip indirgenmesinden kaynaklanmaktadır. Anoksik koşulların hakim olduğu durumlarda, sedimentte meydana gelen indirgenme koşulları nedeniyle Cr'un çözünürlüğü artış göstermektedir. Kışın mobil ve kolay serbest hale geçebilen formlarının toplamı % 0,2392 iken yazın % 0,7758 olarak bulunmuştur. Cr konsantrasyonunun, tüm istasyonlarda SEL ve LEL seviyesini aşmış olduğu belirlenmiştir. Toplam konsantrasyonun maksimum olduğu 2. istasyonda organik maddeye bağlı fraksiyonun % 2,144, kalıntı formunun % 96,373 (> % 60), minimum olduğu 8. istasyonda ise organik maddeye bağlı fraksiyonun % 2,165, kalıntı formunun % 96,637 (>% 60) ile 2. istasyondan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Tüm istasyonlarda mobil (F1) ve kolay serbest hale geçebilir (F2) fraksiyonların (değişebilir fraksiyonların) çok düşük konsantrasyonlarda oldukları görülmüştür.

Cu'nun sedimentteki fraksiyon dağılımı incelendiğinde, en çok kalıntı halindeki (% 65,220), 2. olarak organik maddelere bağlı fraksiyonlar (% 25,631) bulunmuştur. Bakırın çözünebilir ve çözünemez organik maddeler ile kompleks oluşturdukları bilinmektedir. Genel olarak bakırın daha az bir oranının planktonlar tarafından alınması ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Cu'nun mobil fraksiyonları 3. baskın değerde ve B hariç

diğer metallere göre oldukça yüksek konsantrasyonda (% 4,248) olduğu belirlenmiştir. 4. baskın fraksiyon, kolay serbest hale geçebilir (% 2,514) ve 5. olarak ta Mn-oksitlere bağlı fraksiyon (% 2,385) bulunmuştur. Suda çözünebilir ve değişebilir fraksiyonlarının (kolay serbest hale geçebilir) diğer çalışmalarda % 1,04-2,82 arasında olduğu bulunmuştur. Doğal bataklıklarda, bu fraksiyonların <% 2 olduğu belirtilmiştir. Mn oksitlerin Cu ve Ni'in tutulmasında Fe oksitlere göre daha etkili oldukları bilinmektedir. Cu'nun $Cu(OH)CO_3$ ve $Cu(OH)_2$ olarak ince $CaCO_3$ taneciklerine tutunarak çökeldiği bilinmektedir. Toplam konsantrasyonlarının sıralaması $2 < 8 < 4 < 5 < 7 < 1 < 6 < 3$ dir. Tüm istasyonlarda konsantrasyonların LEL ile SEL seviyesi arasında kaldığı belirlenmiştir. 6. istasyonda, kolay serbest hale geçebilir fraksiyonun diğer istasyonlara göre daha yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir.

Ni'in kalıntı halinde bulunan fraksiyonları, % 98,970 ile en baskın olan formudur. Daha önceki çalışmalarda, toplam Ni'in % 53'ünün kalıntı halinde olduğu görülmüştür. İkinci büyük değer, organik bağlı fraksiyon (F4) olup, % 6,627 oranında bulunmuştur. Kolay serbest hale geçebilen fraksiyonların (F2) 3. en yaygın fraksiyon olduğu anlaşılmıştır. Mn-oksitlere bağlı fraksiyonlar (F3) % 1,301 oranında bulunmuştur. Mn-oksitlerin nikeli sedimentte tuttukları bilinmektedir. Nikelin mobil fraksiyonları en az değerde % 0,591 oranında bulunmuştur. Ni konsantrasyonları incelendiğinde tüm istasyonlarda SEL ve LEL değerini aştığı, maksimum değerini 4. istasyonda aldığı belirlenmiştir. 2. ve 4. istasyonlarda değişebilir fraksiyonların (F1 ve F2) diğerlerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

B konsantrasyonları için etki seviyesi sınır değerleri bulunmamaktadır. Bu nedenle fraksiyonlarının dağılımları incelenmiştir. B'nin en baskın fraksiyonunun % 85,57 ile kalıntı halinde bulunanlar olduğu belirlenmiştir. 2. en baskın fraksiyonun diğer metallere farklı olarak % 6,46 oranında ve mobil halde bulunan fraksiyonlar olduğu belirlenmiştir. İncelenen metallerin mobil halde bulunan fraksiyonları arasında en yüksek miktarın B elementinde olduğu belirlenmiştir. 3. ve 4. baskın oranda bulunanların organik maddeye bağlı (% 3,567) ve kolay serbest hale geçebilir (% 2,711) fraksiyonlar olduğu görülmüştür. En düşük miktarda bulunan fraksiyonun Mn-oksitlere bağlıların (% 1,683) olduğu belirlenmiştir. Değişebilir fraksiyonların (F1+F2) Mn'den sonraki en yüksek orana (% 9,171) sahip elementin B olduğu belirlenmiştir. Değişebilir

fraksiyonlar maksimum 1., minimum 2. istasyonda belirlenmiştir. Toplam konsantrasyonlar maksimum 4. minimum 8. istasyonlarda görülmüştür.

Pb'nin kimyasal fraksiyonları incelendiğinde, kalıntı fraksiyonunun en yüksek değerinde % 58,373 oranında olduğu görülmüştür. Kurşununda litophilik ve kalkofilik özelliğine sahip olduğu bilinmektedir. 2. ve 3. baskın fraksiyonların organik maddeye bağlı (% 24,384) ve Mn-oksitlere bağlı (% 11,522) fraksiyonların olduğu görülmüştür. Bunun nedeni olarak Cd'a benzer olarak Pb'nin organik maddelerle stabil ve çözünemeyen çelatlar oluşturduğu bilinmektedir. Bu nedenden dolayı, çözünemeyen ve stabil haldeki Pb'nin organik maddeye bağlı olduğu düşünülmüştür. Bununla beraber, su altındaki koşullarda, Pb'nin çözüldüğü görülmüştür (Sing ve ark. 2008). Ayrıca Pb, Cd'ye benzer olarak Fe-Mn oksitlere nazaran karbonat minerallerini tercih etmektedir. Pb'nin 4. baskın fraksiyonunun kolay serbest hale geçebilir fraksiyonun olduğu ve % 5,014 oranında bulunduğu belirlenmiştir. En düşük orandaki fraksiyonun (% 0,896) mobil halde bulunan fraksiyonların olduğu belirlenmiştir. Pb konsantrasyonları incelendiğinde, 8. istasyon hariç diğer tüm istasyonlarda LEL seviyesine göre daha yüksek, SEL seviyesinden ise daha düşük oldukları belirlenmiştir. Değişebilir fraksiyonların (F1+F2) en yüksek olduğu bölgenin 8. en düşük olduğu bölgenin de 1. istasyon olduğu görülmüştür. Toplam konsantrasyonların en yüksek ve en düşük değerleri 6. ve 8. istasyonlarda görülmüştür. Kalıntı halindeki fraksiyonlarının en düşük 8. istasyonda olduğu belirlenmiştir.

Çinkonun en baskın fraksiyonunun kalıntı halinde bulunan fraksiyonu (% 95,826) olduğu görülmüştür. Diğer çalışmalarda % 57,85 ile % 78,24 arasında en baskın fraksiyon olarak bulunmuştur. Bu durum, Zn'nin litophilik ve kalkofilik özelliğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Los Angeles Limanında yapılan çalışmada Zn'nin kalıntı fraksiyonunun % 23-42 arasında bulunmuştur (Sing ve ark. 2008, Gupta and Chen 1975). 2. olarak, organiklere bağlı fraksiyon (% 4,011), 3. olarak Mn-oksitlere bağlı fraksiyon bulunmuştur. Daha önceki çalışmalarda da Zn'nin organik bağlı fraksiyonları, % 2,42 ile % 15,13 arasında ve % 4 civarında bulunmuştur. Bu fraksiyonda bulunan benzer konsantrasyonlar sedimentte bulunan organik maddenin çok farklı bir aralığa sahip olmamasından kaynaklanmaktadır. CaCO₃ konsantrasyonu yüksek olan gölde değerler yüksek bulunmuştur. Bakır gibi çinko da hidroksit ve hidroksit karbonatlar gibi karbonatların yüzeyinde tutunup çökelmektedirler. Mobil

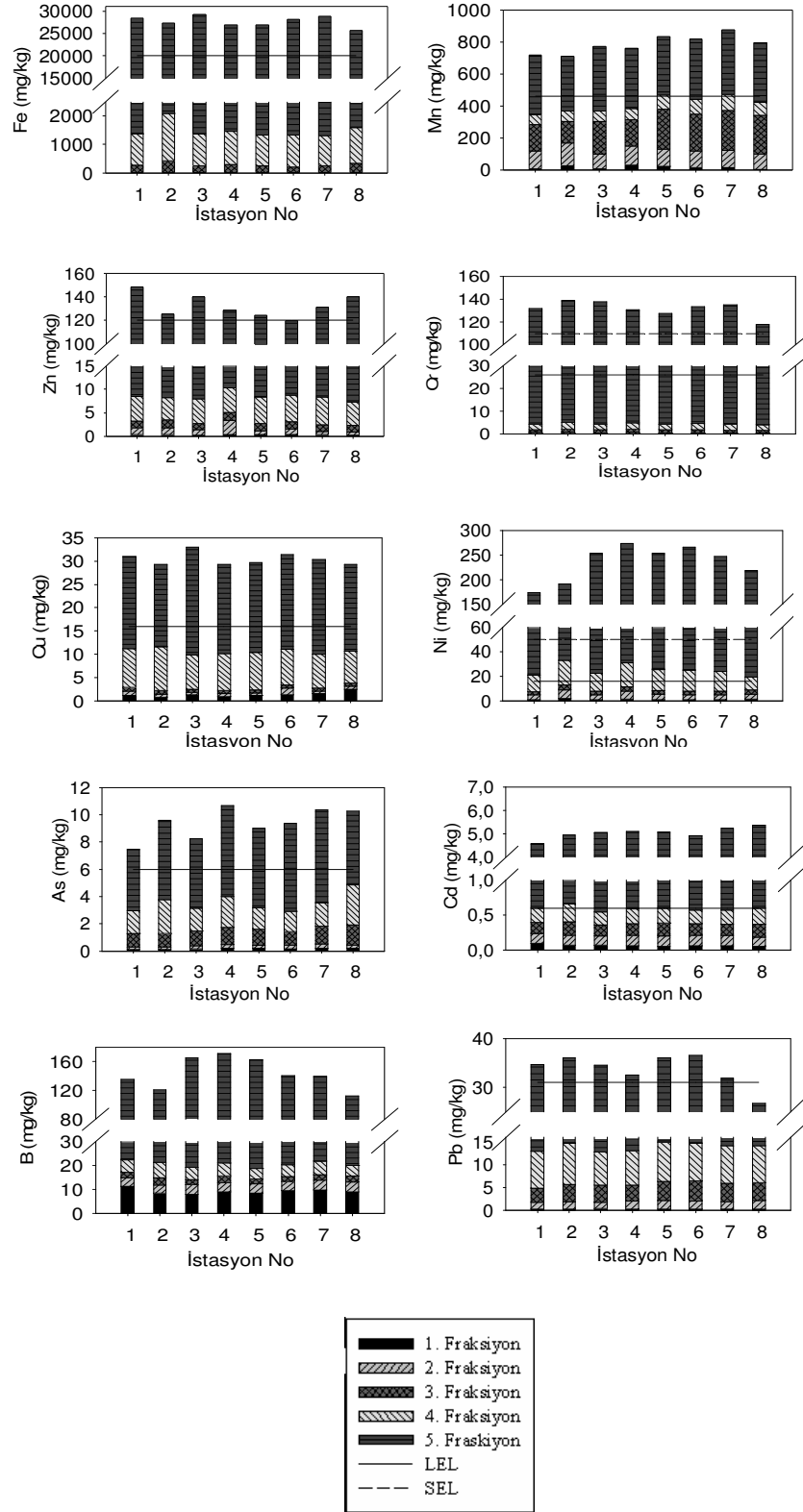
(F1) ve kolay serbest hale geçebilir (F2) fraksiyonlar sırasıyla % 0,271 ve % 0,983 olarak bulunmuştur. Daha önceki çalışmalarda da suda çözünebilir ve değişebilir fraksiyonları, % 1,52 ile % 3,53 arasında bulunmuştur (Singh ve ark. 2008). Çinko konsantrasyonlarının dağılımlarına bakıldığında, Pb ile benzerlik gösterdikleri belirlenmiştir. Konsantrasyonların 6. istasyon hariç diğer tüm istasyonlarda, LEL ile SEL arasında değer aldıkları, 6. istasyonda LEL seviyesinin altında değerler aldığı belirlenmiştir. Genel olarak bakıldığında, değişebilir fraksiyonların en yüksek oldukları bölge 4. istasyonda belirlenmiştir. Kalıntı formunun en yüksek değerlerinin 1., en düşük değerlerinin de 6. istasyonlarda oldukları görülmüştür.

As'nin en baskın fraksiyonunun % 62,981 oranıyla kalıntı halindeki değerleri olduğu belirlenmiştir. 2. baskın organik maddeye bağlı (% 21,722) , 3. baskın Mn-oksitlere bağlı (% 12,585) fraksiyonlarıdır. Mn'den sonra en yüksek değerdeki Mn-oksitlere bağlı fraksiyonları arsenikte bulunmaktadır. Mobil ve kolay serbest hale geçenler de % 1,796 ve % 2,527 oranlarında bulunmuşlardır. As konsantrasyonlarının dağılımlarına bakıldığında tüm istasyonlardaki konsantrasyonların LEL ile SEL arasında olduğu görülmüştür. En yüksek ve en düşük konsantrasyonlar 4. ve 1. istasyonlarda görülmüştür. Kalıntı halinde bulunan ve organik bağlı fraksiyonların maksimum ve minimum değerleri sırasıyla 7. ve 8. istasyonlarda % 66,907 ve % 29,137 olarak bulunmuştur.

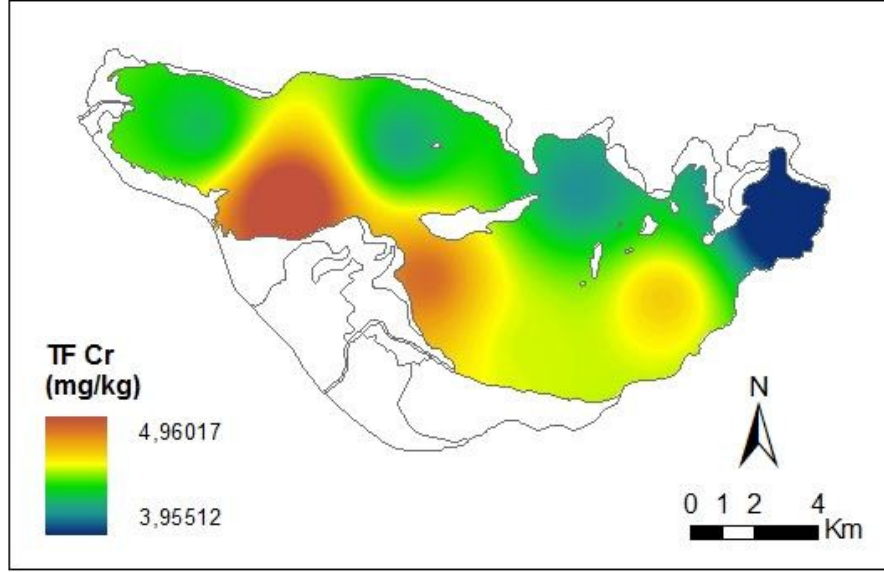
Cd için yapılan incelemelerde kalıntı fraksiyonunun % 88,382 oranında bulunduğu belirlenmiştir. Başka çalışmalarda % 69,22 ile % 78,10 arasında bulunmuştur (Singh ve ark. 2008). Cd'un, kalkofilik özelliği sebebiyle, kalıntı halindeki fraksiyonun konsantrasyonu yüksek çıkmıştır. Organik bağlı fraksiyonu % 4,144 olarak belirlenmiştir. Diğer çalışmalarda % 2,18 ile % 4,98 arasındaki konsantrasyonlarda ve en yüksek değeri de TC miktarının en yüksek olduğu sedimentte bulunmuştur. Uluabat Gölü organik madde % oranı istasyonlar arasında % 3,5 ile % 4,2 arasında değişmiştir. Bu nedenle de organik bağlı fraksiyonların konsantrasyonları istasyonlara göre çok değişim göstermemiştir. 3. baskın fraksiyonu, Mn-oksitlere bağlı olandır ve ortalama % 3,415 olarak bulunmaktadır. Cd, Mn oksitlere nazaran karbonat minerallerini tercih etmektedir. Mobil ve kolay serbest hale geçebilen fraksiyonları sırasıyla % 1,329 ve 2,796 olarak belirlenmiştir. Diğer metallere göre Cd'un bu fraksiyondaki daha yüksek olan konsantrasyonu, alkali pH aralığında olan organik maddenin çözünürlüğünden ileri

gelmektedir. Metaller içinde en düşük miktarda bulunan Cd konsantrasyonlarının istasyonlara göre farklılığının çok büyük olmadığı, tüm istasyonlardaki konsantrasyonların LEL ile SEL arasında olduğu belirlenmiştir. Toplam konsantrasyonların en yüksek ve en düşük değerleri 8. ve 1. istasyonlarda oldukları belirlenmiştir. Kolay serbest hale geçebilir fraksiyonun Mn'den sonra en yüksek orana sahip olduğu görülmüştür.

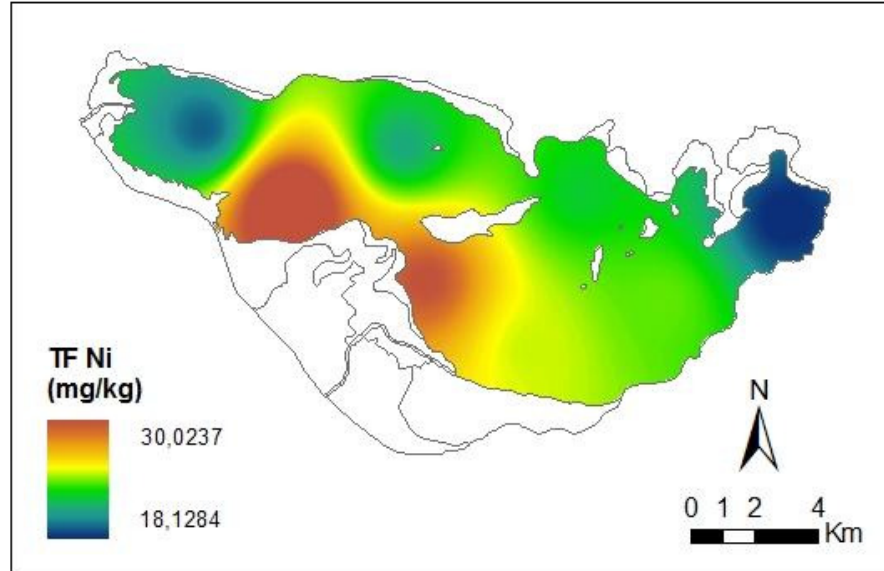
New York Eyaleti Çevre Koruma Bölümü'nün düşük etki seviyesi (LEL) ve yüksek etki seviyesine (SEL) göre yapmış olduğu sınıflandırmalarda yüksek etki seviye sınırını geçmiş olarak bulunan Cr ve Ni elementleri için, belirli koşullar altında suya geçebilecek kalıntı halindeki fraksiyonu dışında bulunan F1, F2, F3 ve F4 toplam konsantrasyonlarının dağılım haritaları şekil 4.7.2 ve şekil 4.7.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.7.1 Ağır metal ve iz element fraksiyonlarının LEL ve SEL'ye göre karşılaştırmalı grafikleri



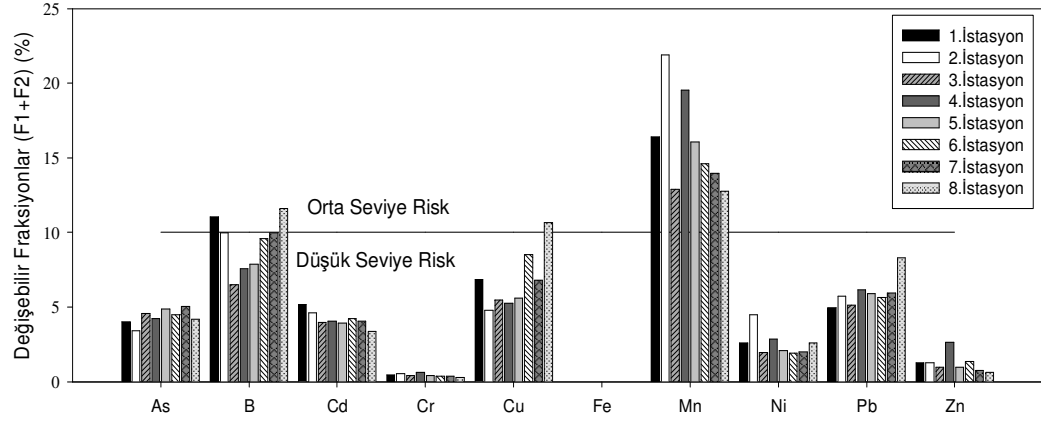
Şekil 4.7.2. Cr elementi F1, F2, F3 ve F4 toplam konsantrasyonları dağılım haritası



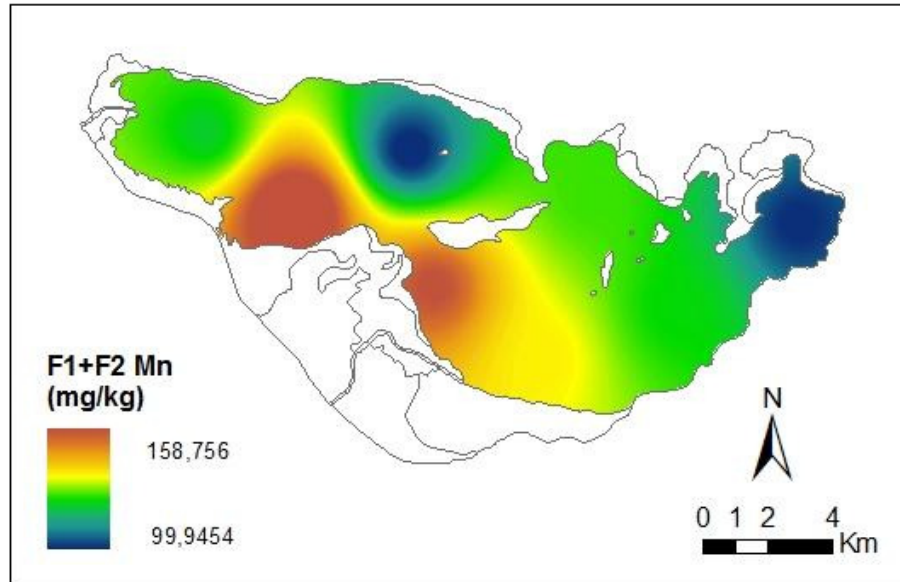
Şekil 4.7.3. Ni elementi F1, F2, F3 ve F4 toplam konsantrasyonları dağılım haritası

Metallerin değişebilir fraksiyonlarının (mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonların toplamı) yüzdeleri belirlenmiştir. Buna göre As, Cd, Cr, Fe, Ni, Pb ve Zn metallerinin % 10'un altında ve düşük risk seviyesinde olduğu belirlenmiştir. İncelenen metallerin değişebilir fraksiyonlarının hiçbirinin % 50'den yüksek olmadığı ve yüksek risk taşımadığı belirlenmiştir. B'nin 1. ve 8. istasyonlarda, Cu'nun 8. istasyonda ve Mn'nin tüm istasyonlarda değişebilir fraksiyonların % 11-20 arasında ve orta seviyede riskli oldukları belirlenmiştir. Şekil 4.7.4'te metallerin değişebilir fraksiyonlarının yüzdeleri ve risk seviyeleri gösterilmiştir. Ayrıca Mn, B ve Cu elementlerinin değişebilir fraksiyonlarının (F1+F2) gölün bazı bölgelerinde orta seviyede riskli bulunmuş olmaları nedeni ile bu elementlerin F1+F2 konsantrasyon dağılım haritaları hazırlanmıştır. Şekil 4.7.5-Şekil 4.7.7'de Mn, B ve Cu elementleri F1+F2 konsantrasyon dağılım haritaları gösterilmiştir.

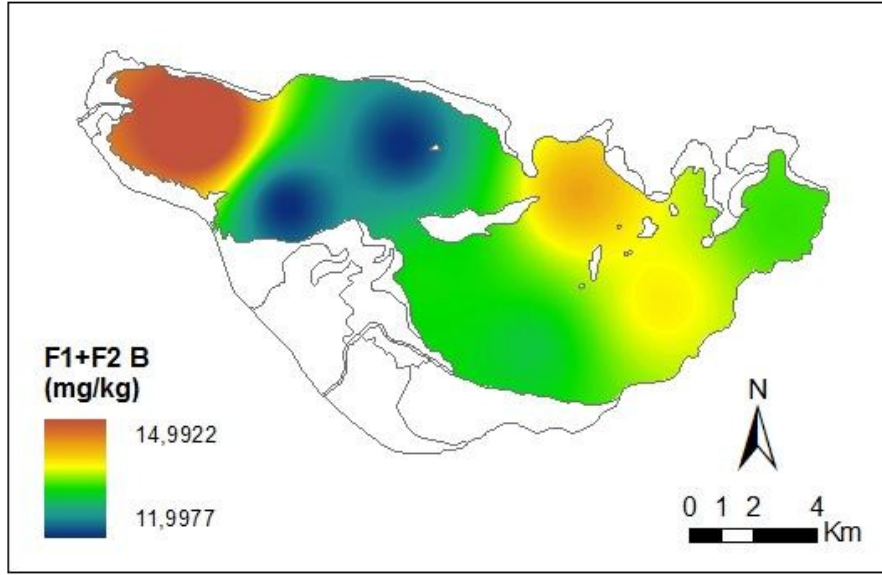
Bu çalışmada, toplam Pb konsantrasyonlarının % 20'si kalıntı formunda bulunmuştur. Diğer çalışmalarda organik ve slfitle bağlı fraksiyonların daha yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir. Bu fraksiyonların yüksek değerlerde oldukları anlaşılmıştır. Sedimentteki toplam metal konsantrasyonlarının büyüklük sıralaması Fe>Mn>Ni>B>Zn>Cr>Pb>Cu>As>Cd dir. Toplam metallerin değişebilir fraksiyonlarının (F1+F2) konsantrasyonlarının büyüklük sıralaması Mn>B>Fe>Ni>Cu>Pb>Zn>Cr>As>Cd Şeklinde olduğu belirlenmiştir. Değişebilir fraksiyonların toplam konsantrasyona göre yüzdeleri alındığında sıralama Mn>B>Cu>Pb>As>Cd>Ni>Zn>Cr>Fe olarak değişmektedir. Bu sıralamada 10% değerini aşan bir tek metal % 15,972 ile Mn olmuştur. Bu nedenle orta seviyede riskli olan metalin Mn olduğu grlmştir. İncelenen diğer fraksiyonların konsantrasyonlara göre belirlenen oranları büyüklük sıralamasına konulmuştur. Buna göre kalıntı halinde bulunan fraksiyonlar Cr>Zn>Fe>Ni>Cd>B>Cu>As>Pb>Mn, organik maddeye bağlı fraksiyonlar Cu>Pb>As>Mn>Ni>Fe>Cd>Zn>B>Cr, Mn-oksitlere bağlı fraksiyonlar Mn>As>Pb>Cd>Cu>B>Ni>Zn>Fe>Cr, kolay serbest hale geçebilenler Mn>Pb>Cd>B>As>Cu>Ni>Zn>Cr>Fe ve mobil halde bulunan fraksiyonlar B>Cu>Mn>As>Cd>Pb>Ni>Zn>Cr>Fe olarak sıralanmışlardır.



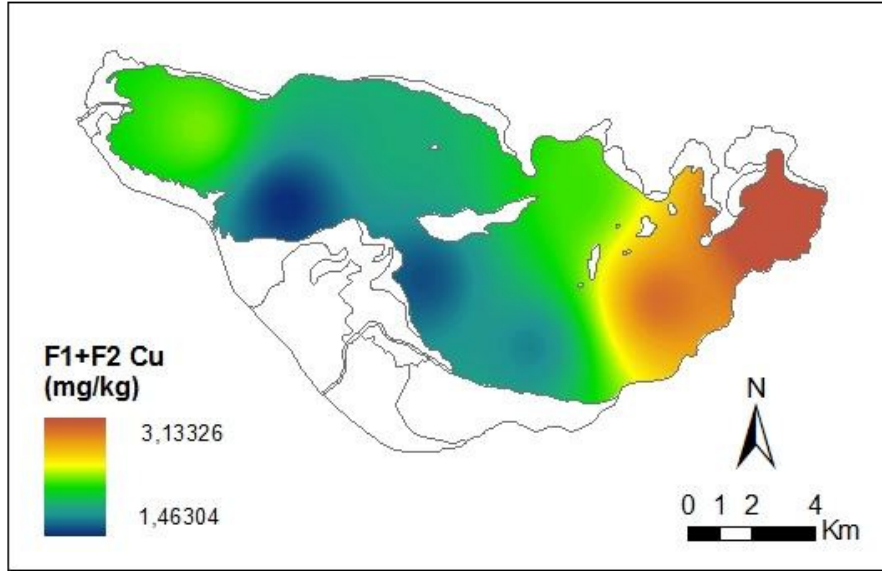
Şekil 4.7.4. Metallerin değişebilir fraksiyonlarının yüzdeleri ve risk seviyeleri



Şekil 4.7.5. Mn elementi F1 ve F2 toplam konsantrasyonları dağılım haritası



Şekil 4.7.6. B elementi F1 ve F2 toplam konsantrasyonları dağılım haritası



Şekil 4.7.7. Cu elementi F1 ve F2 toplam konsantrasyonları dağılım haritası

Sedimentteki metal fraksiyonlarına ait konsantrasyonlarının diğer göller ile karşılaştırmaları sonucunda Uluabat Gölü'nde kalıntı halindeki konsantrasyonların diğer göllere nazaran daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Diğer fraksiyonlar ile

karşılaştırıldığında benzer konsantrasyonlarda bulunduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.7.8' de çalışma sonuçlarına ait ağır metal ve iz element fraksiyonlarının konsantrasyonları ve diğer çalışmalar ile karşılaştırılmaları gösterilmiştir. Cr ve Ni'nin SEL seviyesini aştığı, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, As ve Cd'nin ise LEL ile SEL arasında olduğu, Zn'nin 6. istasyonda, Pb'nin 8. istasyonda LEL seviyesinin altında kaldığı belirlenmiştir. Meydana gelen kirliliğin sebebi olarak noktasal kirletici kaynakların göle vermiş oldukları yükler oldukları anlaşılmıştır. Aynı zaman da Bursa'da yapılan tarım uygulamalarının, farklı amaçlarla kullanılan topraklardan kaynaklanan yüzeysel akışların, trafik emisyonlarının ve atmosfer gibi yayılı kirletici kaynakların neden olduğu düşünülmektedir. Noktasal kaynaklar ile sedimentteki konsantrasyonlar arasındaki ilişkilerin belirlenmesi sonucunda B, As ve Mn'nin sedimentteki konsantrasyonlarını incelenen noktasal kirletici kaynakların etkileyebileceği anlaşılmıştır. Diğer metallerin kirletici kaynaklara yakın bölgelerde etkili oldukları sanılmaktadır.

Sonuç olarak, Türkiye'nin en hızlı gelişen şehirleşme ve endüstrileşmeye sahip illerden biri olan Bursa'da bulunan Uluabat Gölü ağır metal bakımından kirletilmektedir. Bu nedenle de sedimentte ağır metal birikimi gözlenmektedir. İncelenen metaller arasında Cr ve Ni elementlerinin SEL seviyesinin üstünde olduğu belirlenmiştir.

B'nin 1. ve 8., Cu'nun 8. ve Mn'nin tüm istasyonlarda orta seviyede, diğer metallerin düşük seviyede risk taşıdıkları belirlenmiştir. Risk değerlendirmelerine göre yüksek riskli olan metallerin tekrar serbest hale geçip biyolojik birikim yapabileme özelliği yüksektir.

Kirlemeye neden olan tüm noktasal kirletici kaynakların sürekli olarak izlenip, endüstriyel ve evsel atıksular için arıtmalar kurularak kontrol altına alınması gerekmektedir. Özellikle de Uluabat Gölü'ne en çok yük taşıyan Mustafa Kemal Paşa Çayı Havzası'ndaki ve DSİ'ye ait sulama kanallarına tarımdan dönen suların dışında kaçak olarak deşarj yapan işletmelerin belirlenerek önlem alınması, ayrıca, yapılan tarımsal uygulamalar takip edilerek aşırı gübreleme ve ilaçlamadan kaçınılması gerekmektedir.

Çizelge 4.7.1. Çalışma sonuçlarına ait ağır metal ve iz element fraksiyonlarının konsantrasyonları ve diğer çalışmalar

| Metaller | Fraksiyon | Kaynak | Ort ± SD | Mak ± SD | Min ± SD |
|---------------|-------------------|---|----------------------|---------------|---------------|
| Fe (mg/kg) | F1+F2 | Tokalioğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 6,0 ± 4,7 | – | – |
| | F4 | Tokalioğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 2060 ± 1350 | – | – |
| | F5 | Tokalioğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 3730 ± 1850 | – | – |
| | F1+F2 | Çalışma sonuçları | 6,0942 ± 8,4698 | 54,68 | 0,0997 |
| | F3 | Çalışma sonuçları | 287,5589 ± 343,3422 | 1943,59 | 37,3717 |
| | F4 | Çalışma sonuçları | 1183,9671 ± 701,875 | 3418,92 | 367,001 |
| | F5 | Çalışma sonuçları | 26192,568 ± 11858,31 | 61764,5671 | 9844,4028 |
| Mn (mg/kg) | F1+F2 | Tokalioğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 60,1 ± 74,7 | – | – |
| | F4 | Tokalioğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 74,5 ± 81,2 | – | – |
| | F5 | Tokalioğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 17,5 ± 8,4 | – | – |
| | F1+F2 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 71,87 ± 2,31 | 65,10 ± 0,75 |
| | F4 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 151,69 ± 3,44 | 136,68 ± 3,22 |
| | F5 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 106,65 ± 2,6 | 104,04 ± 1,96 |
| | F1+F2 | Çalışma sonuçları | 124,8994 ± 125,601 | 548,996 | 1,7958 |
| | F3 | Çalışma sonuçları | 205,1449 ± 102,8051 | 549,46 | 53,6115 |
| | F4 | Çalışma sonuçları | 77,3049 ± 45,5095 | 223,397 | 21,72 |
| F5 | Çalışma sonuçları | 376,827 ± 193,5762 | 885,4215 | 54,8165 | |
| Cu (mg/kg) | F1+F2 | Mingbiao ve ark. 2008 (Poyang Gölü) | – | 0,72 ± 0,02 | 0,15 ± 0,06 |
| | F4 | Mingbiao ve ark. 2008 (Poyang Gölü) | – | 19,84 ± 0,49 | 3,30 ± 0,17 |
| | F5 | Mingbiao ve ark. 2008 (Poyang Gölü) | – | 17,00 ± 0,62 | 8,58 ± 0,27 |
| | F1+F2 | Kelderman ve Osman 2007 (Delft Canals) | – | 1,43 ± 0,0004 | 0,95 ± 0,07 |
| | F4 | Kelderman ve Osman 2007 (Delft Kanalları) | – | 105 ± 0,75 | 10,4 ± 1,3 |
| | F5 | Kelderman ve Osman 2007 (Delft Kanalları) | – | 25,6 ± 0,12 | 6,23 ± 0,01 |
| | F1+F2 | Ren-Ying ve ark. 2007 (Dianchi Gölü) | 2,40 ± 3,60 | – | – |
| | F4 | Ren-Ying ve ark. 2007 (Dianchi Gölü) | 38,2 ± 68,50 | – | – |
| | F5 | Ren-Ying ve ark. 2007 (Dianchi Gölü) | 60,10 ± 18,20 | – | – |
| | F1+F2 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 0,14 ± 0,08 | – | – |

Çizelge 4.7.1. (Devam) Çalışma sonuçlarına ait ağır metal ve iz element fraksiyonlarının konsantrasyonları ve diğer çalışmalar

| Metaller | Fraksiyon | Kaynak | Ort \pm SD | Mak \pm SD | Min \pm SD |
|---------------|-------------------|--|---------------------|------------------|------------------|
| Cu (mg/kg) | F3 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 2,80 \pm 0,15 | – | – |
| | F4 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 7,04 \pm 0,17 | – | – |
| | F5 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 14,52 \pm 1,24 | – | – |
| | F1+F2 | Tokahoğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 0,44 \pm 0,22 | – | – |
| | F4 | Tokahoğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 8,62 \pm 4,64 | – | – |
| | F5 | Tokahoğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 7,38 \pm 6,38 | – | – |
| | F1+F2 | Farkas ve ark. 2007 (Po Nehri) | 49,8 \pm 2,4 | – | – |
| | F4 | Farkas ve ark. 2007 (Po Nehri) | 53,4 \pm 4,5 | – | – |
| | F1+F2 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 0,33 \pm 2,13 | 0,26 \pm 1,08 |
| | F4 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 2,81 \pm 3,33 | 2,52 \pm 0,76 |
| | F5 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 15,18 \pm 0,66 | 13,55 \pm 0,96 |
| | F1+F2 | Çalışma sonuçları | 2,0601 \pm 1,5226 | 11,5102 | 0,4169 |
| | F3 | Çalışma sonuçları | 0,7267 \pm 0,3507 | 1,5023 | 0,1429 |
| | F4 | Çalışma sonuçları | 7,8078 \pm 4,2578 | 20,9652 | 1,9009 |
| F5 | Çalışma sonuçları | 19,8675 \pm 10,8785 | 58,4093 | 0,4434 | |
| Zn (mg/kg) | F1+F2 | Kelderman ve Osman 2007 (Delft Kanalları) | – | 1,08 \pm 0,09 | 0,65 \pm 0,003 |
| | F4 | Kelderman ve Osman 2007 (Delft Kanalları) | – | 130 \pm 4,2 | 40 \pm 2,2 |
| | F5 | Kelderman ve Osman 2007 (Delft Kanalları) | – | 42 \pm 1,9 | 11 \pm 1,5 |
| | F1+F2 | Ren-Ying ve ark. 2007 (Dianchi Gölü) | 50,10 \pm 169,00 | – | – |
| | F4 | Ren-Ying ve ark. 2007 (Dianchi Gölü) | 60,90 \pm 54,60 | – | – |
| | F5 | Ren-Ying ve ark. 2007 (Dianchi Gölü) | 126,00 \pm 68,00 | – | – |
| | F1+F2 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 0,10 \pm 0,05 | – | – |
| | F3 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 4,06 \pm 0,24 | – | – |
| | F4 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 6,28 \pm 0,40 | – | – |
| | F5 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 48,00 \pm 4,38 | – | – |
| | F1+F2 | Çalışma sonuçları | 1,6559 \pm 2,9939 | 25,4553 | 0,0276 |
| | F3 | Çalışma sonuçları | 1,5021 \pm 0,8523 | 3,5965 | 0,2919 |

Çizelge 4.7.1. (Devam) Çalışma sonuçlarına ait ağır metal ve iz element fraksiyonlarının konsantrasyonları ve diğer çalışmalar

| Metaller | Fraksiyon | Kaynak | Ort \pm SD | Mak \pm SD | Min \pm SD |
|---------------|---|--|------------------------|------------------|------------------|
| Zn (mg/kg) | F4 | Çalışma sonuçları | 5,304 \pm 2,3441 | 10,7126 | 2,1839 |
| | F5 | Çalışma sonuçları | 126,6982 \pm 87,9297 | 490,2648 | 21,2495 |
| Cr (mg/kg) | F1+F2 | Ren-Ying ve ark. 2007 (Dianchi Gölü) | 0,10 \pm 0,15 | – | – |
| | F4 | Ren-Ying ve ark. 2007 (Dianchi Gölü) | 9,32 \pm 6,70 | – | – |
| | F5 | Ren-Ying ve ark. 2007 (Dianchi Gölü) | 73,30 \pm 15,60 | – | – |
| | F1+F2 | Tokaloğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 0,00 \pm 0,00 | – | – |
| | F4 | Tokaloğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 5,4 \pm 4,5 | – | – |
| | F5 | Tokaloğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 7,1 \pm 5,6 | – | – |
| | F1+F2 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 0,68 \pm 3,10 | 0,49 \pm 2,75 |
| | F4 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 19,91 \pm 0,95 | 18,84 \pm 0,31 |
| | F5 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 93,26 \pm 0,62 | 88,35 \pm 0,21 |
| | F1+F2 | Çalışma sonuçları | 0,5835 \pm 0,7483 | 4,4886 | 0,0662 |
| | F3 | Çalışma sonuçları | 1,1815 \pm 0,8697 | 4,1258 | 0,2564 |
| | F4 | Çalışma sonuçları | 2,6767 \pm 1,6255 | 7,3286 | 0,7664 |
| | F5 | Çalışma sonuçları | 127,1765 \pm 56,8474 | 301,7664 | 60,449 |
| | F1+F2 | Mingbiao ve ark. 2008 (Poyang Gölü) | – | 0,00 \pm 0,00 | 0,00 \pm 0,00 |
| | F4 | Mingbiao ve ark. 2008 (Poyang Gölü) | – | 3,33 \pm 0,348 | 1,25 \pm 0,589 |
| F5 | Mingbiao ve ark. 2008 (Poyang Gölü) | – | 20,25 \pm 0,67 | 7,23 \pm 0,20 | |
| F1+F2 | Kelderman ve Osman 2007 (Delft Kanalları) | – | 25,9 \pm 0,96 | 14,6 \pm 0,41 | |
| F4 | Kelderman ve Osman 2007 (Delft Kanalları) | – | 74 \pm 2,4 | 14,8 \pm 0,06 | |
| F5 | Kelderman ve Osman 2007 (Delft Kanalları) | – | 275 \pm 0,8 | 17,1 \pm 0,04 | |
| Pb (mg/kg) | F1+F2 | Ren-Ying ve ark. 2007 (Dianchi Gölü) | 0,40 \pm 0,54 | – | – |
| | F4 | Ren-Ying ve ark. 2007 (Dianchi Gölü) | 17,00 \pm 43,10 | – | – |
| | F5 | Ren-Ying ve ark. 2007 (Dianchi Gölü) | 81,50 \pm 70,80 | – | – |
| | F1+F2 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 0,03 \pm 0,00 | – | – |
| | F3 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 2,19 \pm 0,01 | – | – |
| | F4 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 2,16 \pm 0,02 | – | – |
| | F5 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 16,03 \pm 0,01 | – | – |
| | F1+F2 | Tokaloğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 0,72 \pm 0,67 | – | – |

Çizelge 4.7.1. (Devam) Çalışma sonuçlarına ait ağır metal ve iz element fraksiyonlarının konsantrasyonları ve diğer çalışmalar

| Metaller | Fraksiyon | Kaynak | Ort ± SD | Mak ± SD | Min ± SD |
|---------------|-----------|--------------------------------------|-------------------|-------------|-------------|
| Pb (mg/kg) | F4 | Farkas ve ark. 2007 (Po Nehri) | 9,4 ± 0,7 | – | – |
| | F1+F2 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 0,02 ± 1,24 | 0,01 ± 5,80 |
| | F4 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 7,08 ± 2,20 | 6,26 ± 1,62 |
| | F5 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 8,85 ± 0,48 | 8,28 ± 0,52 |
| | F1+F2 | Çalışma sonuçları | 1,973 ± 2,5487 | 10,8416 | 0 |
| | F3 | Çalışma sonuçları | 3,8459 ± 1,92106 | 11,254 | 0,1173 |
| | F4 | Çalışma sonuçları | 8,1387 ± 3,2933 | 17,4277 | 3,4576 |
| | F5 | Çalışma sonuçları | 19,2875 ± 13,5248 | 55,0274 | 1,0146 |
| Cd (mg/kg) | F1+F2 | Mingbiao ve ark. 2008 (Poyang Gölü) | – | 0,25 ± 0,14 | 0,00 ± 0,00 |
| | F4 | Mingbiao ve ark. 2008 (Poyang Gölü) | – | 0,17 ± 0,06 | 0,10 ± 0,04 |
| | F5 | Mingbiao ve ark. 2008 (Poyang Gölü) | – | 0,52 ± 0,19 | 0,00 ± 0,00 |
| | F1+F2 | Ren-Ying ve ark. 2007 (Dianchi Gölü) | 2,72 ± 9,64 | | |
| | F4 | Ren-Ying ve ark. 2007 (Dianchi Gölü) | 1,00 ± 2,69 | | |
| | F5 | Ren-Ying ve ark. 2007 (Dianchi Gölü) | 0,19 ± 0,63 | – | – |
| | F1+F2 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 0,00 ± 0,00 | – | – |
| | F3 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 0,18 ± 0,01 | – | – |
| | F4 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 0,09 ± 0,01 | – | – |
| | F5 | Shu-Hai ve ark. 2006 (Songhua Nehri) | 0,48 ± 0,00 | – | – |
| | F1+F2 | Farkas ve ark. 2007 (Po Nehri) | 7,08 ± 0,41 | – | – |
| | F4 | Farkas ve ark. 2007 (Po Nehri) | 0,28 ± 0,03 | – | – |
| | F1+F2 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 0,25 ± 1,65 | 0,20 ± 2,93 |
| | F4 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 0,13 ± 2,19 | 0,11 ± 0,99 |
| | F5 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 0,19 ± 2,16 | 0,17 ± 0,68 |
| | F1+F2 | Çalışma sonuçları | 0,2078 ± 0,1123 | 0,6634 | 0,0613 |
| | F3 | Çalışma sonuçları | 0,1721 ± 0,082 | 0,4169 | 0,0024 |
| | F4 | Çalışma sonuçları | 0,2088 ± 0,1035 | 0,5168 | 0,0228 |
| | F5 | Çalışma sonuçları | 4,4525 ± 2,8096 | 11,5092 | 0,1623 |

Çizelge 4.7.1. (Devam) Çalışma sonuçlarına ait ağır metal ve iz element fraksiyonlarının konsantrasyonları ve diğer çalışmalar

| Metaller | Fraksiyon | Kaynak | Ort ± SD | Mak ± SD | Min ± SD |
|----------------|-----------|--|---------------------|--------------|--------------|
| Ni (mg/kg) | F1+F2 | Mingbiao ve ark. 2008 (Poyang Gölü) | – | 0,00 ± 0,00 | 0,00 ± 0,00 |
| | F4 | Mingbiao ve ark. 2008 (Poyang Gölü) | – | 0,90 ± 0,106 | 0,36 ± 0,036 |
| | F5 | Mingbiao ve ark. 2008 (Poyang Gölü) | – | 23,22 ± 0,72 | 10,55 ± 0,24 |
| | F1+F2 | Tokaloğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 1,42 ± 0,96 | – | – |
| | F4 | Tokaloğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 15,0 ± 6,70 | – | – |
| | F5 | Tokaloğlu ve ark. 2000 (Sultan Sazlığı, Kayseri) | 12,1 ± 7,30 | – | – |
| | F1+F2 | Farkas ve ark. 2007 (Po Nehri) | 16,1 ± 1,0 | – | – |
| | F4 | Farkas ve ark. 2007 (Po Nehri) | 15,5 ± 1,0 | – | – |
| | F1+F2 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 1,00 ± 2,01 | 0,78 ± 1,44 |
| | F4 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 8,61 ± 0,96 | 8,32 ± 0,63 |
| | F5 | Yuan ve ark. 2004 (Doğu Çin Denizi) | – | 14,98 ± 2,14 | 14,01 ± 3,12 |
| | F1+F2 | Çalışma sonuçları | 5,454 ± 4,7131 | 22,189 | 0,6778 |
| | F3 | Çalışma sonuçları | 2,8632 ± 1,5341 | 7,2178 | 0,0733 |
| | F4 | Çalışma sonuçları | 14,5831 ± 9,6043 | 52,1924 | 2,9766 |
| | F5 | Çalışma sonuçları | 197,9635 ± 129,3929 | 648,3938 | 71,8228 |
| Bor (mg/kg) | F1+F2 | Çalışma sonuçları | 13,1671 ± 7,4478 | 47,0769 | 0,4814 |
| | F3 | Çalışma sonuçları | 2,4173 ± 2,12808 | 9,6618 | 0 |
| | F4 | Çalışma sonuçları | 5,1216 ± 2,8003 | 12,6366 | 0 |
| | F5 | Çalışma sonuçları | 122,3174 ± 111,6867 | 563,7436 | 6,1351 |
| As (mg/kg) | F1+F2 | Çalışma sonuçları | 0,3978 ± 0,2995 | 1,3853 | 0,0531 |
| | F3 | Çalışma sonuçları | 1,1651 ± 0,7888 | 4,1394 | 0,1148 |
| | F4 | Çalışma sonuçları | 2,0111 ± 1,4821 | 8,5744 | 0,2918 |
| | F5 | Çalışma sonuçları | 5,8309 ± 4,3197 | 18,5877 | 1,34 |

4.7.2. Sudaki Ağır Metal, İz Element ve Fiziko-Kimyasal Kirlilik Parametreleri İle Sedimentteki Ağır Metal ve İz Element Fraksiyonları Arasındaki İlişkiler

4.7.2.1. Sedimentin Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Uluabat Gölü sedimenti fiziko-kimyasal özelliklerinin yıllık ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimleri çizelge 4.7.2'de gösterilmiştir. Farklı istasyonlara ait ortalama kil miktarları incelendiğinde, en yüksek değerler % 64,65 ve % 64,16 ile 1. ve 3. istasyonlarda, en düşük değerler % 37,17 ile 8. istasyonda bulunmuştur. 2. ve 4. istasyonlarda da % 53,68 ve % 53,42 ile kil miktarı diğerlerine göre daha düşük bulunmuştur. % Silt miktarları incelendiğinde, en düşük değerler 1 ve 3. istasyonlarda, % 23,61 ve % 23,99 olarak belirlenmiştir. En yüksek değerleri % 36,92 ve % 35,43 ile 2. ve 8. istasyonlarda bulunmuştur. % Kum miktarları incelendiğinde, en yüksek % 27,38 ve % 14,40 ile 8. ve 4. istasyonlarda, en düşük % 8,24 ve % 8,29 ile 6. ve 5. istasyonlarda belirlenmiştir. Burada kil miktarı düşük olan 8. ve 2. istasyonların sırasıyla kum ve silt miktarlarının daha yüksek, kil miktarı yüksek olan 1. ve 3. istasyonların silt miktarlarının düşük olduğu görülmektedir.

Sedimentteki % CaCO_3 incelendiğinde, maksimum değerler % 21,08 ile 8. minimum değerler % 12,46 ile 1. istasyonda belirlenmiştir. Yüzeysel akışlarla birlikte mineral katıların ve aşınmayla bazı materyallerin havzada baskın olan karbonat minerallerini göle getirmesi sudaki ve sedimentteki CaCO_3 konsantrasyonlarını artırmaktadır (Stumm ve Morgan 1996).

Sedimentteki pH değerleri incelendiğinde, istasyonların yıllık ortalamalarına göre en yüksek ve en düşük değerleri 8,19 ve 8 ile 6. ve 1. istasyonlarda belirlenmiştir. Ortalama pH değerinin göl ortalamasından yüksek olduğu 5., 6., 7. ve 8. istasyonlarda, CaCO_3 miktarı da ortalamadan yüksek bulunmuştur.

EC, maksimum 8. , minimum 2. istasyonda bulunmuştur. En yüksek bulunan 8. istasyonda, % TC ve % CaCO_3 miktarı da yüksek bulunmuştur.

Sedimentteki % TOC'nin en yüksek değerinin 8. istasyonda, en düşük değerlerinin de 2. istasyonda olduğu görülmüştür. 8. istasyonda organik maddenin yüksek olması bu istasyonlara yakın olan Akçalar Deresi'nin büyük miktarda kirlilik getirmesi, ve bu nedenle de bu bölgede ötrofikasyon seviyesinin yüksek olması ve

organik kirleticilerin sedimentte birikmesidir (Karaer ve ark. 2009). Ötrofikasyon sonucunda meydana gelen alg popülasyonu artışı zamanla dibe çökelmelerine ve sedimentte birikmelerine yol açmaktadır.

Sedimentteki, Fe, Mn, Cu, Cr, Ni, B, As, Pb, Cd ve Zn konsantrasyonları sırasıyla, 10774.5 – 63668.2, 415.307 – 1580.26, 14.4276 – 73.789, 63.8713 – 315.675, 83.5795 – 669.825, 15,5617 - 602,486, 2.9323 – 27.5761, 8,2625 - 71,7797, 0.0972 – 12.5411, 27.0188 – 468.611 aralıklarında bulunmaktadır. Genel olarak en yüksek konsantrasyonların Fe elementine ait olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.7.2. Uluabat Gölü Sedimenti fiziko-kimyasal özelliklerinin yıllık ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimleri

| İst no | % Kil | % Silt | % Kum | pH | EC | % TOC | % CaCO ₃ |
|--------|------------|------------|------------|-----------|--------------|-----------|---------------------|
| 1 | 64,65±2,32 | 23,61±2,75 | 11,73±1,20 | 8±0,35 | 327,08±189,1 | 2,76±0,40 | 12,46±0,57 |
| 2 | 53,68±1,84 | 36,92±0,87 | 9,40±0,99 | 8,11±0,20 | 231,22±35,53 | 2,71±0,39 | 12,71±0,52 |
| 3 | 64,16±1,53 | 23,99±1,89 | 11,84±2,54 | 8,14±0,25 | 262,17±53,52 | 2,98±0,34 | 13,54±0,72 |
| 4 | 53,42±4,05 | 32,17±3,56 | 14,40±4,40 | 8,09±0,24 | 262,34±73 | 3,17±0,46 | 14,75±0,33 |
| 5 | 57,83±2,36 | 33,87±1,82 | 8,29±0,83 | 8,17±0,23 | 234,39±68,64 | 3,21±0,57 | 17,16±0,24 |
| 6 | 61,57±0,21 | 30,18±1,04 | 8,24±1,15 | 8,19±0,25 | 250,33±56,03 | 3,27±0,48 | 16,65±0,13 |
| 7 | 63,87±0,37 | 27,08±1,05 | 9,04±1,241 | 8,17±0,32 | 310,1±109,5 | 3,42±0,40 | 15,62±0,10 |
| 8 | 37,17±0,97 | 35,43±2,63 | 27,38±1,99 | 8,15±0,31 | 508,5±109,4 | 4,54±0,90 | 21,08±0,84 |

Ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının göldeki değişimleri kirletici kaynakların göl içi istasyonlara olan uzaklıklarına göre değişmiştir.

4. 7. 2. 2. Sudaki Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonları ile Fizikokimyasal Parametrelerin İlişkisi

Uluabat Gölü'nde suda bulunan ağır metaller ile fizikokimyasal özellikleri arasındaki korelasyon katsayısı $p=0,05$ 'te hesaplanarak aralarındaki ilişkiler belirlenmiştir. Buna göre As'nin pH dışında diğer tüm parametrelerle, B'nin KOİ ve alkalinite dışında diğer tüm parametrelerle, Cr'nin elektiksel iletkenlik ve BOİ ile, Cu'nun BOİ ile, Fe'nin alkalinite ile, Zn'nin pH ve KOİ dışında tüm parametrelerle olan ilişkileri önemli bulunmuştur. Cd, Ni, Pb ve Mn'nin fiziko-kimyasal parametrelerin hiç biri ile olan ilişkileri önemli bulunamamıştır. Çözünmüş oksijenin As, Zn ve B ile hesaplanan r korelasyon değerleri negatif bulunmuştur. Başka çalışmalarda da çözünmüş oksijen ile olan ilişkiler negatif bulunmuştur (Singh ve ark. 2008). Ayrıca

Cu'nun BOİ ile ilişkisini gösteren r değeri de negatif bulunmuştur. Bir önceki bölümde belirlenen metallerin sedimentteki kimyasal fraksiyonlarının değerlendirilmesi sonucunda Cu'nun organik maddelere bağlı fraksiyonunun metaller arasında en büyük oranda bulunduğu belirlenmiştir. Bu nedenle suda bulunan organik maddelerin zamanla sedimentte biriktiği ve sedimentteki organik maddenin Cu ile kompleks oluşturarak suya geçişini engellediği düşünülmüştür. Çizelge 4.7.2'de Ağır metal ve iz elementlerin sudaki konsantrasyonları ile suyun fizikokimyasal özellikleri arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon katsayısı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.7.3. Ağır metal ve iz elementlerin sudaki konsantrasyonları ile suyun

| | As | Cr | Cd | Cu | Ni | Fe | Mn | Zn | B | Pb |
|------------|---------------|--------------|--------|---------------|--------|--------------|--------|--------------|---------------|--------|
| pH dip su | 0,03 | -0,18 | 0,039 | -0,012 | -0,093 | 0,114 | 0,073 | 0,041 | 0,355 | 0,046 |
| EC dip | 0,503 | 0,243 | 0,133 | -0,181 | 0,037 | -0,009 | -0,014 | 0,312 | 0,514 | 0,046 |
| ÇO dip | -0,504 | -0,171 | -0,092 | 0,101 | -0,174 | -0,182 | -0,004 | -0,39 | -0,224 | -0,05 |
| KOİ | 0,222 | 0,099 | -0,02 | -0,135 | 0,064 | -0,067 | -0,175 | 0,161 | -0,08 | -0,019 |
| BOİ | 0,423 | 0,276 | -0,002 | -0,265 | 0,003 | -0,097 | -0,078 | 0,322 | 0,321 | -0,027 |
| Alkalinite | 0,336 | -0,026 | 0,024 | 0,101 | 0,154 | 0,237 | 0,015 | 0,236 | -0,097 | -0,017 |

fizikokimyasal özellikleri arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon katsayıları

*Kalın yazılan rakamlar $p=0,05$ 'te önemli bulunanlardır.

4. 7. 2. 3. Sedimentteki Ağır Metal Fraksiyonlarının Suda Çözünmüş Halde Bulunan Metal Konsantrasyonları İle Olan İlişkileri

Çalışmalarda sedimentteki ağır metal fraksiyonları ile suda çözünmüş halde bulunan metal konsantrasyonları ile olan ilişkileri r korelasyon katsayısı hesaplanarak belirlenmiştir. Hesaplanan değerlerin önemleri $p=0,05$ 'e göre değerlendirilmiştir.

Cr'nin sudaki konsantrasyonları ile sedimentteki mobil (F1) ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonları (F2), kalıntı fraksiyonları (F5) ve toplam Cr konsantrasyonları ile olan ilişkileri önemsiz bulunmuştur. Mn-oksitlere (F3) ve organik maddelere bağlı fraksiyonu (F4) ile sudaki konsantrasyonları arasındaki ilişkileri $p=0,05$ 'e göre önemli bulunmuştur.

Ni, Fe ve Mn'nin suda bulunan konsantrasyonları ile ağır metal fraksiyonları arasındaki ilişkiler önemsiz bulunmuştur. Yapılan diğer çalışmalarda sudaki Mn konsantrasyonlarının organik bağlı, Fe-Mn oksit bağlı, kalıntı halindeki fraksiyonlarla

ve toplam konsantrasyonlarla olan ilişkileri, sudaki demir konsantrasyonları ile kalıntı halindeki, organik bağlı fraksiyonu ve toplam konsantrasyonlar ilişkileri ve sudaki Ni konsantrasyonlarının çözünebilir ve değişebilir fraksiyonlarla ve toplam Ni konsantrasyonlarıyla, Fe-Mn oksitlere bağlı ve kalıntı halindeki fraksiyonlar ile olan ilişkileri de önemli bulunmuştur (Singh ve ark. 2008).

Sudaki Cu konsantrasyonları ile kolay serbest hale geçebilen fraksiyonları arasındaki ilişkiler önemli, diğer fraksiyonlar ile olan ilişkiler önemsiz bulunmuştur. Diğer çalışmalarda sudaki Cu'nun organik bağlı, Fe-Mn oksitlere bağlı, kalıntı halindeki ve sedimentteki toplam konsantrasyonlar ile olan ilişkilerinin $p=0.01$ 'de önemli bulunmuştur (Singh ve ark. 2008).

Sudaki Zn konsantrasyonları ile mobil (F1), kolay serbest hale geçebilir (F2), Mn oksitlere bağlı (F3) ve organikler bağlı (F4) fraksiyonlar ile olan ilişkileri önemli, kalıntı halindeki ve toplam konsantrasyonlarla olan ilişkileri önemsiz bulunmuştur. Diğer çalışmalarda çözünebilir ve değişebilir, CaCO_3 bağlı, Fe-Mn oksitlere bağlı ve kalıntı fraksiyonları ile olan ilişkileri pozitif bulunmuştur (Singh ve ark. 2008).

Sudaki Cd konsantrasyonları ile mobil fraksiyonun (F1) ilişkilerinin önemli, diğer fraksiyonlarla olan ilişkilerinse önemsiz olduğu belirlenmiştir. Başka çalışmalarda çözünebilir, değişebilir ve CaCO_3 bağlı fraksiyonlar ile pozitif ilişkili bulunmuştur (Singh ve ark. 2008).

Sudaki As konsantrasyonları ile mobil (F1), kolay serbest hale geçebilir (F2), Mn-oksitlere bağlı (F3), organiklere bağlı (F4), kalıntı halindeki fraksiyonların ve toplam konsantrasyonların ilişkilerinin önemli olduğu belirlenmiştir.

Sudaki Pb konsantrasyonları ile kolay serbest hale geçebilir, kalıntı halindeki fraksiyonların ve toplam konsantrasyonların ilişkilerinin önemli olduğu belirlenmiştir. Yapılan diğer çalışmalarda sudaki konsantrasyonların çözünebilir ve değişebilir, organiklere bağlı (F4), kalıntı fraksiyonları (F5) ve toplam Pb konsantrasyonları ile olan ilişkileri önemli bulunmuştur.

B'nin sudaki konsantrasyonlarının Zn'ye benzer olarak mobil (F1), kolay serbest hale geçebilir (F2), Mn-oksitlere bağlı (F3) ve organiklere bağlı (F4) fraksiyonları ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Sudaki metal ve iz element konsantrasyonları ile sedimentte bulunan metal ve iz elementlerin farklı kimyasal fraksiyonları arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon katsayıları çizelge 4.7.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.7.4. Sudaki metal konsantrasyonları ile sedimentte bulunan metallerin farklı kimyasal fraksiyonları arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon katsayıları

| | Mobil (F1) | Kolay serbest hale geçebilir (F2) | Mn-oksitlere bağlı (F3) | Organiklere bağlı (F4) | Kalıntı Halinde (F5) | Toplam Miktar |
|----|--------------|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|---------------|
| As | 0,676 | 0,747 | 0,724 | 0,385 | 0,431 | 0,554 |
| Cr | 0,13 | 0,182 | 0,209 | 0,201 | 0,055 | 0,064 |
| Cd | 0,405 | 0,079 | 0,03 | -0,008 | 0,096 | 0,099 |
| Cu | -0,044 | 0,297 | 0,053 | -0,011 | -0,131 | -0,098 |
| Ni | 0,158 | -0,043 | 0,073 | 0,101 | 0,023 | 0,029 |
| Fe | 0,197 | -0,023 | -0,091 | 0,118 | -0,089 | -0,082 |
| Mn | 0,142 | 0,036 | -0,122 | -0,051 | 0,024 | -0,007 |
| Zn | 0,369 | 0,245 | 0,551 | 0,422 | 0,051 | 0,088 |
| Pb | 0,147 | 0,202 | 0,129 | 0,032 | 0,229 | 0,246 |
| B | 0,417 | 0,605 | 0,614 | 0,298 | 0,047 | 0,101 |

*Kalın yazılan rakamlar $p=0,05$ ' te önemli bulunanlardır.

Sudaki metal konsantrasyonları ile kimyasal fraksiyonlar arasındaki ilişkiler suya direk ya da dolaylı olarak geçen sedimentteki metallerin dinamik eşitliklerinin durumunu belirtmektedir. Sedimentteki metallerin mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonları suya geçiş yapmaya hazır metalleri belirtmektedir. As, Cd, Cu, Zn, Pb ve B'nin bu fraksiyonların biri ya da her ikisi ile olan ilişkilerinin önemli ve pozitif bulunması bu metallerin suya daha kolay geçebildiklerini göstermektedir. Daha önce yapılan çalışmalar Cd, Zn ve Pb'nin bu fraksiyonlarla olan ilişkilerinin önemli ve pozitif olduğunu ve bu metallerin suya daha kolay geçebildiklerini göstermiştir.

Sudaki As, Cr, Zn ve B'nin konsantrasyonlarının Mn-oksitlere bağlı fraksiyonlarla olan ilişkileri önemli ve pozitif bulunmuştur. Daha önceki çalışmalarda Cr ve Zn'nin Fe-Mn oksitlerle olan ilişkileri önemli ve pozitif bulunmuştur. Fe-Mn oksitlerin özellikle su ortamında metallerin kaynağı olduğu bilinmektedir. Oksitlerin doğada amfoterik (iki yönlü) oldukları ve ortamın pH'ına bağlı olarak yüklerinin değiştiği bilinmektedir. Suyun pH'sı genel olarak alkali olması sebebiyle oksitler negatif yüke sahiptirler ve bu nedenle katyonları tutmaları beklenmektedir.

As, Cr, Zn ve B'nin sudaki konsantrasyonları sedimentteki organik bağlı fraksiyonlar ile olan ilişkisi önemli ve pozitif bulunmuştur. Bu metallerin organik maddeler ile organo-metalik kompleksler oluşturdukları bilinmektedir. Bu nedenle bu metaller mevcut fizikokimyasal koşullara ve denge sabitlerine bağlı olarak serbest kalabilmektedirler. Başka çalışmalarda Cr, Cu, Fe, Mn ve Pb'nin sudaki konsantrasyonları, sedimentteki organik bağlı fraksiyonlar ile olan ilişkisi önemli ve

pozitif bulunmuştur. Bu metallerin organik maddeler ile organo-metalik kompleksler oluşturdukları bilinmektedir. Bu nedenle bu metaller mevcut fizikokimyasal koşullara ve denge sabitlerine bağlı olarak serbest kalabilmektedirler.

As ve Pb haricinde diğer tüm metallerin kalıntı halinde bulunan fraksiyonları ile olan ilişkileri önemsiz bulunmuştur. Kalıntı halindeki fraksiyonlar, sedimentte bulunan mineraller ile kafes yapısı ile birleşerek ya da çözünmeyen sülfatlarla tepkimeye girerek bu metalleri tutabilmektedirler. Anaerobik koşullar altında kalıntı halinde bulunan fraksiyonların bir kısmı serbest hale geçebilmektedir. Benzer olarak, As ve Pb haricinde diğer tüm metallerin toplam metal konsantrasyonları ile olan ilişkileri önemsiz çıkmıştır. Metallerin bu durumu tarım topraklarında daha yaygındır. Anoksik koşulların yaygın olduğu sularda ilişkilerin önemli olması beklenmektedir.

Ağır metaller ve diğer su kalitesi parametreleri mevsimsel olarak değişmektedir. Özellikle yaz aylarında daha yüksek konsantrasyonlarda oldukları belirlenmiştir. Ancak bazı parametrelerin yüksek konsantrasyonlarına kurak sezonda olan Eylül ve yağışlı sezonun başladığı Kasım Ayları'nda da rastlanmıştır. Bunun nedeni olarak yüzeysel akışların getirdiği askıda katı ve organik maddelerin olduğu düşünülmüştür. Ağır metal kirliliği Uluabat Gölü'nde yüksek seviyelere ulaşmıştır. WHO ve EPA'nın sınır değerlerini aşmış bulunmaktadır. Sudaki ağır metal konsantrasyonları diğer fizikokimyasal özellikleri ile ilişkilendirilmiştir. Cd, Ni, Mn ve Pb parametreleri hariç diğer metallerin bazı fizikokimyasal parametreler ile ilişkili oldukları belirlenmiştir. En çok parametreyle ilişkili olan metallerin As, Zn ve B olduğu görülmüştür.

As, Cd, Cu, Zn, Pb ve B'nin sudaki konsantrasyonlarının mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlardan biri ya da her ikisi ile olan ilişkileri önemli ve pozitif bulunmuştur. Bu durum metallerin suya daha kolay geçebildiklerini göstermektedir. Özellikle de As, Zn ve B'nin fizikokimyasal parametrelerin çoğuna da bağlı olması çevresel şartlardan daha çok etkilendiklerini göstermektedir. Ancak Mn-oksitlere, organik maddeye bağlı ve kalıntı halinde bulunan metal fraksiyonlarının biyolojik birikim yapabilme olasılıkları metalin doğal özelliklerine göre değişebilmektedir (Singh ve ark. 2008).

4. 8. Mobil ve Kolay Serbest Hale Geçebilir Fraksiyonlarının 2002-2003 ve 2008-2009 Yılları Arasındaki Değişimi

Uluabat Gölü'nde sedimentte bulunan metallerin mobil (F1) ve kolay serbest hale geçebilir (F2) fraksiyonlarının 2002-2003 yılındaki konsantrasyonları ile 2008-2009 yılında incelenen konsantrasyonları su ve diğer sediment kalitesi parametrelerine benzer olarak karşılaştırılarak, yıllar içinde meydana gelen değişimin önemli olup olmadığı değerlendirilmiştir. Ayrıca parametrelerin konsantrasyonlarının istasyonlar ve aylar arasındaki farklılıkları değerlendirilerek, kirliliğin nerede ve hangi tarihlerde artış ya da azalış gösterdiği belirlenmiştir. İstasyonlar arasında karşılaştırma yapılırken, 2002-2003 yılında incelenen 5 istasyon ile aynı noktalarda bulunan 2008-2009 yılı ölçüm istasyonlarındaki değerler karşılaştırılmıştır.

4. 8. 1. Mobil Halde Bulunan Ağır Metal ve İz Elementlerin Değişimleri

Sedimentte bulunan ağır metal parametrelerinin mobil halde bulunan fraksiyonlarının 2002-2003 ve 2008-2009 yılları arasındaki değişimini gösteren ANOVA tablosu çizelge 4.8.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8.1. Mobil halde bulunan fraksiyonların 2002-2003 ve 2008-2009 yılları arasındaki değişimini gösteren ANOVA tablosu

| Parametre | 2002-2003 | | 2008-2009 | | Yıl |
|-----------|-----------|----------|-----------|----------|----------------|
| | İstasyon | Ay | İstasyon | Ay | |
| As | P= 0,225 | P= 0,987 | P= 0,019 | P= 0,008 | P= 0 Önemli |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemli | Önemli | |
| Cr | P= 0,75 | P= 0,106 | P= 0,126 | P= 0 | P= 0 Önemli |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemsiz | Önemli | |
| Cd | P= 0,156 | P= 0,629 | P= 0,535 | P= 0 | P= 0 Önemli |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemsiz | Önemli | |
| Pb | P= 0,587 | P= 0,912 | P= 0,729 | P= 0,008 | P= 0 Önemli |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemsiz | Önemli | |
| Cu | P= 0,454 | P= 0,537 | P= 0 | P= 0,175 | P= 0 Önemli |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemli | Önemsiz | |
| Ni | P= 0,454 | 0,537 | 0,071 | 0,001 | P= 0 Önemli |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemsiz | Önemli | |
| B | P= 0,281 | P= 0,159 | P= 0,182 | P= 0 | P= 0 Önemli |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemsiz | Önemli | |
| Fe | P= 0,362 | P= 0,398 | P= 0,253 | P= 0,15 | P= 0 Önemli |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemsiz | Önemsiz | |
| Zn | P= 0,141 | P= 0,047 | P= 0,611 | P= 0,001 | P= 0 Önemli |
| | Önemsiz | Önemli | Önemsiz | Önemli | |

As konsantrasyonlarının değerlendirmeleri sonucunda, yıllık ortalamaların yıllar içinde arttığı tespit edilmiştir. 2002-2003 yılındaki konsantrasyon 0,01403 mg/kg iken 2008-2009 yılındaki konsantrasyon 0,11505 mg/kg olarak belirlenmiştir. Yıllar içindeki bu artış önemli bulunmuştur. İstasyonlar arasındaki farklılığın önemli olmasına noktasal kirletici kaynakların etkili olmuş olabileceği düşünülmüştür. Yüklerin ve meteorolojik koşulların aylık değişmesinden dolayı da göl sedimentindeki konsantrasyonlar aylık olarak değişebilmektedir.

Cr konsantrasyonlarının değerlendirilmeleri sonucunda yıllık ortalamalar 2002-2003 yılında 0,02420 mg/kg, 2008-2009 yılında 0,12685 mg/kg olarak bulunmuştur. Yıllık konsantrasyon ortalamaları arasındaki farklılık önemli bulunmuştur. Kromun mobil fraksiyon konsantrasyonunun yıllar içinde arttığı ve aylık değişiminin önem kazandığı görülmüştür. Sedimentteki aylık konsantrasyon değişiminden dolayı, göle giren krom yükünün yaz aylarında, sonbaharın başlarında ve ilkbahar aylarında arttığı, yağışlı olan sonbahar aylarında ve kış mevsiminde azaldığı düşünülmüştür. Bu nedenle de krom yükünün tarım yapılan dönemlerde artmış olabileceği düşünülmüştür.

Cd konsantrasyonlarının yıllık ortalamaları 2002-2003 yılında 0.000986 mg/kg, 2008-2009 yılında 0,05594 mg/kg olarak bulunmuştur. Konsantrasyonların yıllar içinde artış gösterdiği görülmüştür ve bu artışın önemli olduğu belirlenmiştir. Kadmiyumun 2002-2003 yılında istasyonlar ve aylar arasındaki farklılıkları önemsiz bulunurken, 2008-2009 yılında istasyonlar arasındaki farklılığı önemsiz ancak aylar arasındaki farklılıkları önemli bulunmuştur. 2008-2009 yılında aylık ortalamalara göre en yüksek ve en düşük konsantrasyonlar Ekim ve Mayıs Ayları'nda 0,1706 ve 0,01719 mg/kg olarak belirlenmiştir. 2002-2003 yılında yapılan araştırmada incelenen aylara göre en yüksek değer Mart Ayı'nda 0,1263 mg/kg olarak belirlenmiştir. Kadmiyumun yağışların devam ettiği aylarda yüksek konsantrasyonlarda bulunması, kadmiyum yükünün yağışlı aylarda göle girdiğini düşündürmüştür.

Pb'nin yıllık ortalama konsantrasyonları, 2002-2003'te 0,07238 mg/kg, 2008-2009'da 0,29265 mg/kg bulunmuştur ve artış görülmüştür. Meydana gelen artış önemli bulunmuştur. Kurşunun yıllar içindeki artış ile birlikte aylık konsantrasyonların ortalamaları da farklı bulunmuştur. Özellikle yağış yüksekliğinin çok düşük olduğu Ağustos ve Eylül Ayları'nda konsantrasyonlar yükselmiş, su seviyesinin ve yağışların yükseldiği Ocak Ayı'nda ve yaz başında düşük bulunmuştur. Bu durum kışları suda

azalan konsantrasyonlar nedeniyle sedimentteki birikimin de azaldığını düşündürmektedir.

Bakırın yıllık ortalama konsantrasyonları artış göstermiş olup, 0,05555 mg/kg dan 1,10087 mg/kg'a yükselmiştir. Bu yükselme istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. 2002-2003 yılında istasyonlar ve aylar arasındaki farklılıkları önemsiz bulunurken, 2008-2009 yılında istasyonlar arasındaki farklılığı önemli ancak aylar arasındaki farklılıkları önemsiz bulunmuştur.

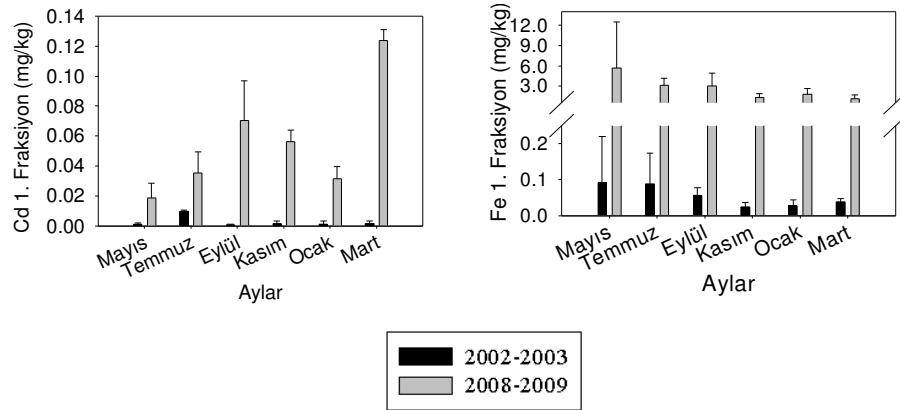
Nikelin yıllar içerisinde konsantrasyonlarında artış olduğu ve aylık konsantrasyonlarının da buna bağlı olarak farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Konsantrasyonların sıcaklığın fazla, yağışların az olduğu, yaz aylarında ve sonbahar başlangıcında yükseldiği, yağışların arttığı ve sıcaklıkların düştüğü kış aylarında ve sonbaharın sonlarında düştüğü belirlenmiştir. Değerler yıllar içinde 0,06202 mg/kg dan 1,39503 mg/kg a yükselmiştir.

Borun yıllık ortalamaları 2002-2003 yılından 2008-2009 yılına kadar 0,5677 mg/kg dan 8,0514 mg/kg a yükselmiş olup bu yükselme önemli bulunmuştur. 2002-2003 yılında istasyonlar ve aylar arasındaki farklılıkları önemsiz bulunurken, 2008-2009 yılında istasyonlar arasındaki farklılığı önemsiz ancak aylar arasındaki farklılıkları önemli bulunmuştur. 2008-2009 yılı ölçümlerine göre en yüksek ve en düşük değerler Haziran ve Şubat Ayları'nda 16,782 ve 1,9081 mg/kg olarak belirlenmiştir. 2008-2009 ölçümlerinin 2002-2003 yılında inceleme yapılan aylardaki sonuçları dikkate alındığında en yüksek ve en düşük değerleri Kasım ve Mart Ayları'nda 12,176 ve 3,1048 mg/kg olarak bulunmuştur. Borun sedimentteki mobil fraksiyon konsantrasyonlarının yıllar içinde artış gösterdiği ve bu artışın aylık olarak değiştiği belirlenmiştir. Bor konsantrasyonlarının sadece yaz aylarında değil, yağışların olduğu sonbahar ve kış aylarında da yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle göle giren bor yükünün kış aylarında da yüksek miktarda olduğu düşünülmüştür. 2008-2009 yılında yapılan incelemelerin aylık olması sonuçların daha iyi değerlendirilmelerini sağlamıştır. İki ayda bir yapılan sonuçların mevsimsel değişimleri tam yansıtamadığı görülmüştür.

Demir konsantrasyonlarının yaz aylarında yüksek, kış aylarında ve ilkbahar başında düşük olduğu belirlenmiştir. İki ayda bir yapılan ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde bu değişim tam olarak anlaşılmamaktadır. Bu nedenle yüzey sedimentindeki metal konsantrasyonlarının mobil fraksiyonlarının aylık değişimlerinin

önemli olduğu ve incelemelerin aylık yapılması gerektiği düşünülmüştür. Yıllık ortalamalara bakıldığında da konsantrasyonların arttığı görülmüştür. Bu nedenle aylık değişimler önemli olmuştur. Ancak her iki yılda da istasyonlar arasındaki farklılıkların önemli olmaması yeni bir kirletici kaynağın farklı bir bölgede kurulmadığını, eğer var ise aynı noktadan giriş yaptığını düşündürmüştür. Demirin yıllık ortalama değerleri değerlendirildiğinde, 2002-2003 yılında 0,05392 mg/kg dan 2008-2009 yılında 2,68953 mg/kg a yükselmiş olup, bu artış önemli bulunmuştur.

2002-2003 ve 2008-2009 yıllarının her ikisinde de çinko konsantrasyonlarının hem yağışlı olan sonbahar ve kış aylarında hem de kurak yaz aylarında yüksek değerlerine rastlanmıştır. Bu durum göle gelen çinko yükünün hem kurak hem de yağılı dönemde olduğunu ya da çevresel koşulların sedimentteki metallerin fraksiyonlarını etkiledikleri düşünülmüştür. Çinkonun yıllık ortalamaları 2002-2003 yılında 0,02361 mg/kg dan 2008-2009 yılında 0,37765 mg/kg a yükselmiş olup, bu yükseliş önemli bulunmuştur. Çizelge 4.8.2’de 2002-2003 yılındaki mobil halde bulunan ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının istasyonlara göre ortalama değerleri ve çizelge 4.8.3’te 2002-2003 yılındaki mobil halde bulunan ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının aylara göre ortalama değerleri gösterilmiştir. Ayrıca sedimentte bulunan en yüksek ve en düşük konsantrasyona sahip ve örnek olması bakımından Fe ve Cd elementlerinin mobil halde bulunan ağır metal ve iz element fraksiyonların yıllar içindeki değişimlerinin aylara göre gösterimi şekil 4.8.1’de sunulmuştur.



Şekil 4.8.1. Fe ve Cd elementlerinin mobil halde bulunan fraksiyonlarının yıllar içindeki değişimlerinin aylara göre gösterimi

Çizelge 4.8.2. 2002-2003 yılındaki mobil halde bulunan ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının istasyonlara göre ortalama değerleri

| İst no | As | Cr | Cd | Pb | Cu | Ni | B | Fe | Zn |
|--------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | 0,028644 ± 0,025344 | 0,011795 ± 0,014808 | 0,001255 ± 0,001725 | 0,013061 ± 0,031992 | 0,042322 ± 0,015636 | 0,056726 ± 0,039323 | 0,583133 ± 0,044703 | 0,095813 ± 0,113298 | 0,025123 ± 0,010043 |
| 2 | 0,014709 ± 0,019108 | 0,037737 ± 0,067443 | 0,000985 ± 0,001209 | 0,109789 ± 0,136888 | 0,029999 ± 0,018437 | 0,079425 ± 0,035729 | 0,486447 ± 0,176062 | 0,046773 ± 0,022893 | 0,030903 ± 0,020111 |
| 3 | 0,010511 ± 0,014385 | 0,019294 ± 0,030554 | 0,002029 ± 0,001644 | 0,050643 ± 0,073567 | 0,040235 ± 0,017445 | 0,044797 ± 0,031781 | 0,641168 ± 0,201704 | 0,027106 ± 0,008601 | 0,014619 ± 0,002049 |
| 4 | 0,015303 ± 0,015303 | 0,033141 ± 0,033141 | 0,00027 ± 0,00027 | 0,083212 ± 0,083212 | 0,067134 ± 0,067134 | 0,054729 ± 0,054729 | 0,557708 ± 0,557708 | 0,034476 ± 0,034476 | 0,023543 ± 0,023543 |
| 5 | 0,000976 ± 0,002033 | 0,01901 ± ±0,022989 | 0,000392 ± 0,000481 | 0,105176 ± 0,157395 | 0,098036 ± 0,024037 | 0,074419 ± 0,027763 | 0,570018 ± 0,045128 | 0,065435 ± 0,080626 | 0,023848 ± 0,009057 |

Çizelge 4.8.3. 2002-2003 yılındaki mobil halde bulunan ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının aylara göre ortalama değerleri

| Aylar | | As | Cr | Cd | Pb | Cu | Ni | B | Fe | Zn |
|--------|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| Temmuz | 2002-2003 | 0,01232 ± 0,020278 | 0,038359 ± 0,024787 | 0,000489 ± 0,00067 | 0,08653 ± 0,08049 | 0,077029 ± 0,051299 | 0,070718 ± 0,036361 | 0,598828 ± 0,044309 | 0,091302 ± 0,127157 | 0,032141 ± 0,012432 |
| | 2008-2009 | 0,1086 ± 0,0324 | 0,1450 ± 0,0416 | 0,0306 ± 0,0159 | 0,2016 ± 0,1652 | 1,2013 ± 0,3257 | 1,1382 ± 0,3243 | 4,2339 ± 0,4383 | 3,3265 ± 0,9753 | 0,2823 ± 0,0518 |
| Eylül | 2002-2003 | 0,016147 ± 0,018885 | 0,004222 ± 0,002509 | 0,000412 ± 0,000562 | 0,088747 ± 0,176654 | 0,069458 ± 0,037594 | 0,064073 ± 0,040372 | 0,617208 ± 0,036585 | 0,086897 ± 0,085286 | 0,021805 ± 0,005653 |
| | 2008-2009 | 0,0979 ± 0,0461 | 0,1231 ± 0,1253 | 0,0909 ± 0,0801 | 0,4484 ± 0,1778 | 1,2173 ± 0,5594 | 2,0261 ± 0,4566 | 12,105 ± 1,3124 | 3,3586 ± 2,3315 | 0,4805 ± 0,2962 |
| Kasım | 2002-2003 | 0,009208 ± 0,015147 | 0,032372 ± 0,057603 | 0,001364 ± 0,001919 | 0,025548 ± 0,057127 | 0,036091 ± 0,033395 | 0,072219 ± 0,038972 | 0,646348 ± 0,224481 | 0,055240 ± 0,021151 | 0,012754 ± 0,001291 |
| | 2008-2009 | 0,0531 ± 0,0125 | 0,0449 ± 0,0196 | 0,0595 ± 0,0104 | 0,2291 ± 0,0562 | 0,9185 ± 0,2779 | 0,9145 ± 0,4065 | 12,176 ± 2,7097 | 1,4056 ± 0,4636 | 0,7877 ± 0,2829 |
| Ocak | 2002-2003 | 0,014491 ± 0,024957 | 0,004558 ± 0,008957 | 0,001223 ± 0,001823 | 0,104174 ± 0,157126 | 0,037344 ± 0,023907 | 0,039199 ± 0,02253 | 0,550406 ± 0,051012 | 0,023703 ± 0,012021 | 0,017658 ± 0,004095 |
| | 2008-2009 | 0,1643 ± 0,0953 | 0,1119 ± 0,0617 | 0,0333 ± 0,0161 | 0,1341 ± 0,0975 | 1,0801 ± 0,2681 | 1,1711 ± 0,4955 | 9,3951 ± 1,2688 | 1,9699 ± 0,8019 | 0,2554 ± 0,0721 |
| Mart | 2002-2003 | 0,017837 ± 0,021494 | 0,002146 ± 0,002684 | 0,001575 ± 0,001446 | 0,074446 ± 0,083814 | 0,038280 ± 0,025884 | 0,077006 ± 0,041836 | 0,449782 ± 0,170998 | 0,028491 ± 0,0153756 | 0,030874 ± 0,022157 |
| | 2008-2009 | 0,1029 ± 0,0614 | 0,2329 ± 0,0749 | 0,1263 ± 0,0101 | 0,4277 ± 0,1771 | 1,2175 ± 0,5386 | 1,2783 ± 0,3779 | 3,1048 ± 1,5391 | 1,0456 ± 0,4912 | 0,2672 ± 0,1333 |
| Mayıs | 2002-2003 | 0,014168 ± 0,020949 | 0,063513 ± 0,0631 | 0,000852 ± 0,001143 | 0,054812 ± 0,075055 | 0,075068 ± 0,028739 | 0,048899 ± 0,032855 | 0,543598 ± 0,027879 | 0,037891 ± 0,009746 | 0,026411 ± 0,005695 |
| | 2008-2009 | 0,1629 ± 0,0406 | 0,1658 ± 0,0301 | 0,01719 ± 0,0076 | 0,2298 ± 0,0739 | 1,0399 ± 0,2838 | 1,0599 ± 0,2198 | 6,5757 ± 0,6653 | 3,8913 ± 5,6911 | 0,0817 ± 0,0693 |

4. 8. 2. Mobil ve Kolay Serbest Hale Geçebilir Fraksiyonların Konsantrasyon Farklılıklarının Değerlendirilmesi

Sedimentte bulunan metallerin mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonların konsantrasyonlarının farklılıklarını belirleyebilmek amacıyla 2002-2003 ve 2008-2009 yılları için varyans analizi yapılarak anova tablosu ile değerlendirilmiştir. Sedimentte incelenen metallerin F1 ve F2 konsantrasyon farklılıklarının yıllara göre değişimini gösteren ANOVA tablosu çizelge 4.8.4'te sunulmuştur.

Çizelge 4.8.4. F1 ve F2 konsantrasyon farklılıklarının yıllara göre değişimini gösteren ANOVA tablosu

| Parametre | F1 ve F2 Farklılıkları | |
|-----------|------------------------|--------------------|
| | 2002-2003 | 2008-2009 |
| As | P= 0,003 Önemli | P= 0 Önemli |
| Cr | P= 0,006 Önemli | P= 0,004 Önemli |
| Cd | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli |
| Pb | P= 0,065 Önemsiz | P= 0 Önemli |
| Cu | P= 0,001 Önemli | P= 0 Önemli |
| Ni | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli |
| B | P= 0 Önemli | P= 0 Önemli |
| Fe | P= 0,443 Önemsiz | P= 0,16 Önemsiz |
| Zn | P= 0 Önemli | P= 0,008 Önemli |

2002-2003 yılı için yapılan inceleme sonucunda, mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonların konsantrasyonları arasındaki farklılıklar As, Cr, Cd, Cu, Ni, Zn ve B için önemli, Pb ve Fe için önemsiz bulunmuştur. As, Cd, Pb, Ni ve Zn'nin kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının (F2) konsantrasyonlarının, mobil haldeki fraksiyonların (F1) konsantrasyonlarından yüksek olduğu belirlenmiştir. Cr, Cu, Fe ve B'nin mobil haldeki fraksiyonlarının konsantrasyonlarının kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının konsantrasyonlarından yüksek olduğu belirlenmiştir.

2008-2009 yılı için yapılan analizler neticesinde mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonların konsantrasyonları arasındaki farklılıklar As, Cr, Cd, Pb, Cu, Ni, B ve Zn için önemli, Fe için önemsiz bulunmuştur. Pb, B ve Fe'nin mobil halde bulunan fraksiyonların konsantrasyonlarının kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının konsantrasyonlarından yüksek olduğu belirlenmiştir. As, Cr, Cd, Cu, Ni ve Zn'nin kolay serbest hale geçebilir fraksiyonların konsantrasyonlarının mobil halde bulunan fraksiyon konsantrasyonlarından yüksek olduğu belirlenmiştir.

Her iki yıldaki ölçümler sonucunda demirin F1 ve F2 konsantrasyonları arasındaki farklılık önemsiz ve borun F1 konsantrasyonlarının F2'den yüksek bulunmuştur. As, Cr, Cd, Cu, Ni ve Zn'nin F1 ve F2 konsantrasyonları arasındaki farklılık önemli bulunarak F2 konsantrasyonlarının F1'den yüksek olduğu görülmüştür.

4. 8. 3. Kolay Serbest Hale Geçebilen Ağır Metal ve İz Elementlerin Konsantrasyon Değişimleri

Sedimentte bulunan ağır metal parametrelerinin kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının 2002-2003 ve 2008-2009 yılları arasındaki değişimini gösteren ANOVA tablosu çizelge 4.8.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.8.5. Kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının 2002-2003 ve 2008-2009 yılları arasındaki değişimini gösteren ANOVA tablosu

| Parametre | 2002-2003 | | 2008-2009 | | Yıl |
|-----------|-----------|----------|-----------|----------|--------|
| | İstasyon | Ay | İstasyon | Ay | |
| As | P= 0,474 | P= 0,139 | P= 0,013 | P= 0,001 | P= 0 |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemli | Önemli | Önemli |
| Cr | P= 0,294 | P= 0,001 | P= 0,822 | P= 0 | P= 0 |
| | Önemsiz | Önemli | Önemsiz | Önemli | Önemli |
| Cd | P= 0,241 | P= 0,237 | P= 0,171 | P= 0 | P= 0 |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemsiz | Önemli | Önemli |
| Pb | P= 0,303 | P= 0,079 | P= 0,992 | P= 0 | P= 0 |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemsiz | Önemli | Önemli |
| Cu | P= 0,25 | P= 0,178 | P= 0,75 | P= 0,001 | P= 0 |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemsiz | Önemli | Önemli |
| Ni | P= 0,678 | P= 0,566 | P= 0,372 | P= 0 | P= 0 |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemsiz | Önemli | Önemli |
| B | P= 0,921 | P= 0,971 | P= 0,022 | P= 0 | P= 0 |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemli | Önemli | Önemli |
| Fe | P= 0,621 | P= 0,578 | P= 0,81 | P= 0,001 | P= 0 |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemsiz | Önemli | Önemli |
| Zn | P= 0,173 | P= 0,182 | P= 0,175 | P= 0 | P= 0 |
| | Önemsiz | Önemsiz | Önemsiz | Önemli | Önemli |

Arseniğin yıllık konsantrasyonları 2002-2003 yılında 0,04086 mg/kg dan 2008-2009 yılında 0,15583 mg/kg a yükselmiştir. Bu yükseliş önemli bulunmuştur.

Kromun kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının konsantrasyonlarının yıllar içinde artış gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca yıllar içindeki aylık değişimi devam etmiş olup, yaz aylarında ve sonbahar başlangıcında konsantrasyonların arttığı, yağışların başladığı sonbahar sonu ve kış aylarında ise konsantrasyonların düşüş gösterdiği belirlenmiştir. Kromun yıllık konsantrasyonlarının ortalamaları 0,003625 mg/kg'dan 0,197969 mg/kg'a yükselmiştir. Meydana gelen bu artış önemli bulunmuştur.

Kadmiyum konsantrasyonlarının yıllık ortalama değerlerinin 0,002960 mg/kg dan, 0,129836 mg/kg'a yükseldiği ve bu artışın önemli olduğu bulunmuştur. 2002-2003 yılı ölçümlerine göre konsantrasyonların istasyonlar ve aylar arasındaki farklılıkları önemsiz bulunmuştur. 2008-2009 yılı ölçümlerine göre ise istasyonlar arasındaki farklılıklar önemsiz bulunurken, aylık ortalamalar arasındaki farklılıklar önemli bulunmuştur. 2008-2009 yılında en düşük ve en yüksek bulunan konsantrasyonlar Temmuz ve Ekim Ayları'nda 0,0774 ve 0,3115 mg/kg olarak belirlenmiştir. 2002-2003 yılındaki incelemelerdeki gibi 2008-2009 ölçümlerine bakılırsa en yüksek ve en düşük değerler Eylül ve Ocak Ayları'nda 0,2003 ve 0,0786 mg/kg olarak belirlenmiştir. Buna göre Cd'nin kurak dönemde yüksek, yağışlı dönemde küçük olduğu sonucuna varılabilir ki bu yanlıştır. Çünkü aylık sonuçlara göre sonbahar ve kış aylarında konsantrasyonlarının yaz aylarına göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durumda iki ayda bir ölçümlerin çok sağlıklı sonuçları yansıtmadığı görülmektedir.

Kurşunun 2008-2009 yılı ölçümlerine göre en yüksek ve en düşük değerleri 7,7171 ve 0,1778 mg/kg olarak Ağustos ve Haziran Ayları'nda belirlenmiştir. 2002-2003 yılındaki incelemelerdeki aylar dikkate alındığında 2008-2009 ölçümlerine göre en yüksek ve en düşük değerler Eylül ve Ocak 5,5107 ve 0,1797 mg/kg olarak belirlenmiştir. Kurşunun yüksek konsantrasyonları genel olarak yaz aylarında, düşük konsantrasyonları ise kış aylarında bulunduğu gibi yaz aylarında da belirlenmiştir. Ayrıca yıllar içinde kurşun konsantrasyonlarının arttığı, 0,2031 mg/kg'dan 1,6246 mg/kg'a yükseldiği belirlenmiştir.

Bakır konsantrasyonlarının genel olarak yaz aylarında yüksek olduğu görülmekle beraber Aralık Ayı'nda da yüksek konsantrasyonlarına rastlanmıştır.

Konsantrasyonların yıllar içinde artış gösterdiği belirlenmiştir. Yıllık ortalamalarının 0,02558 mg/kg dan 0,49247 mg/kg a yükseldiği bulunmuştur.

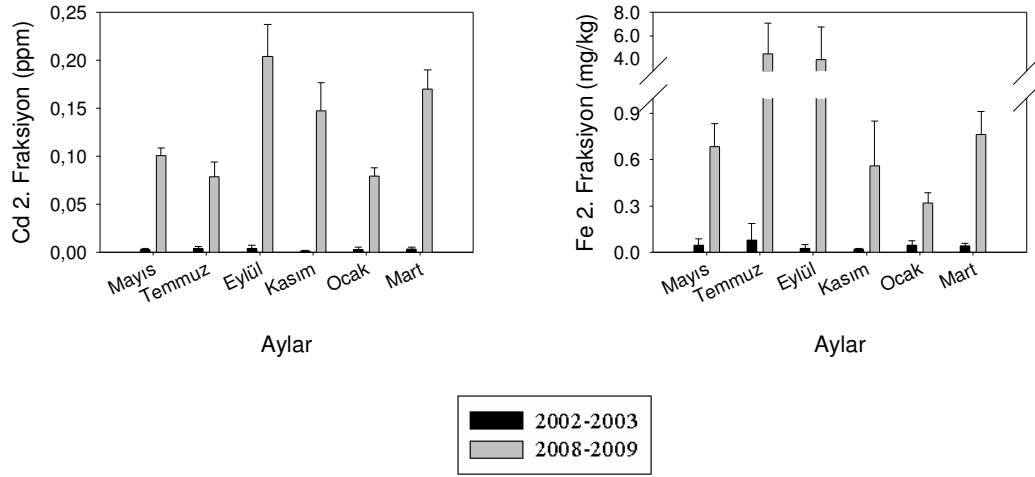
Nikelin yaz aylarında ve sonbaharın başlangıcında yüksek, kış aylarında düşük konsantrasyonlarda olduğu belirlenmiştir. Yıllar içinde konsantrasyonlarında 0,1363 mg/kg değerinden 3,8789 değerine yükseldiği ve bu yükselişin önemli olduğu bulunmuştur.

B konsantrasyonlarının değişimi incelendiğinde, yıllık ortalamalar 0,2623 mg/kg dan 3,0309 mg/kg a yükselmiştir ve bu yükseliş önemli bulunmuştur. Konsantrasyonların 2002-2003 yılı değerlerine göre istasyonlar ve aylar arasındaki farklılıkları önemsiz bulunurken, 2008-2009 yılı değerlerine göre bu farklılıklar önemli bulunmuştur. 2008-2009 yılındaki ölçümler değerlendirildiğinde, istasyonlar arasında maksimum ve minimum değerler 8. ve 2. istasyonlarda 4,1397 ve 3,4877 mg/kg olarak belirlenmiştir. Bu istasyonlar 2002-2003 yılında 5. ve 1. istasyonlara karşılık gelmektedir. Gölün doğusundaki bor değerlerinin batısından yüksek olduğu görülmektedir. 2008-2009'daki aylık değişimler göz önüne alındığında en yüksek ve en düşük değerler Ekim ve Şubat Ayları'nda 7,9174 ve 0,5539 mg/kg olarak belirlenmiştir. 2002-2003 yılındaki incelemelerdeki aylar dikkate alındığında 2008-2009 ölçümlerine göre en yüksek ve en düşük konsantrasyonlar Kasım ve Mart Ayları'nda 7,1783 ve 1,0041 mg/kg olarak belirlenmiştir. Bor konsantrasyonlarının yağışlı olan aylarda (sonbahar, kış, ilkbahar ayları) yaz aylarına göre daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu görülmüştür.

Demir konsantrasyonlarının yaz aylarında yükseldiği, kış aylarında düştüğü görülmüştür. Demirin yıllar içinde konsantrasyonlarının arttığı, 0,04287 mg/kg değerinden 1,78486 mg/kg değerine yükseldiği ve bu yükselişin önemli olduğu bulunmuştur.

Genel olarak çinko konsantrasyonlarının yaz aylarında ve kurak dönemin devam ettiği sonbaharın başlarında yüksek olduğu, yağışlı dönem olan kış ve ilkbahar aylarında düşük olduğu belirlenmiştir. Çinkonun konsantrasyonlarının yıllar içinde arttığı, 0,08297 mg/kg'dan 2008-2009 yılında 0,56364 mg/kg'a yükseldiği belirlenmiştir. Çizelge 4.8.6'da 2002-2003 yılında kolay serbest hale geçebilir halde bulunan ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının istasyonlara göre ortalama değerleri ve çizelge 4.8.7'de 2002-2003 yılında kolay serbest hale geçebilir halde bulunan ağır metal ve iz

element konsantrasyonlarının aylara göre ortalama değerleri gsterilmiştir. Sedimentte bulunan en yksek ve en dük konsantrasyona sahip ve rnek olması bakımından Fe ve Cd elementlerinin kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının yıllar içindeki değişimlerinin aylara göre gsterimi şekil 4.8.2’de sunulmuştur.



şekil 4.8.2. Fe ve Cd elementlerinin kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının yıllar içindeki değişimlerinin aylara göre gsterimi

Çizelge 4.8.6. 2002-2003 yılındaki kolay serbest hale geçebilir halde bulunan ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının istasyonlara göre ortalama değerleri

| İst no | As | Cr | Cd | Pb | Cu | Ni | B | Fe | Zn |
|--------|------------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0,046364 ± | 0,00317 ± | 0,002703 | 0,036783 | 0,013223 | 0,129595 | 0,244815 | 0,048437 | 0,068873 |
| | 0,046903 | 0,003329 | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± |
| 2 | 0,030399 ± | 0,006276 | 0,003001 | 0,252888 | 0,016792 | 0,124347 | 0,287823 | 0,029956 | 0,062817 |
| | 0,038268 | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± |
| 3 | 0,034655 ± | 0,002499 | 0,004009 | 0,038258 | 0,051009 | 0,155003 | 0,280372 | 0,027701 | 0,054781 |
| | 0,037189 | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± |
| 4 | 0,026368 ± | 0,002289 | 0,003681 | 0,291657 | 0,015206 | 0,120556 | 0,222298 | 0,070084 | 0,070756 |
| | 0,056749 | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± |
| 5 | 0,066492 ± | 0,003888 | 0,001407 | 0,39605 ± | 0,031693 | 0,151932 | 0,276347 | 0,038172 | 0,157625 |
| | 0,042848 | ± | ± | 0,566919 | ± | ± | ± | ± | ± |
| | | 0,005198 | 0,001594 | | 0,012169 | 0,022477 | 0,041944 | 0,021645 | 0,173916 |

Çizelge 4.8.7. 2002-2003 yılındaki kolay serbest hale geçebilir halde bulunan ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının aylara göre ortalama değerleri

| Aylar | As | Cr | Cd | Pb | Cu | Ni | B | Fe | Zn | |
|--------|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Temmuz | 2002-2003 | 0,026872 ± 0,041539 | 0,010682 ± 0,007291 | 0,003762 ± 0,00215 | 0,533685 ± 0,572389 | 0,031453 ± 0,019411 | 0,125006 ± 0,058958 | 0,21793 ± 0,061927 | 0,047385 ± 0,038184 | 0,113639 ± 0,042189 |
| | 2008-2009 | 0,1529 ± 0,0561 | 0,194 ± 0,061 | 0,0774 ± 0,0144 | 0,2762 ± 0,2231 | 1,2755 ± 1,6499 | 1,2603 ± 0,4871 | 1,0594 ± 0,153 | 4,1628 ± 2,2262 | 0,3043 ± 0,0831 |
| Eylül | 2002-2003 | 0,059176 ± 0,045816 | 0,001407 ± 0,001083 | 0,004302 ± 0,002799 | 0,003619 ± 0,008093 | 0,009539 ± 0,012029 | 0,14004 ± 0,021209 | 0,275776 ± 0,137509 | 0,078731 ± 0,109246 | 0,049535 ± 0,005374 |
| | 2008-2009 | 0,1458 ± 0,041 | 0,4451 ± 0,2024 | 0,2003 ± 0,0297 | 5,5107 ± 1,481 | 0,6513 ± 0,1669 | 10,048 ± 2,6305 | 4,5057 ± 0,6708 | 3,791 ± 2,2502 | 1,1779 ± 0,29 |
| Kasım | 2002-2003 | 0,01739 ± 0,038885 | 0,00024 ± 0,000537 | 0,001102 ± 0,001059 | 0,085256 ± 0,07289 | 0,005889 ± 0,004979 | 0,138726 ± 0,077312 | 0,276958 ± 0,181212 | 0,02634 ± 0,024536 | 0,036121 ± 0,020419 |
| | 2008-2009 | 0,07949 ± 0,0219 | 0,0881 ± 0,0357 | 0,1416 ± 0,0235 | 1,1136 ± 1,4825 | 0,423 ± 0,0838 | 3,8263 ± 1,711 | 7,1783 ± 0,6994 | 0,5442 ± 0,2778 | 0,7308 ± 0,1831 |
| Ocak | 2002-2003 | 0,024739 ± 0,038081 | 0,00149 ± 0,001421 | 0,00281 ± 0,002278 | 0,05757 ± 0,12873 | 0,021017 ± 0,006913 | 0,173384 ± 0,041429 | 0,242808 ± 0,015667 | 0,020803 ± 0,004837 | 0,157252 ± 0,193659 |
| | 2008-2009 | 0,2212 ± 0,0944 | 0,064 ± 0,0136 | 0,0786 ± 0,0126 | 0,1797 ± 0,0691 | 0,1829 ± 0,0455 | 1,0792 ± 0,4525 | 2,5832±0,20 63 | 0,3011 ± 0,0557 | 0,0993 ± 0,0337 |
| Mart | 2002-2003 | 0,083939 ± 0,03845 | 0,001484 ± 0,001166 | 0,003216 ± 0,002362 | 0,064953 ± 0,065006 | 0,058601 ± 0,077789 | 0,114516 ± 0,046132 | 0,284966 ± 0,224732 | 0,044037 ± 0,029149 | 0,063418 ± 0,010939 |
| | 2008-2009 | 0,1594 ± 0,0612 | 0,2837 ± 0,0759 | 0,1768 ± 0,0221 | 0,907 ± 0,3347 | 0,5888 ± 0,2135 | 2,5125 ± 1,0024 | 1,0041 ± 0,6263 | 0,6508 ± 0,2106 | 0,6004 ± 0,3833 |
| Mayıs | 2002-2003 | 0,033017 ± 0,043109 | 0,006444 ± 0,004003 | 0,00257 ± 0,001537 | 0,473681 ± 0,624119 | 0,027006 ± 0,011041 | 0,126048 ± 0,032081 | 0,275548 ± 0,022005 | 0,039924 ± 0,016586 | 0,077857 ± 0,029704 |
| | 2008-2009 | 0,193 ± 0,0304 | 0,1771 ± 0,0092 | 0,1052 ± 0,0089 | 0,9679 ± 0,2937 | 0,4035 ± 0,06224 | 2,3926 ± 0,6194 | 2,1454 ± 0,3224 | 0,67 ± 0,1515 | 0,23860 ± 0,1497 |

4. 8. 4. Mobil ve Kolay Serbest Hale Geçebilir Fraksiyonlarının 2002-2003 ve 2008-2009 Yılları Arasındaki Değişimlerinin Birlikte Değerlendirmesi

Uluabat Gölü sedimentinde incelenen ağır metal ve iz elementlerin mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının 2002-2003 ve 2008-2009 yılları arasındaki değişimleri incelenmiştir. İncelenen elementlerin tümünün mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının konsantrasyonlarının artmış olduğu ve bu artışların önemli olduğu belirlenmiştir. Cd, Ni, Zn ve As'nin her iki yılda da kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının (F2) konsantrasyonlarının mobil halde bulunan fraksiyonların (F1) konsantrasyonlarından yüksek olduğu belirlenmiştir. Fe ve B'nin her iki yılda da F1 konsantrasyonlarının, F2'den yüksek, Cu ve Cr'nin 2002-2003 yılında $F1 > F2$ iken, 2008-2009 yılında $F2 > F1$ olduğu ve Pb'nin 2002-2003 yılında $F2 > F1$ iken 2008-2009 yılında $F1 > F2$ olduğu belirlenmiştir.

Cd, Zn, Pb, Ni, Fe ve Cr'nin incelenen iki yılda da istasyonlar arasındaki farklılıkları önemli bulunmamıştır. Ancak aylık ortalamalar arasındaki farklılıkları önemli bulunmuştur. Fe, Cr, Cd ve Zn'nin hem yağışlı hem de kurak dönemlerdeki konsantrasyonları yüksek bulunmuştur. Bu nedenle bu metallerin yüzeysel akış sularıyla doğal yapıdan ve havzada kullanılan gübre ve tarım ilaçları ile birlikte göle taşındığı düşünülmüştür. Pb ve Ni ise daha çok kurak dönemlerde yüksek konsantrasyonda belirlenmiştir. As ve B'nin de yağışlı ve kurak dönemlerde yüksek konsantrasyonları bulunmuştur. Ayrıca istasyonlar arasındaki farklılıkları da önemli bulunması da kirliliğin belirli bir bölgeden kaynaklanabileceğini düşündürmektedir. As ve B minerallerinin konsantrasyonlarının daha çok gölün orta ve doğu kısımlarında yüksek olduğu görülmüştür. Son olarak, Cu elementinin F1 fraksiyonunun konsantrasyonunun istasyonlar arasındaki farklılığı önemli bulunarak gölün en doğu kısmının en yüksek değerlerde olduğu ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının da daha çok yaz aylarında yüksek olduğu belirlenmiştir. Metallerin tümü değerlendirildiğinde, Uluabat Gölü'nün hem yayılı hem de noktasal kirletici kaynaklar ile kirlendiği, ayrıca bu kirletici kaynakların yüklerinin de yıllar içinde artarak sedimentte birikime neden olduğu anlaşılmıştır.

4. 9. Uluabat Gölü’de Yaşayan Sazan (*Cyprinus carpio L., 1758*) ve Turna (*Esox lucius, 1758*) Balıklarının Bazı Organlarında Biriken Ağır Metal ve İz Element Seviyelerinin İzlenmesi

Cyprinus carpio ve *Esox lucius* türlerinin kas, solungaç ve ciğer dokularındaki ağır metal konsantrasyonlarının ortalama, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri belirlenmiş olup, türler, dokular ve aylar arasındaki konsantrasyon farklılıklarının önemli olma durumu varyans analizi yardımıyla ANOVA tablosu yapılarak Minitab 15 istatistik programıyla değerlendirilmiştir. Verilerin karşılaştırılması $p=0,05$ 'e göre yapılmıştır.

Balık numunelerinin belirli ağırlıkta ve büyüklükte olmalarını sağlamak amacıyla yapılan t testi hesaplamalarıyla boy uzunlukları için güven aralığı belirlenmiştir (Milliken 1992). Balıklarda boy ve ağırlıkların orantılı olması sebebiyle ağırlıklar için ayrıca bir güven aralığı belirlenmemiştir (Yılmaz ve ark. 2007). Uluabat Gölü Balıkçılık Kooperatifi Başkanlığından alınan bilgilere göre, her mevsimde avlanabilecek olan balıkların boy uzunluğu Turna Balığı için 50-55 cm, Sazan Balığı için 40-70 cm arasında değişim göstermektedir. Buna göre ortalama boy uzunlukları Turna Balığı için 52,5 cm, Sazan Balığı için 55 cm olarak alınmıştır. %95 olasılıkla ve 5 cm standart sapma değerine göre Turna ve Sazan balıklarının boy uzunlukları için güven aralıkları sırasıyla $50,522 \text{ cm} \leq \mu \leq 54,478 \text{ cm}$ ve $53,022 \text{ cm} \leq \mu \leq 56,978 \text{ cm}$ olarak belirlenip numuneler bu aralıktaki boylarda seçilmişlerdir.

Bir yıl boyunca örneklenen *C. carpio* ve *E. lucius* dokularındaki (kas, karaciğer, solungaç) ağır metal ve iz element (Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, Cr, Pb, Cd, As ve B) konsantrasyonlarının mevsimsel ve yıllık olarak ortalama ve standart sapmaları belirlenmiştir. Genel olarak farklı dokularda farklı ağır metal birikim kapasiteleri gözlenmiştir. En yüksek metal konsantrasyonları karaciğer ve solungaçta bulunurken, kasta daha az metal birikme eğilimi görülmüştür. Ağır metal konsantrasyonlarının, *E. lucius* ve *C. carpio*'nun organları (kas, solungaç ve ciğer) arasındaki farklılıklarının, aylık değişimlerinin ve bu iki tür arasındaki birikim farklılığının önemli olup olmama durumları varyans analizi yapılarak ANOVA tablosu ile değerlendirilmiştir. Çizelge 4.9.1'de *E. lucius* ve *C. carpio* için oluşturulan ANOVA tablosu gösterilmiştir.

Çizelge 4.9.1. *E. lucius* ve *C. carpio* için oluşturulan ANOVA tablosu

| | | As | Cr | Cd | Pb | Cu | Ni | B | Fe | Mn | Zn |
|--|-------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|----------|
| E. Lucius ve C. Carpio Birlikte Hesaplanmış | Tür | 0,899 | 0,582 | 0,167 | 0,024 | 0,284 | 0,049 | 0,081 | 0,603 | 0,395 | 0 |
| | Organ | 0,032 | 0,246 | 0,204 | 0,055 | 0 | 0,079 | 0,001 | 0 | 0 | 0 |
| | Aylar | 0 | 0,066 | 0,621 | 0,054 | 0,12 | 0,15 | 0 | 0,079 | 0,45 | 0,958 |
| E. Lucius | Organ | 0,005 | 0,218 | 0,23 | 0,359 | 0 | 0,039 | 0,005 | 0 | 0 | 0 |
| | Aylar | 0,038 | 0,093 | 0,016 | 0,391 | 0,194 | 0,304 | 0,035 | 0,353 | 0,401 | 0,56 |
| C. Carpio | Organ | 0,121 | 0,246 | 0,296 | 0,109 | 0,007 | 0,307 | 0,062 | 0,041 | 0,04 | 0 |
| | Aylar | 0,105 | 0,373 | 0,622 | 0,03 | 0,698 | 0,002 | 0,015 | 0,508 | 0,845 | 0,869 |

*Koyu renkli sayılar $P < 0,05$ 'tir ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

As konsantrasyonları *E. lucius*'un kas, ciğer ve solungaç dokularında sırasıyla 0,0147 ile 0,0776, 0,00298 ile 0,4040 ve 0,005816 ile 0,1863 mg/kg arasında değişmiştir. Bu organlardaki konsantrasyonların minimum değerleri Mart, Mayıs ve Şubat Ayları'nda, maksimum değerleri ise kas ve solungaç Haziran, ciğer Kasım Ayı'nda belirlenmiştir. As'nin *E. lucius*'un organları arasındaki konsantrasyon farklılıkları ve aylık konsantrasyon değişimleri incelendiğinde organlara ve aylara göre meydana gelen değişimlerin önemli olduğu ($P < 0,05$) görülmüştür. Organların yıllık ortalama konsantrasyonları incelendiğinde ciğer, solungaç ve kastaki değerler sırasıyla 0,12942, 0,05714 ve 0,03631 mg/kg olarak bulunmuştur ve en yüksek seviyenin ciğerde bulunduğu belirlenmiştir. *C. carpio*'nun kas, ciğer ve solungaç dokularında bulunan As konsantrasyonları sırasıyla 0,0220 ile 0,0720, 0,002823 ile 0,1115, 0,0227 ile 0,5575 mg/kg arasında değişmiştir. Bu organlardaki konsantrasyonların minimum değerleri Eylül, Mayıs ve Nisan Aylar'ında, maksimum değerleri de Haziran Ayı'nda belirlenmiştir. As'nin *C. carpio*'nun organlarındaki konsantrasyon farklılıklarının ve aylık değişimlerin önemli olmadığı ($P > 0,05$) görülmüştür. Organların yıllık ortalama konsantrasyonları incelendiğinde ciğer, solungaç ve kastaki değerler sırasıyla 0,06369, 0,11872 ve 0,04723 mg/kg olarak bulunmuştur ve en yüksek seviyenin solungaçta bulunduğu belirlenmiştir.

E. lucius'un kas, ciğer ve solungaç dokularında bulunan Cr konsantrasyonları 0,0966 ile 1,6767, 0,1429 ile 2,0474 ve 0,0728 ile 3,6054 arasında değişmektedir. Bu organlardaki konsantrasyonların minimum değerleri Eylül Ayı'nda, maksimum değerleri de sırasıyla Ocak, Aralık ve Ekim Ayları'nda belirlenmiştir. Cr'nin *E. lucius*'un organlarındaki konsantrasyon farklılıklarının ve bu konsantrasyonların aylık

değişimlerinin önemli olmadığı ($P>0,05$) görülmüştür. Organların yıllık ortalama konsantrasyonları incelendiğinde ciğer, solungaç ve kastaki değerler sırasıyla 0,9597, 0,9097 ve 0,5577 mg/kg olarak belirlenmiştir ve en yüksek seviyenin ciğerde olduğu görülmüştür. Cr'nin *C. carpio'nun* kas, ciğer ve solungaç dokularındaki konsantrasyonları sırasıyla 0,1298 ile 1,6921, 0,0129 ile 2,8928 ve 0,0771 ile 2,6292 mg/kg arasında değişmiştir. Minimum konsantrasyonlar kasta Ekim, ciğer ve solungaçta Eylül Ayları'nda belirlenmiştir. Maksimum konsantrasyonlar kas ve solungaçta Aralık, ciğerde Temmuz Ayı'nda belirlenmiştir. Cr'nin *C. carpio'nun* farklı organlarındaki değişimleri incelendiğinde organlardaki ve aylık konsantrasyonlardaki farklılıkların önemli olmadığı ($P>0,05$) görülmüştür. Organların yıllık ortalama konsantrasyonları incelendiğinde ciğer, solungaç ve kastaki değerler sırasıyla 0,49744, 0,97136 ve 0,70565 mg/kg olarak belirlenmiştir ve en yüksek seviyenin solungaçta olduğu görülmüştür.

Cd'nin *E. lucius'un* kas, ciğer ve solungaç dokularında bulunan konsantrasyonları 0,0298 ile 0,2525, 0,0462 ile 0,9972, 0,0491 ile 0,3984 mg/kg arasında değişmiştir. Minimum konsantrasyonlar Haziran, Temmuz ve Ağustos Ayları'nda, maksimum konsantrasyonlar kasta Mayıs, ciğer ve solungaçta Mart Ayı'nda belirlenmiştir. Cd'nin konsantrasyonlarının *E. lucius'un* organları arasındaki farklılığı önemsiz ve aylık değişimlerininse önemli olduğu belirlenmiştir. Yıllık ortalama değerlerine göre ciğer, solungaç ve kas ortalamaları 0,8455, 0,2149 ve 0,2480 mg/kg olarak belirlenmiştir ve en yüksek konsantrasyonlar ciğerde görülmüştür. *C. carpio'nun* kas, ciğer ve solungaç dokularındaki konsantrasyonlar 0,0528 ile 0,6471, 0,1040 ile 6,521 ve 0,021 ile 0,5634 mg/kg arasında değişmiştir. Minimum konsantrasyonlar kas ve solungaçta Temmuz Ayı'nda, ciğerde Mart Ayı'nda, maksimum konsantrasyonlar, kas, ciğer ve solungaçta Şubat, Temmuz ve Mart Ayları'nda belirlenmiştir. Cd'nin *C. carpio'nun* organlarındaki konsantrasyonları ve aylık ortalamaları arasındaki farklılıklarının önemli olmadığı belirlenmiştir. Yıllık ortalama değerlerine göre ciğer, solungaç ve kas ortalamaları 0,8455, 0,2149 ve 0,2480 mg/kg olarak belirlenmiştir ve en yüksek değerler ciğerde görülmüştür.

Pb konsantrasyonları *E. lucius'un* kas, ciğer ve solungaç dokularında sırasıyla 0,5743 ile 2,5712, 0,1036 ile 3,0956 ve 0,3568 ile 2,7809 mg/kg arasında belirlenmiştir. Minimum konsantrasyonlar kas ve solungaçta Haziran'da, ciğerde Eylül Ayı'nda,

maksimum konsantrasyonlar kas, ciğer ve solungaçta Ocak, Haziran ve Mart Ayları'nda belirlenmiştir. Pb'nin *E. lucius'un* organlarındaki konsantrasyonları arasındaki farklılığın ve aylık değişimlerinin önemli olmadığı görülmüştür. Ciğer, solungaç ve kastaki yıllık ortalama konsantrasyonlar sırasıyla 1,1025, 1,5204 ve 1,1044 mg/kg olarak belirlenmiştir ve en yüksek konsantrasyonlar solungaçta bulunmuştur. *C. carpio'nun* kas, ciğer ve solungaç dokularındaki Pb konsantrasyonları 0,3192 ile 3,2112, 0,2663 ile 3,1156 ve 0,4897 ile 4,0864 mg/kg arasında belirlenmiştir. Minimum konsantrasyonlar solungaç ve ciğerde Aralık, kasta Kasım Ayı'nda, maksimum konsantrasyonlar kas, ciğer ve solungaçta Şubat, Mayıs ve Mart Ayları'nda belirlenmiştir. Pb konsantrasyonlarının *C. carpio'nun* organlarındaki değişiminin önemli olmadığı, aylık değişimlerinin önemli olduğu görülmüştür. Ciğer, solungaç ve kastaki konsantrasyonlar sırasıyla 1,6142, 2,1435 ve 1,3910 mg/kg olarak belirlenmiştir ve en yüksek konsantrasyonlar solungaçta bulunmuştur.

E. lucius'un kas, ciğer ve solungaç dokularındaki Cu konsantrasyonları 0,0121 ile 2,3629, 0,5896 ile 8,0550 ve 0,4659 ile 1,9456 mg/kg arasında bulunmuştur. Temmuz Ayı'nda kas ve ciğerde, Ekim Ayı'nda da solungaçta maksimum konsantrasyonlar görülmüştür. Minimum konsantrasyonlar ise kas ve solungaçta Aralıkta, ciğerde ise Nisan Ayı'nda belirlenmiştir. Cu konsantrasyonlarının organlar arasındaki değişimi önemli, aylık değişimleri ise önemsiz bulunmuştur. Ciğer, solungaç ve kastaki yıllık ortalama konsantrasyonları sırasıyla 3,4552, 0,9567 ve 0,5405 mg/kg'dır ve en yüksek değerler ciğerde görülmüştür. Cu konsantrasyonlarının *C. carpio'nun* kas, ciğer ve solungaç dokularındaki değerleri 0,2861 ile 1,7148, 0,7023 ile 5,0454 ve 0,0147 ile 2,3834 mg/kg arasında bulunmuştur. Minimum konsantrasyonlar kas ve ciğerde Ocak, solungaçta Temmuz Ayı'nda, maksimum konsantrasyonlar kas, ciğer ve solungaçta Kasım, Temmuz ve Ekim Ayları'nda belirlenmiştir. Cu konsantrasyonlarının *C. carpio'nun* organları arasındaki değişimi önemli, aylar arasındaki değişimleri önemsiz bulunmuştur. Ciğer, solungaç ve kastaki yıllık ortalama konsantrasyonları sırasıyla 2,1098, 1,0989 ve 0,8278 mg/kg'dır ve en yüksek değerler ciğerde görülmüştür.

Ni'nin *E. lucius'un* kas, ciğer ve solungaç dokularındaki konsantrasyonları 0,174 ile 1,5481, 0,1995 ile 10,0699 ve 0,2347 ile 6,0012 mg/kg arasında değişmiştir. Minimum konsantrasyonlar kas ve solungaçta Ağustos, ciğerde Temmuz Ayı'nda,

maksimum konsantrasyonlar Haziran, Ekim ve Kasım Ayları'nda belirlenmiştir. Ni konsantrasyonlarının organlar arasındaki farklılıkları önemli, aylık ortalamalarının ise farklılıklarının önemli olmadığı belirlenmiştir. Ciğer, solungaç ve kastaki yıllık ortalama konsantrasyonları sırasıyla 2,8162, 1,6272 ve 0,8114 mg/kg olarak belirlenmiştir. En yüksek seviyenin ciğerde bulunduğu belirlenmiştir. *C. carpio*'nun kas, ciğer ve solungaç dokularındaki Ni konsantrasyonları 0,1098 ile 2,2869, 0,2964 ile 1,9402 ve 0,1779 ile 3,3398 mg/kg arasında değişmiştir. Minimum konsantrasyonlar solungaç ve ciğerde Ağustos, kasta Eylül Ayı'nda belirlenmiştir. Maksimum konsantrasyonlar kas, ciğer ve solungaçta Şubat, Mayıs ve Martta belirlenmiştir. Ni konsantrasyonlarının organlardaki değişimlerinin önemli olmadığı, aylık ortalamalarının ise değişimlerinin önemli olduğu belirlenmiştir. Ciğer, solungaç ve kastaki yıllık ortalama konsantrasyonları sırasıyla 0,9237, 1,2669 ve 1,0310 mg/kg'dır ve en yüksek değerler solungaçta belirlenmiştir.

E. lucius'un kas, ciğer ve solungaç dokularındaki B konsantrasyonları sırasıyla 0 ile 1,5157, 0 ile 1,5663 ve 0 ile 2,4035 mg/kg arasında değişmiştir. Tüm organlardaki minimum konsantrasyonlar Haziran Ayı'nda, maksimum konsantrasyonlar kas ciğer ve solungaçta Ağustos, Mart ve Ekim Ayları'nda belirlenmiştir. B konsantrasyonlarının organlar arasındaki farklılıklarının ve aylık değişimlerinin önemli olduğu belirlenmiştir. Ciğer, solungaç ve kas dokularındaki konsantrasyonlar 0.80572, 1.27697 ve 0.54450 mg/kg'dır ve en yüksek değerler solungaçta görülmüştür. B'nin *C. carpio*'nun kas, ciğer ve solungaç dokularındaki yıllık ortalama konsantrasyonları 0 ile 1,4772, 0 ile 2,4798 ve 0 ile 2,3605 mg/kg arasında bulunmuştur. Tüm organlardaki minimum konsantrasyonlar Haziran Ayı'nda, maksimum konsantrasyonlar kas, ciğer ve solungaç dokularında Ağustos, Temmuz ve Eylül Ayları'nda belirlenmiştir. B konsantrasyonlarının *C. carpio*'nun organları arasındaki farklılığı önemsiz, aylara göre değişimlerinin önemli olduğu belirlenmiştir. Ciğer, solungaç ve kas dokularındaki yıllık ortalama konsantrasyonları 1,34470, 1,20737 ve 0,73359 mg/kg'dır ve en yüksek konsantrasyon ciğerde görülmüştür.

Fe konsantrasyonları *E. lucius*'un kas, ciğer ve solungaç dokularında 5,5099 ile 18,7502, 35,9582 ile 268,5560 ve 18,5648 ile 53,9448 mg/kg arasında bulunmuşlardır. Bu dokulardaki minimum konsantrasyonlar sırasıyla Eylül, Mayıs ve Şubat Ayları'nda, maksimum konsantrasyonlar Temmuz, Haziran ve Kasım Ayları'nda bulunmuşlardır.

Fe konsantrasyonlarının organlar arasındaki farklılıkları önemli, aylar arasındaki farklılıklarının önemsiz olduğu görülmüştür. Ciğer, solungaç ve kas dokularındaki yıllık ortalama konsantrasyonlar 119,331, 37,511 ve 9,841 mg/kg olarak belirlenmiştir ve en yüksek seviyedeki konsantrasyonların ciğerde olduğu görülmüştür. *C. carpio*'nun kas, ciğer ve solungaç dokularındaki Fe konsantrasyonları 9,002 ile 178,698, 16,722 ile 275,4990 ve 0,349 ile 83,432 mg/kg arasında değişmiştir. Minimum konsantrasyonlar kas ve ciğerde Mayıs, solungaçta Temmuz Ayı'nda, maksimum konsantrasyonlar kas, ciğer ve solungaçta Nisan, Haziran ve Ağustos Ayı'nda görülmüştür. Fe konsantrasyonlarının *C. carpio*'nun organları arasındaki farklılıkları önemli, aylara göre meydana gelen değişiminin önemsiz olduğu görülmüştür. Ciğer, solungaç ve kas dokularındaki yıllık ortalama konsantrasyonlar 101,84, 39,78 ve 43,01 mg/kg olarak belirlenmiştir ve en yüksek seviyedeki konsantrasyonların ciğerde olduğu görülmüştür.

Mn'nin *E. lucius*'un kas, ciğer ve solungaç dokularındaki konsantrasyonları 0,1293 ile 1,9032, 0,3724 ile 1,2457 ve 3,8045 ile 12,0212 mg/kg arasında bulunmuşlardır. Minimum konsantrasyonlar kas ve ciğerde Kasım, solungaçta Mart Ayı'nda, maksimum konsantrasyonlar kas, ciğer ve solungaçtaki maksimum konsantrasyonlar Şubat, Eylül ve Ekim Ayları'nda belirlenmiştir. Mn konsantrasyonlarının organlara göre değişimleri önemli, aylara göre değişimleri önemsiz bulunmuştur. Ciğer, kas ve solungaç dokularındaki yıllık ortalama konsantrasyonları sırasıyla 0,7131, 0,4446 ve 6,5806 mg/kg olarak belirlenmiştir. En yüksek konsantrasyonlar solungaçta görülmüştür. Mn konsantrasyonları *C. carpio*'nun kas, ciğer ve solungaç dokularında sırasıyla 0,182 ile 7,232, 0,2744 ile 7,6521 ve 0,0547 ile 8,0324 mg/kg aralıklarında belirlenmiştir. Minimum konsantrasyonlar kas, ciğer ve solungaç dokularında Mart, Kasım ve Temmuz Ayları'nda, maksimum konsantrasyonlar ise Kasım, Mayıs ve Ekim Aylar'ında görülmüştür. Mn konsantrasyonlarının *C. carpio*'nun organları arasındaki değişimleri önemli, aylara göre değişimleri önemsiz bulunmuştur. Ciğer, kas ve solungaç dokularındaki yıllık ortalama konsantrasyonları sırasıyla 1,7909, 0,9262 ve 3,7085 mg/kg olarak belirlenmiştir. En yüksek konsantrasyonlar solungaçta görülmüştür.

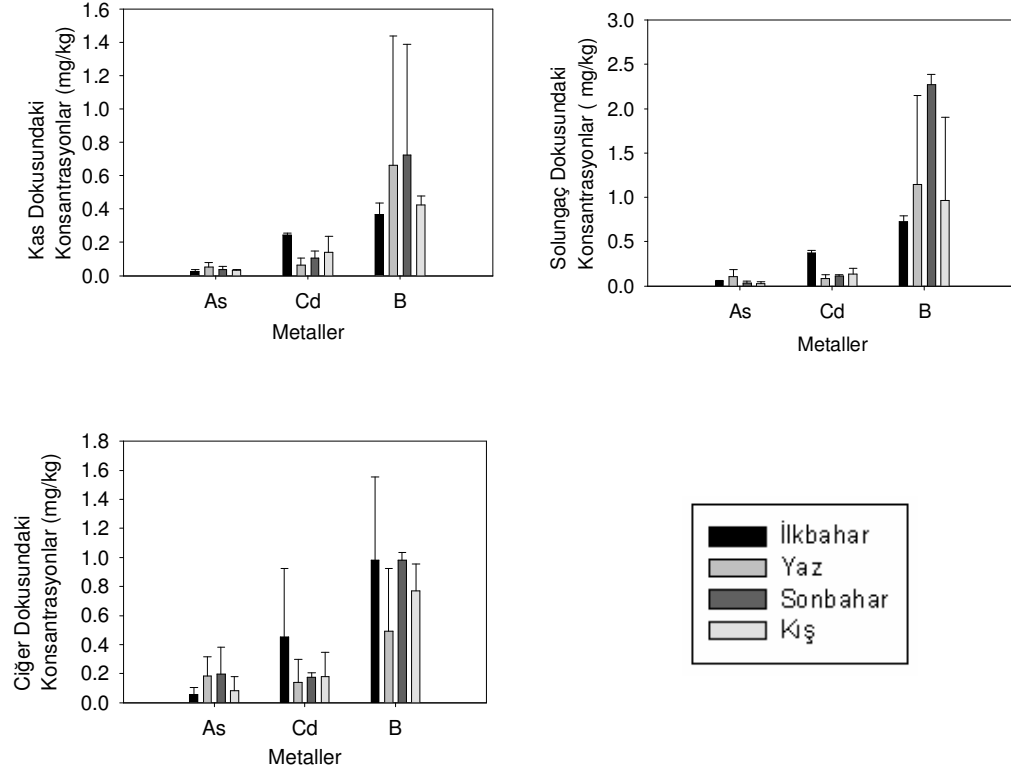
E. lucius'un kas, ciğer ve solungaç dokularındaki Zn konsantrasyonları 4,2815 ile 27,3476, 22,460 ile 113,2010 ve 79,658 ile 141,896 mg/kg aralıklarında değişmektedir. Minimum konsantrasyonlar kasta Kasım, solungaç ve ciğerde Şubat

Ayı'nda, maksimum konsantrasyonlar kas ve solungaçta Ağustos Ayı'nda, ciğerde Haziran Ayı'nda görülmüştür. Zn'nin organlar arasındaki konsantrasyon farklılıkları önemli, aylık konsantrasyon farklılıkları önemsiz olarak belirlenmiştir. Ciğer, solungaç ve kas konsantrasyonları sırasıyla 37,75, 108,04 ve 10,90 mg/kg olarak belirlenmiştir. En yüksek değerler solungaçta görülmüştür. *C. carpio*'nun kas, ciğer ve solungaç dokularındaki konsantrasyonları 7,2329 ile 176,412, 99,310 ile 376,8140 ve 1,1802 ile 362,428 mg/kg aralığında belirlenmiştir. Maksimum ve minimum konsantrasyonlar kasta Nisan ve Eylül'de, ciğerde Temmuz ve Şubatta, solungaçta Ekim ve Temmuz'da görülmüştür. Zn konsantrasyonlarının *C. carpio*'nun organları arasındaki farklılıkları önemli, aylık değişimleri önemsiz olarak belirlenmiştir. Ciğer, solungaç ve kas konsantrasyonları sırasıyla 228,07, 159,52 ve 29,67 mg/kg olarak belirlenmiştir. En yüksek değerler ciğerde görülmüştür.

E. lucius ve *C. carpio*'nun kas, solungaç ve ciğer dokularında bulunan ağır metal konsantrasyonları büyüklük sıralamasına sokulmuştur. Buna göre *E. lucius*'un kas dokusundaki elementler Zn>Fe>Pb>Ni>Cr>B>Cu>Mn>Cd>As, solungaç dokusunda elementler Zn>Fe>Mn>Ni>Pb>B>Cu>Cr>Cd>As, ciğer dokusundaki elementler Fe>Zn>Cu>Ni>Pb>Cr>B>Mn>Cd>As büyüklük sırasında bulunmuşlardır. *C. carpio*'nun kas dokusundaki elementler Fe>Zn>Pb>Ni>Mn>Cu>B>Cr>Cd>As, solungaç dokusundaki elementler Zn>Fe>Mn>Pb>Ni>B>Cu>Cr>Cd>As ve ciğer dokusundaki elementler Zn>Fe>Cu>Mn>Pb>B>Ni>Cd>Cr>As büyüklük sırasında bulunmuştur. Genel olarak her iki balığın dokularına bakıldığında Zn ve Fe elementleri en yüksek konsantrasyonlarda, Cd ve As elementleri en düşük konsantrasyonlarda bulunmuştur. *E. lucius* ve *C. carpio*'nun kas, solungaç ve ciğer dokularında bulunan ağır metal konsantrasyonlarının yıllık ortalama değerleri çizelge 4.9.2'de gösterilmiştir.

Metallerin mevsimsel değişimleri incelendiğinde, *Esox lucius*'un kas dokusunda yaz ve kış mevsimlerinde, solungaç dokusunda ilkbahar ve sonbaharda ve ciğerde dört mevsimde de maksimum değerler görülmüştür. *Esox lucius*'un her üç dokusundaki Cd konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri aynı olmuştur. Diğer metallerin dokulardaki mevsimsel değişimleri de farklı olmuştur. *Esox lucius* için yapılan varyans analizi neticesinde As, Cd ve B metallerinin aylık konsantrasyon değişimlerinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. As'nin kas ve solungaç dokularındaki maksimum değerleri yazın, minimum değerleri de ilkbahar ve kışta, ciğerde ise

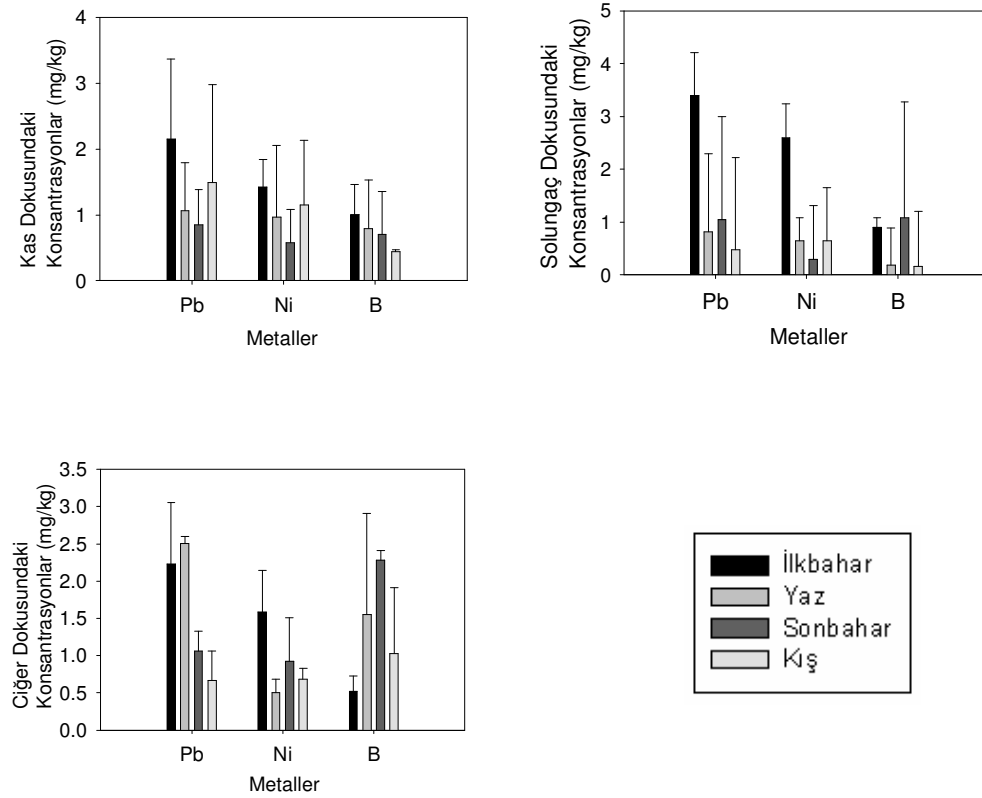
maksimum sonbahar, minimum ilkbaharda görülmüştür. Cd konsantrasyonları, her üç dokuda da maksimum ilkbahar, minimum yaz mevsiminde, B'nin maksimum değerleri sonbaharda, minimum değerleri kas ve solungaçta ilkbaharda, ciğerde yaz mevsiminde görülmüştür. Şekil 4.9.1'de *Esox lucius*'un kas, solungaç ve ciğer dokularında bulunan As, Cd ve B elementleri konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.9.1. *Esox lucius*'un kas, solungaç ve ciğer dokularında bulunan As, Cd ve B elementleri konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri

Cyprinus carpio'nun farklı organlarındaki konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri incelendiğinde genel olarak kas ve solungaç dokularında ilkbahar ve sonbaharda, ciğerde ise her mevsimde maksimum değerler görülmüştür. Kas ve solungaç dokularında bulunan As, Cr, Cu ve Zn konsantrasyonlarının maksimum değerleri yaz ve kış mevsimlerinde görülmüştür. As'nin her üç dokudaki mevsimsel değişimleri aynı şekilde meydana gelmiştir ve yaz mevsiminde en yüksek değerlere ulaşmıştır. *Cyprinus carpio* için yapılan varyans analizi neticesinde Pb, Ni ve B'nin aylık konsantrasyon değişimlerinin önemli olduğu belirlenmiştir. Pb'nin kas ve

solungaç dokularındaki maksimum konsantrasyonları ilkbaharda, ciğerde yaz mevsiminde belirlenmiştir. Pb'nin Kas, ciğer ve solungaç dokularındaki minimum değerleri sonbahar, kış ve yaz mevsimlerinde bulunmuştur. Ni'nin maksimum değerleri her üç dokuda da ilkbaharda, minimum değerleri kasta sonbaharda, ciğer ve solungaçta yaz mevsimlerinde bulunmuştur. B konsantrasyonları ciğer ve solungaçta maksimum sonbaharda, minimum ilkbahar ve yazda, kas dokusunda maksimum ilkbahar, minimum kış mevsiminde bulunmuştur. *Cyprinus carpio*'nun kas, solungaç ve ciğer dokularında bulunan Pb, Ni ve B elementleri konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri şekil 4.9.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.9.2. *Cyprinus Carpio*'nun kas, solungaç ve ciğer dokularında bulunan Pb, Ni ve B elementleri konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri

Çizelge 4.9.2. *E. lucius* ve *C. carpio*'nun kas, solungaç ve ciğer dokularında bulunan ağır metal konsantrasyonlarının yıllık ortalama değerleri

| | Kas | | Solungaç | | Ciğer | |
|----|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
| | <i>Esox lucius</i> | <i>Cyprinus carpio</i> | <i>Esox lucius</i> | <i>Cyprinus carpio</i> | <i>Esox lucius</i> | <i>Cyprinus carpio</i> |
| As | 0,0363 ± 0,0182 | 0,0472 ± 0,018 | 0,0571 ± 0,0485 | 0,1187 ± 0,161 | 0,1294 ± 0,1254 | 0,0637 ± 0,0405 |
| Cr | 0,5577 ± 0,4139 | 0,7057 ± 0,5082 | 0,9097 ± 0,9177 | 0,9714 ± 0,7379 | 0,9597 ± 0,6076 | 0,4974 ± 0,7885 |
| Cd | 0,1378 ± 0,0844 | 0,248 ± 0,2145 | 0,1787 ± 0,1239 | 0,2149 ± 0,176 | 0,2358 ± 0,2607 | 0,8455 ± 1,7987 |
| Pb | 1,1044 ± 0,5304 | 1,391 ± 1,0452 | 1,5204 ± 0,7514 | 2,1435 ± 1,1876 | 1,1025 ± 1,0845 | 1,6142 ± 0,9032 |
| Cu | 0,5405 ± 0,6411 | 0,8278 ± 0,5007 | 0,9567 ± 0,455 | 1,0989 ± 0,731 | 3,4552 ± 2,4183 | 2,1098 ± 1,2601 |
| Ni | 0,8114 ± 0,386 | 1,031 ± 0,7552 | 1,6272 ± 1,5341 | 1,2669 ± 0,9644 | 2,8162 ± 2,8396 | 0,9237 ± 0,5577 |
| B | 0,5445 ± 0,4658 | 0,7336 ± 0,5102 | 1,277 ± 0,8526 | 1,2074 ± 0,8453 | 0,8057 ± 0,3792 | 1,3447 ± 0,9752 |
| Fe | 9,8409 ± 3,3831 | 43,0117 ± 46,5621 | 37,5115 ± 10,7404 | 39,7777 ± 22,228 | 119,3306 ± 62,1146 | 101,8389 ± 95,0496 |
| Mn | 0,4446 ± 0,4933 | 0,9262 ± 1,9914 | 6,5806 ± 2,6614 | 3,7085 ± 2,7545 | 0,7131 ± 0,2976 | 1,7909 ± 2,2599 |
| Zn | 10,898 ± 7,5965 | 29,6687 ± 47,117 | 108,0384 ± 20,9676 | 159,5237 ± 132,3239 | 37,7507 ± 24,9656 | 228,0736 ± 88,1242 |

Her iki balık türü birlikte hesaplama yapıldığında, Pb, Ni ve Zn'nin konsantrasyonları bakımından türler arasındaki farklılığının önemli olduğu görülmüştür. Ayrıca, As ve B'nin organlara ve aylara göre, Cu, Fe, Mn ve Zn'nin de yalnızca organlara göre farklılığının önemli olduğu belirlenmiştir.

Elementlerin türler arasındaki farklılıkları incelendiğinde, iki tür arasındaki konsantrasyon farklılığının önemli bulunduğu Pb ve Zn'nin konsantrasyonlarının *C. Carpio*'nun kas, solungaç ve ciğer dokularında *E. Lucius*'a göre daha yüksek olduğu (*C. Carpio*>*E. lucius*) belirlenmiştir. Ni konsantrasyonlarının ise solungaç ve ciğerde *E. lucius*'ta (*E. lucius*>*C. carpio*), kasta ise *C. carpio*'da (*C. carpio*>*E. lucius*) daha yüksek olduğu görülmüştür. Diğer elementlerde türler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte As, Cr, Cu ve Fe'nin konsantrasyonlarının kas ve solungaç dokularında *C. Carpio*'da, ciğerde ise *E. Lucius*'ta daha yüksek olduğu, Cd'nin Pb ve Zn'ye benzer olarak kas, solungaç ve ciğerde *C. Carpio*'da, B ve Mn ise kas ve ciğerde *C. Carpio*'da, solungaçta *E. Lucius*'ta daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Her iki balığın bünyelerindeki miktarı belirleyebilmek amacıyla kas, solungaç ve ciğer dokularında bulunan ağır metal konsantrasyonlarının ortalamaları alındığında, *C. Carpio*'daki As, Cd, Pb, B, Fe ve Zn'nin, *E. lucius*'a göre, *E. lucius*'taki Cr, Cu, Ni ve Mn'nin *C. Carpio*'a göre daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. *E. Lucius* ve *C. Carpio*'da bulunan ağır metal konsantrasyonları yıllık ortalama değerleri çizelge 4.9.3 gösterilmiştir.

Çizelge 4.9.3. *E. lucius* ve *C. carpio*'da bulunan ağır metal konsantrasyonları yıllık ortalama değerleri

| | <i>E. Lucius</i> (mg/kg) | <i>C. Carpio</i> (mg/kg) |
|----|-----------------------------|-----------------------------|
| As | 0,0742±0,0861 | 0,0765±0,0972 |
| Cr | 0,809±0,6837 | 0,7248±0,6876 |
| Cd | 0,1841±0,1734 | 0,4361±1,0469 |
| Pb | 1,2424±0,8217 | 1,7162±1,0552 |
| Cu | 1,6507±1,9329 | 1,3455±1,0145 |
| Ni | 1,7515±2,0044 | 1,0738±0,7576 |
| B | 0,8757±0,6605 | 1,0952±0,8105 |
| Fe | 55,5609±58,9497 | 61,5427±66,238 |
| Mn | 2,5794±3,2520 | 2,1418±2,538 |
| Zn | 52,229±45,5812 | 139,0886±123,17 |

Tüm bu bilgiler sonucunda, metallerin balıkların bünyelerindeki birikimlerinin türlere, organlara (dokulara), metallerin özelliklerine ve mevsimsel faktörlere bağlı olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, Uluabat Gölü'nde yaşayan *C. carpio* ve *E. lucius*'un farklı dokularındaki metal seviyeleri belirlenmiştir. Bu iki balık türündeki metal birikimleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, konsantrasyonların mevsimsel değişimleri araştırılmıştır. Karaciğer ve solungaç gibi hedef organlarda ağır metal birikimi daha yüksek seviyelerde görülmektedir. Çalışılan bazı göldeki farklı balık türlerinde de solungaç ve ciğerde yüksek değerler görülmüştür. Bunlar, Manzalah Gölü'ndeki *Tilapia zilli* (Zyadah 1999), Beyşehir Gölü'nde yaşayan *Leuciscus cephalus* ve *Stizostedion lucioperca* (Tekin-Özan ve Kır 2006) ve Atatürk Baraj Gölü'nde yaşayan *Liza abu* ve *Silurus triostegus*'dur (Karadede ve ark. 2004).

As, Cr, Cd, Cu, Ni ve Fe *Esox lucius*'un ciğer dokusunda maksimum, daha sonra sırasıyla solungaç ve minimum kas dokularında, B, Mn ve Zn maksimum solungaç, daha sonra ciğer ve minimum kas dokusunda, Pb maksimum solungaç, daha sonra kas ve minimum ciğer dokularında belirlenmişlerdir. *Cyprinus carpio*'da Cu, B ve Zn en yüksek ciğerde, daha sonra solungaçta ve minimum kasta belirlenmiştir. Cd ve Fe en yüksek ciğerde, daha sonra kasta ve en düşük solungaçta, As, Pb ve Mn konsantrasyonları en yüksek solungaçta, daha sonra ciğerde ve minimum kasta, Cr ve Ni en yüksek solungaçta en düşük ciğerde belirlenmiştir. Her iki balıkta da Cd, Cu ve Fe'nin en yüksek değerleri ciğerde, Pb ve Mn'nin en yüksek değerleri solungaçta bulunmuştur. Ayrıca, her iki balık türünde de Cu ve Mn'nin dokulardaki büyüklük sıralaması aynı olmuştur.

Solungaçtaki metal konsantrasyonları, balık türlerinin yaşadıkları suyun konsantrasyonlarını, ciğer de metallerin depolandıkları bölgeyi temsil etmektedir. Balıklarda metallothionein (protein bağlı metaller) oluşumu daha çok karaciğer dokusunda meydana gelmektedir. Solungaçtaki metal konsantrasyonları elementlerin mukus tabakası ile kompleks oluşturmasından dolayı daha yüksek seviyelerde bulunmaktadır. Genel olarak kastaki ağır metal konsantrasyonları solungaç ve ciğere göre daha düşük bulunmaktadır. *Esox lucius*'ta Pb, *Cyprinus carpio*'da Cr, Cd, Ni ve Fe hariç diğer ağır metallerin tümünde en düşük konsantrasyonlar kasta belirlenmiştir.

Benzer sonuçlar diğer çalışmalarda da bulunmuştur (Alam ve ark., 2002, Amundsen ve ark., 1997, Canlı ve Atlı, 2003).

Metallerin mevsimsel değişimleri incelendiğinde, *Esox lucius*'un kas dokusunda yaz ve kış mevsimlerinde, solungaç dokusunda çoğunlukla ilkbahar ve sonbaharda (As ve Zn yaz mevsiminde) ve ciğerde dört mevsimde de maksimum değerler görülmüştür. *Cyprinus carpio*'nun farklı organlarındaki konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri incelendiğinde genel olarak kas ve solungaç dokularında ilkbahar ve sonbaharda (Kasta As ve Cr, solungaçta As, Cu ve Zn konsantrasyonlarının maksimum değerleri yaz ve kış mevsimlerinde görülmüştür.), ciğerde ise her mevsimde maksimum değerler görülmüştür. Ancak ANOVA tablosu neticesinde *Esox lucius* için As, Cd ve B, *Cyprinus carpio* için Pb, Ni ve B'nin aylık konsantrasyon farklılıkları önemli bulunmuştur. *Esox lucius*'taki As kurak dönemde (yaz ve sonbahar başı) maksimum, yağışlı dönemde minimum bulunmuştur. B her iki balıkta da kurak dönemde maksimum, hem kurak hem de yağışlı dönemlerde minimum bulunmuştur. Pb hem yağışlı hem de kurak dönemlerde maksimum ve minimum değerlerde bulunmuşlardır. Cd ve Ni yağışlı dönemde maksimum, kurak dönemde minimum bulunmuştur. Metallerin maksimum ve minimum konsantrasyonları yağışlı ve kurak dönemlerde görülmüştür. Kurak dönemde balıktaki ağır metal konsantrasyonların artması, yağışların olmaması sebebi ile sudaki konsantrasyonların artması ve su sıcaklığının artışı ile fizyolojik aktivitelerinin hızlanmasıdır. Yağışlı dönemde balıktaki birikimin azalması sudaki konsantrasyonların seyrelmeden dolayı azalması, tarımsal aktivitelerin azalması ve azalan su sıcaklığı nedeni ile balıkların fizyolojik aktivitelerinin yavaşlamasıdır. Ancak bazı metaller (B, Pb, Cd, Ni) hem yağışlı hem de kurak dönemlerde yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmişlerdir. Bunun nedeninin B işletmelerinin yaz kış devam eden üretimi, Pb, Cd ve Ni'nin yağışlı ve kurak dönemdeki trafik yoğunluğunun benzer olması ve kirlenici kaynak olabilecek bazı işletmelerin sürekli çalışmalarının olabileceği düşünülmüştür (Çavuşoğlu ve ark. 2006).

4. 10. Ağır Metal ve İz elementlerin Suda ve Sedimentte Bulunan Fraksiyonlarının Balık Türlerinin Farklı Dokularındaki Birikime Olan Etkileri

4. 10. 1. Balık Türlerindeki Ağır Metal ve İz Element Birikimlerinin Ulusal ve Uluslararası Sınır Değerler İle Karşılaştırılması

Tarım, balıkçılık ve endüstri Uluabat Gölü ve Havzası'nda yaşayanlar için başlıca aktiviteler olması nedeniyle ticari değeri olan sazan (*Cyprinus carpio*) ve turna (*Esox lucius*) balıklarının dokularındaki birikimler çeşitli sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Uluabat Gölü'nde faaliyet gösteren Gölyazı Balıkçılık Kooperatifi kayıtlarına göre gölde 165 ruhsatlı balıkçı tekne ile avlanma faaliyeti göstermektedir. Bu avcılık faaliyeti sonucu kooperatif kayıtlarına göre 93,5 ton *Esox lucius*, 31,5 ton sazan ve 105,5 ton feki olarak isimlendirilen diğer sazan türleri yakalanmaktadır (Emiroğlu ve ark. 2009).

Balık dokularındaki ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının toksik etki seviyesini değerlendirmek amacı ile konsantrasyonlar FAO (Food and Agriculture Organization: Gıda ve Tarım Örgütü) standartları (Nauen 1983), EC (European Union: Avrupa Birliği) standartları (Anonim 2006 c), TKG (Türk Gıda Koteksi) standartları (Anonim 2002 a), IAEA (International Atomic Energy Agency: Uluslararası Atomik Enerji Kuruluşu) standartları (Anonim 2003), NRC (National Research Council : ABD Ulusal Araştırma Kurulu) standartları (Anonim 1989 a) ve JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives Journals: Gıda Maddeleri FAO/WHO Uzman Komitesi Dergileri) standart değerleri (Anonim 1982, Anonim 1987, Anonim 1989 b, Anonim 1993, Anonim 2006 d) ile birlikte incelenerek karşılaştırılmıştır. FAO'ya ait Tehlikeli ağır metal ve iz elementlerin balık ve balık ürünlerinde bulunabilecek sınır değerleri çizelge 4.10.1'de ve ağır metal ve iz elementlerin tüketilmeleri için verilmiş olan ulusal ve uluslar arası sınır değerler çizelge 4.10.2'de gösterilmiştir. Buna göre As, Cr, Cd, Pb, Cu, Ni ve Zn'nin FAO için verilen maksimum standart değerlerin altında olduğu belirlenmiştir. FAO'da Ni için verilen sınır değer sadece 10 mg/kg'dır. Bu nedenle çizelge 4.10.1'de ülke bazında Ni sınır değeri gösterilmemiştir. Cu'nun her iki balıktaki tüm dokularda FAO standart değerlerinin minimum seviyesinin ve TKG standartlarının altında bulunmuştur. IAEA'ya göre *E. lucius*'un ciğer dokusundaki konsantrasyonları yüksek, diğer dokular düşük bulunmuştur. Standartlara göre düşük

konsantrasyonda olması günlük alım bakımından yetişkinler için yenilebilir kısım uygun bulunmakla birlikte, *E. lucius* bebekler için uygun, *C. carpio* yüksek olması sebebi ile bebekler için yenmesi uygun bulunmamıştır. *C. carpio*'nun kasındaki konsantrasyonları bebekler için verilen sınır değer olan 0,4 ile 0,7 mg/kg gün'den (Anonim 1989 b) 1,18 kat fazla bulunmuştur. Cd ve Pb konsantrasyonları her iki türün tüm dokularında FAO alt limitlerinin üstünde bulunmuştur. Cd, EC, 2006 ve TGK, 2002 değerlerini aşmış olup, IAEA'ya göre *E. lucius*'un kas ve solungaç dokularındaki konsantrasyonlar sınır değerinin altında, diğer dokularda üstünde bulunmuştur. JECFA, 2006'ya göre vücut ağırlığı başına haftalık alınabilecek değer olan 0,007 mg/kg vücut ağırlığı standardı ile karşılaştırıldığında 60 kg'lık bir insan için alınması gereken değer 0,42 mg/kg olmaktadır. Bu değere göre *C. carpio*'nun ciğer hariç diğerleri uygun görünmüştür. *E. lucius* ve *C. carpio*'nun kas dokularındaki konsantrasyonlarının EC ve TGK sınır değerlerinin sırasıyla 2,75 ve 4,96 kat üzerinde bulunması sebebiyle her iki balık türü yemek için uygun bulunmamıştır. Bununla beraber Kadmiyum açısından JECFA'ya göre balıktaki yenebilir kısım toksik seviyede bulunmamıştır. Pb, TGK, EC, IAEA standart değerlerine göre ve JECFA'ya göre tüm dokuların yanı sıra yenebilir kas dokusundaki konsantrasyonların da bir kişinin günlük alması gereken 0,21 mg/kg'lık sınır değerden yüksek bulunması sebebiyle yenmesi uygun bulunmamıştır. *E. lucius* ve *C. carpio*'nun kas dokusundaki Pb konsantrasyonları günlük alınabilen sınır değeri sırasıyla 5,25 ve 6,62 kat aşmıştır. Zn her iki türün solungaç ve ciğer dokularında ve As'nin *E. lucius*'un ciğer ve *C. carpio*'nun solungaç dokularında FAO alt limit değerlerinin üzerinde belirlenmiştir. Arsenik için JECFA, 1989'a göre verilen haftalık alınabilen tolere edilebilir 0,015 mg/kg vücut ağırlığı standardı ile karşılaştırıldığında 60 kg'lık bir insan için haftalık alınması gereken değer 0,9 mg/kg olmaktadır. As, her iki balığın yenebilir kas dokusundaki ve diğer organlarındaki konsantrasyonlar toksik değerlerin altında ve yemek için uygun bulunmuştur. Balıkların yenebilir kas dokularının As konsantrasyonları haftalık tolere edilebilir değerlere göre, *E. Lucius*'ta 24,7, *C. Carpio*'da 19,06 kat daha az bulunmuşlardır. TGK ve IAEA sınır değerine göre her iki balığın kasında ve *E. lucius*'un ciğerindeki çinko konsantrasyonları düşük bulunmuştur. Diğer dokularda yüksek bulunmuştur. JECFA'ya göre günlük alınması gereken maksimum değer olan 1 mg/kg vücut ağırlığı sınır değeri 60 kg'lık bir insan için 60 mg/kg olmaktadır. Bu nedenle de bu değere her iki balığın kas dokusu ve *E.*

lucius'un ciğer dokusu uygun bulunmaktadır. Balıkların yenebilir kısımları sınır değerlerin çoğuna uygun olmasıyla birlikte NRC'ye göre günlük alınması gereken miktarın *E. lucius'ta* bebekler için, *C. carpio'da* ise yetişkinler için olan değerlerden yüksek olması nedeni ile çinko açısından uygun bulunmamıştır. NRC'ye göre günlük alınması gereken çinko miktarı erkeklerde 15, bayanlarda 12, çocuklarda 10 ve bebeklerde 5 mg/kg'dır. *E. lucius* ve *C. carpio'nun* kas dokularının çinko konsantrasyonları NRC'nin bebekler için verilmiş olan 5 mg/kg gün'lük sınır değerinden sırasıyla 2,17 ve 5,93 kat fazla bulunmuştur.

Nikel JECFA, TGK, EC ve NRC için verilen standartlar listesinde bulunmamasına ve FAO sınır değerinin altında olmasına rağmen konsantrasyonları IAEA'ya göre tüm dokularda yüksek bulunmuştur. Bu nedenden dolayı balıklar nikel bakımından yenmeye uygun bulunmamıştır. *E. lucius* ve *C. carpio'nun* kas dokuları IAEA'nın sınır değerinden sırasıyla 1,35 ve 1,71 kat yüksek bulunmuştur.

Krom konsantrasyonları FAO'nun vermiş olduğu tek değer olan 1 mg/kg sınır değerinin altında bulunmuştur. IAEA'ya göre balıkların solungaç dokularında ve *E. lucius'un* ciğer dokusundaki konsantrasyonlar sınır değerleri aşmıştır. Bu dokular FAO'nun sınır değerlerine çok yakın bulunmuştur. JECFA'ya göre her iki türün tüm dokuları kişi başına günlük tüketilmesi gereken sınır değeri (0,05-0,2 mg/gün kişi) aşmış bulunmaktadır. *E. lucius* ve *C. carpio'nun* kas dokuları günlük sınır değeri sırasıyla 2,78, 3,52 kat aşmış bulunmaktadır. Balıkların kas dokuları da sınır değerlerin üstünde olması sebebiyle yemek için uygun bulunmamıştır.

FAO'da sınır değer belirtilmeyen Fe ve Mn IAEA, 2003'e göre karşılaştırılmıştır. Fe'nin tüm dokularda sınır değerlerin (146 mg/kg) altında, Mn'nin ise IAEA'ya göre (3,52 mg/kg) her iki balığın solungaç dokularında yüksek, diğer dokularda düşük bulunmuştur. Mn konsantrasyonları NRC'nin bir günde bir kişinin alabileceği değerler olan 2 ile 5 mg/kg kişi arası değeri ile karşılaştırıldığında, *E. lucius'un* solungaç dokusunda yüksek, diğer dokularda düşük bulunmuştur. *E. lucius* ve *C. carpio'nun* yenebilir olan kas dokularındaki konsantrasyonları 5 mg/kg kişi sınır değerinden sırasıyla 11,26 ve 5,39 kat düşük olması sebebi ile yemek için uygun bulunmuştur. Fe ve Mn EC ve TGK standartlarında da bulunmamaktadır. Fe konsantrasyonları NRC'nin bir günde bir kişinin alabileceği değerler olan 10 ile 18 mg/kg kişi arası değeri ile karşılaştırıldığında, *E. lucius'un* kas dokusundaki değerlerin

uygun olduğu, ancak diğer dokuların yüksek konsantrasyonlara sahip olduğu görülmüştür. Buna göre demir parametresi bakımından *E. lucius*'un yenilebilir kısmı olan kas dokusundaki değerlerin düşük olması sebebiyle *E. lucius* yenilebilir, *C. carpio* yenemez olarak belirlenmiştir. *C. carpio*'nun kas dokusundaki konsantrasyonlar 18 mg/kg kişi sınır değerinin 2,38 katı kadar fazla bulunmuştur. Bor için her hangi bir değerlendirme kriterinin bulunmaması sebebi ile balıktaki konsantrasyonlarının gıda yönünden uygunluğu değerlendirilememiştir.

Çizelge 4.10.1. Tehlikeli ağır metal ve iz elementlerin balık ve balık ürünlerinde bulunabilecek sınır değerleri –FAO (Nauen 1983)

| Ülke | Metaller (mg/kg) | | | | | |
|--------------|------------------|-----------|----|-------------|------------|-------------|
| | As | Cd | Cr | Cu | Pb | Zn |
| Avustralya | 1,0 - 1,5** | 0,2 - 5,5 | – | 10,0 - 70,0 | 1,5 - 5,5 | 40,0 - 1000 |
| Brezilya | – | – | – | – | – | – |
| Kanada | 3,5 | – | – | – | 0,5 | – |
| Şili | 0,12 - 1,0 | 0,5 | – | 10 | 2 | 100 |
| Danimarka | – | – | – | – | – | – |
| Ekvator | 1 | – | – | 10 | 5 | – |
| Finlandiya | 5 | – | – | – | 2 | – |
| Fransa | – | – | – | – | – | – |
| Almanya | – | 0,5 | – | – | 0,5 | – |
| Yunanistan | – | – | – | – | – | – |
| Honkong | 1,4 - 1,0 | 2 | 1 | – | 6 | – |
| Hindistan | 1 | – | – | 10 | 5 | – |
| İsrail | – | – | – | – | – | – |
| İtalya | – | – | – | – | 2 | – |
| Japonya | – | – | – | – | – | – |
| Kore | – | – | – | – | – | – |
| Hollanda | – | 0,5 - 1 | – | – | 0,5 - 2 | – |
| Yeni Zelanda | 1 | 1 | – | 30 | 2 | 40 |
| Filipinler | 30 | – | – | – | 0,5 | – |
| Polonya | 4 | – | – | 10,0 - 30,0 | 1,0 - 2,0 | 30,0 - 50,0 |
| İspanya | – | – | – | – | – | – |
| İsveç | – | – | – | – | 1,0 - 2,0 | – |
| İsviçre | – | 0,1 | – | – | 1 | – |
| Tayland | 2 | – | – | 20 | 1 | – |
| UK | 1 | – | – | 20 | 2,0 - 10,0 | 50 |
| USA | – | – | – | – | – | – |
| Venezuela | 0,1 | 0,01 | – | 10 | 2 | – |
| Zambiya | 3,5 - 5,0 | – | – | 100 | 0,5 - 1,0 | 100 |
| Aralık | – | – | – | – | – | – |
| Minimum | 0,1 | 0 | 1 | 10 | 0,5 | 30 |
| Maksimum | 10 | 5,5 | 1 | 100 | 10 | 1000 |

* Toplam

** İnorganik

Nauen 1983. Compilation of Legal Limits for Hazardous Substances in Fish and Fishery Products. United Nations Food and Agriculture Organization

Çizelge 4.10.2. Ağır metal ve iz elementlerin tüketilmeleri için verilmiş olan ulusal ve uluslar arası sınır değerler

| | As | Cr | Cd | Pb | Cu | Ni | Fe | Mn | Zn |
|---------------------------------------|---------------------|----------|---------------------|---------------------|----------------------------|-----|-------|------|--------------|
| (EC 2006) (mg/kg) | - | - | 0,05 | 0,2 | - | - | - | - | - |
| (TGK 2002) (mg/kg) | 1 | - | - | 0,2 | 20 | - | - | - | 50 |
| (IAEA 2003) (mg/kg) | 12,6 | 0,73 | 0,189 | 0,12 | 3,28 | 0,6 | 146 | 3,52 | 67,1 |
| | - | - | - | - | 1,5-3,0 (yetişkin) | - | 10-18 | 2-5 | 15 (erkek) |
| | - | - | - | - | 1,5-2,5 (çocuk) | - | - | - | 12 (kadın) |
| | - | - | - | - | 1-2 (7-10 yaş arası) | - | - | - | 10 (çocuk) |
| (NRC 1989) (mg/gün/kişi) | - | - | - | - | 1,0-1,5 (4-6 yaş arası) | - | - | - | 5 (bebekler) |
| | - | - | - | - | 0,7-1,0 (1-3 yaş arası) | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | 0,4-0,7 (bebekler) | - | - | - | - |
| (JECFA 1993) (mg/gün/kişi) | - | 0.05-0.2 | - | 0,21 (60 kg) | - | - | - | - | - |
| (JECFA 1982) (mg/gün/ vücut ağırlığı) | - | - | - | - | 0,5 | - | - | - | 1 |
| (JECFA 1987) (mg/vücut ağırlığı) | - | - | - | 0,025 (haftalık) | - | - | - | - | - |
| (JECFA 1989)(mg/vücut ağırlığı) | 0,015 (haftalık) | - | 0,007 (haftalık) | - | - | - | - | - | - |
| (JECFA 1993)(mg/vücut ağırlığı) | - | - | 0,007 (haftalık) | 0,025 (haftalık) | - | - | - | - | - |
| (JECFA 2006) (mg/vücut ağırlığı) | - | - | 0,007 (haftalık) | - | - | - | - | - | - |

Balık dokularında bulunan konsantrasyonlar diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Kas dokularında yapılan incelemelerde *C. carpio'nun* Fe ve Mn bakımından diğer çalışmalara göre daha yüksek olduğu, diğer tüm elementler her iki balık türünde de benzer ya da düşük konsantrasyonlarda olduğu belirlenmiştir. Solungaçtaki konsantrasyonlar karşılaştırıldığında her iki balık türünde de benzer ya da düşük konsantrasyonlara rastlanmıştır. Ciğer dokularındaki konsantrasyonlara göre Fe'in her iki balıkta da kastaki gibi diğer çalışmalarda yüksek olduğu görülmüştür. Diğer elementler benzer ya da düşük konsantrasyonlarda belirlenmiştir. Dünya'da yapılan çalışmalar incelendiğinde B ile ilgili çok az çalışmaya rastlanmıştır. Bu nedenle karşılaştırma yapılamamıştır. Balık dokularındaki ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının diğer çalışmalar ile karşılaştırmaları çizelge 4.10.3'te sunulmuştur.

Çizelge 4.10.3. Balık dokularındaki ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının diğer çalışmalar ile karşılaştırmaları

| Metaller | Kaynak | Kas | |
|--------------------------|--|--------------------|------------------------|
| | | <i>Esox lucius</i> | <i>Cyprinus carpio</i> |
| Fe (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Avşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 16,55 ± 6,99 |
| | Tekin-Özan ve Kır 2007 (Isıklı Gölü, yaş ağırlık) | | 4,47 ± 1,11 |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | 16,98 ± 0,02 |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 9,84 ± 3,38 | 43,011 ± 46,562 |
| Mn (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Andreji ve Straňan 2004 (Danube Nehri, yaş ağırlık) | 0,57 ± 0,19 | |
| | Tekin-Özan ve Kır 2007 (Isıklı Gölü, yaş ağırlık) | | 0,14 ± 0,05 |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | öd |
| | Köse ve Uysal 2008 (Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,444 ± 0,493 | 0,9262 ± 1,9914 | |
| Cu (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Weher 2008 (KuzeyJordan Deresi, kuru ağırlık) | | 2,48 ± 1,00 |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Avşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 3,85 ± 2,18 |
| | Andreji ve Straňan 2004 (Danube Nehri, yaş ağırlık) | 1,26 ± 0,92 | |
| | Tekin-Özan ve Kır 2007 (Isıklı Gölü, yaş ağırlık) | | öd |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 2,55 ± 0,6 |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | |
| | Salánki ve Licskö Case Study (Balaton Gölü, kuru ağırlık) | 0,3 - 2,8 | |
| Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,54 ± 0,64 | 0,8278 ± 0,5007 | |
| Zn (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Weher 2008 (KuzeyJordan Deresi, kuru ağırlık) | | 30,31 ± 4,16 |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Tekin-Özan ve Kır 2007 (Isıklı Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 27,65 ± 1,62 |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | 4,81 ± 0,6 |
| | Salánki ve Licskö Case Study (Balaton Gölü, kuru ağırlık) | 17,7 - 39,0 | |
| Bu çalışma (yaş ağırlık) | 10,89 ± 7,596 | 29,668 ± 47,117 | |
| Cr (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Avşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 1,18 ± 0,73 |
| | Tekin-Özan ve Kır 2007 (Isıklı Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | ND |
| | Köse ve Uysal 2008 (Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | öd |
| Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,55 ± 0,41 | 0,7057 ± 0,5082 | |

Çizelge 4.10.3. (Devam) Balık dokularındaki ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının diğer çalışmalar ile karşılaştırmaları

| Metaller | Kaynak | Kas | |
|---------------|--|--------------------|------------------------|
| | | <i>Esox lucius</i> | <i>Cyprinus carpio</i> |
| Pb (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Has-Schön ve ark. 2008 (Hutovo Blato, yaş ağırlık) | | 0,012 ± 0,005 |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Avşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 2,14 ± 2,09 |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | ND |
| | Salánki ve Licskö Case Study (Balaton Gölü, kuru ağırlık) | 1,3 - 6,2 | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 1,104 ± 0,53 | 1,391 ± 1,0452 |
| Cd (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Has-Schön ve ark. 2008 (Hutovo Blato, yaş ağırlık) | | 0,011 ± 0,003 |
| | Weher 2008 (KuzeyJordan Deresi, kuru ağırlık) | | 0,14 ± 0,07 |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Avşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 0,17 ± 0,007 |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 0,04 ± 0,00 |
| | Salánki ve Licskö Case Study (Balaton Gölü, kuru ağırlık) | 1,1 - 3,1 | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,13 ± 0,08 | 0,248 ± 0,2145 |
| Ni (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Avşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 1,27 ± 1,18 |
| | Andreji ve Strānai 2004 (Danube Nehri, yaş ağırlık) | 0,24 ± 0,07 | |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | öd |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | ND |
| | Salánki ve Licskö Case Study (Balaton Gölü, kuru ağırlık) | 2,3 - 8,5 | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,811 ± 0,38 | 1,031 ± 0,7552 |
| As (mg/kg) | Has-Schön ve ark. 2008 (Hutovo Blato, yaş ağırlık) | | 0,094 ± 0,008 |
| | Rosemond ve ark. 2008 (Back körfezi, kuru ağırlık) | 0,97 ± 0,54 | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,036 ± 0,018 | 0,0472 ± 0,018 |
| B (mg/kg) | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | öd |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | ND |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,544 ± 0,465 | 0,7336 ± 0,5102 |

Çizelge 4.10.3. (Devam) Balık dokularındaki ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının diğer çalışmalar ile karşılaştırmaları

| Metaller | Kaynak | Solungaç | |
|---------------|--|--------------------|------------------------|
| | | <i>Esox lucius</i> | <i>Cyprinus carpio</i> |
| Fe (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Avşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 203,7 ± 106,9 |
| | Tekin-Özan ve Kır 2007 (Isıklı Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | 20,78 ± 1,35 |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 87,19 ± 11,88 |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 37,511 ± 10,740 | 39,7777 ± 22,228 |
| Mn (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Andreji ve Stráňan 2004 (Danube Nehri, yaş ağırlık) | | |
| | Tekin-Özan ve Kır 2007 (Isıklı Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | 3,08 ± 0,78 |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | öd |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 6,5806 ± 2,6614 | 3,7085 ± 2,7545 |
| Cu (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Weher 2008 (KuzeyJordan Deresi, kuru ağırlık) | | 9,92 ± 2,38 |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Avşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 3,94 ± 0,87 |
| | Andreji ve Stráňan 2004 (Danube Nehri, yaş ağırlık) | | |
| | Tekin-Özan ve Kır 2007 (Isıklı Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | öd |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | 3,815 ± 0,12 |
| | Saláňki ve Licskő Case Study (Balaton Gölü, kuru ağırlık) | 1,0 - 10,1 | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,9567 ± 0,455 | 1,0989 ± 0,731 |
| Zn (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Weher 2008 (KuzeyJordan Deresi, kuru ağırlık) | | 27,85 ± 3,93 |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Tekin-Özan ve Kır 2007 (Isıklı Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 91,55 ± 2,50 |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | 218,96 ± 14,46 |
| | Saláňki ve Licskő Case Study (Balaton Gölü, kuru ağırlık) | 784,0 - 1458,0 | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 108,038 ± 20,967 | 159,523 ± 132,323 |
| Cr (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Avşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 1,61 ± 0,73 |
| | Tekin-Özan ve Kır 2007 (Isıklı Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | 0,51 ± 0,02 |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | öd |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,9097 ± 0,9177 | 0,9714 ± 0,7379 |

Çizelge 4.10.3. (Devam) Balık dokularındaki ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının diğer çalışmalar ile karşılaştırmaları

| Metaller | Kaynak | Solungaç | |
|--------------------------|--|--------------------|------------------------|
| | | <i>Esox lucius</i> | <i>Cyprinus carpio</i> |
| Pb (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Has-Schön ve ark. 2008 (Hutovo Blato, yaş ağırlık) | | 0,389 ± 0,007 |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Aşşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 3,11 ± 2,50 |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | ND |
| | Salänki ve Licskö Case Study (Balaton Gölü, kuru ağırlık) | 0,7 - 9,9 | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 1,5204 ± 0,7514 | 2,1435 ± 1,1876 |
| Cd (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Has-Schön ve ark. 2008 (Hutovo Blato, yaş ağırlık) | | 0,257 ± 0,011 |
| | Weher 2008 (KuzeyJordan Deresi, kuru ağırlık) | | 0,70 ± 0,16 |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Aşşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 0,15 ± 0,14 |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 0,14 ± 0,00 |
| | Salänki ve Licskö Case Study (Balaton Gölü, kuru ağırlık) | 2,0 - 10,0 | |
| Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,1787 ± 0,1239 | 0,2149 ± 0,176 | |
| Ni (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Aşşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 3,52 ± 3,33 |
| | Andreji ve Strānai 2004 (Danube Nehri, yaş ağırlık) | | |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | öd |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | ND |
| | Salänki ve Licskö Case Study (Balaton Gölü, kuru ağırlık) | 8,6 - 33,7 | |
| Bu çalışma (yaş ağırlık) | 1,6272 ± 1,5341 | 1,2669 ± 0,9644 | |
| As (mg/kg) | Has-Schön ve ark. 2008 (Hutovo Blato, yaş ağırlık) | | 0,093 ± 0,005 |
| | Rosemond ve ark. 2008 (Back körfezi, kuru ağırlık) | | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,0571 ± 0,0485 | 0,1187 ± 0,161 |
| B (mg/kg) | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | öd |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | ND |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 1,277 ± 0,8526 | 1,2074 ± 0,8453 |

Çizelge 4.10.3. (Devam) Balık dokularındaki ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının diğer çalışmalar ile karşılaştırmaları

| Metaller | Kaynak | Ciğer | |
|---------------|--|--------------------|------------------------|
| | | <i>Esox lucius</i> | <i>Cyprinus carpio</i> |
| Fe (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Avşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 94,27 ± 54,85 |
| | Tekin-Özan ve Kır 2007 (Isıklı Gölü, yaş ağırlık) | 0,25 ± 0,2 | |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 119,330 ± 62,114 | 101,838 ± 95,049 |
| Mn (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Andreji ve Straňar 2004 (Danube Nehri, yaş ağırlık) | 1,23 ± 0,34 | |
| | Tekin-Özan ve Kır 2007 (Isıklı Gölü, yaş ağırlık) | ND | |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,7131 ± 0,2976 | 1,7909 ± 2,2599 |
| Cu (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Weher 2008 (KuzeyJordan Deresi, kuru ağırlık) | | |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Avşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 9,73 ± 4,03 |
| | Andreji ve Straňar 2004 (Danube Nehri, yaş ağırlık) | 14,62 ± 6,46 | |
| | Tekin-Özan ve Kır 2007 (Isıklı Gölü, yaş ağırlık) | ND | |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | |
| | Salánki ve Licskö Case Study (Balaton Gölü, kuru ağırlık) | 11,8 - 37,1 | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 3,4552 ± 2,4183 | 2,1098 ± 1,2601 |
| Zn (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Weher 2008 (KuzeyJordan Deresi, kuru ağırlık) | | |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Tekin-Özan ve Kır 2007 (Isıklı Gölü, yaş ağırlık) | ND | |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | |
| | Salánki ve Licskö Case Study (Balaton Gölü, kuru ağırlık) | 95,7 - 187,0 | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 37,750 ± 24,965 | 228,073 ± 88,124 |
| Cr (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Avşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 0,83 ± 0,53 |
| | Tekin-Özan ve Kır 2007 (Isıklı Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,9597 ± 0,6076 | 0,4974 ± 0,7885 |

Çizelge 4.10.3. (Devam) Balık dokularındaki ağır metal ve iz element konsantrasyonlarının diğer çalışmalar ile karşılaştırmaları

| Metaller | Kaynak | Ciğer | |
|---------------|--|--------------------|------------------------|
| | | <i>Esox lucius</i> | <i>Cyprinus carpio</i> |
| Pb (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Has-Schön ve ark. 2008 (Hutovo Blato, yaş ağırlık) | | 0,017 ± 0,004 |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Avşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 3,42 ± 3,23 |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | |
| | Salánki ve Licskö Case Study (Balaton Gölü, kuru ağırlık) | 1,7 - 5,9 | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 1,1025 ± 1,0845 | 1,6142 ± 0,9032 |
| Cd (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Has-Schön ve ark. 2008 (Hutovo Blato, yaş ağırlık) | | 0,052 ± 0,007 |
| | Weher 2008 (KuzeyJordan Deresi, kuru ağırlık) | | |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Avşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 0,79 ± 0,33 |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Salánki ve Licskö Case Study (Balaton Gölü, kuru ağırlık) | 1,0 - 4,4 | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,2358 ± 0,2607 | 0,8455 ± 1,7987 |
| Ni (mg/kg) | Alhas ve ark. 2008 (Atatürk Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Yılmaz ve ark. 2007 (Saricay , yaş ağırlık) | | |
| | Öztürk ve ark. 2009 (Avşar Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | 7,0 ± 1,94 |
| | Andreji ve Straňan 2004 (Danube Nehri, yaş ağırlık) | 0,1 ± 0,03 | |
| | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | |
| | Salánki ve Licskö Case Study (Balaton Gölü, kuru ağırlık) | 2,7 - 8,3 | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 2,8162 ± 2,8396 | 0,9237 ± 0,5577 |
| As (mg/kg) | Has-Schön ve ark. 2008 (Hutovo Blato, yaş ağırlık) | | 0,071 ± 0,007 |
| | Rosemond ve ark. 2008 (Back körfezi, kuru ağırlık) | 0,42 ± 0,13 | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,1294 ± 0,1254 | 0,0637 ± 0,0405 |
| B (mg/kg) | Köse ve Uysal 2008(Enne Baraj Gölü, yaş ağırlık) | | |
| | Uysal ve Atalay 2007 (DPÜ Göleti, yaş ağırlık) | | |
| | Bu çalışma (yaş ağırlık) | 0,8057 ± 0,3792 | 1,3447 ± 0,9752 |

4. 10. 2. Ağır Metal ve İz elementlerin Suda ve Sedimentte Bulunan Fraksiyonlarının Balık Türlerinin Farklı Dokularındaki Konsantrasyonları İle İlişkileri

İncelenen metallerin iki türün kas, solungaç ve ciğer dokularındaki ağır metal konsantrasyonları ile suda çözülmüş, askıda katı maddeye tutunmuş haldeki, sedimentteki toplam konsantrasyonları, mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonların konsantrasyonları toplamı (değişebilir kısım), Mn-oksitlere bağlı ve organiklere bağlı fraksiyonların konsantrasyonları ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, B elementi dışında diğer metallerin tümünün balık dokularındaki konsantrasyonları sudaki çözülmüş halde bulunan metal konsantrasyonlarından yüksek bulunmuştur. Tüm dokulardaki B konsantrasyonları sudan düşük bulunmuştur. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metal konsantrasyonları ile balıklardaki konsantrasyonlar karşılaştırıldığında, yalnızca Zn'nin *E. lucius'un* solungaç ve ciğer dokularındaki, *C. carpio'nun* tüm dokularındaki konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Sediment konsantrasyonlarıyla karşılaştırılmalarında, askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan konsantrasyonlara benzer olarak Zn'nin *C. carpio'nun* solungaç ve ciğer dokularındaki konsantrasyonları daha yüksek bulunmuştur. Diğer elementlerin tümünün konsantrasyonlarının sedimentte daha yüksek olduğu görülmüştür. Mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonların konsantrasyonları toplamına göre karşılaştırıldığında, balık dokularındaki As, Ni, B ve Mn'nin konsantrasyonlarının daha düşük olduğu, Fe'nin yüksek, Cu'nun her iki türün ciğer dokusunda yüksek, Pb'nin *C. carpio'nun* solungaç dokusunda yüksek, Cd'nin *E. lucius'un* ciğer, *C. carpio'nun* tüm dokularında yüksek ve Cr'nin *E. lucius'un* solungaç ve ciğer, *C. carpio'nun* solungaç ve kas dokularında ve Zn'nin tüm balık dokularında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Mn-oksitlere bağlı fraksiyonlar ile karşılaştırıldığında, As, Cd, Pb, B ve Mn' nin balık dokularındaki konsantrasyonları daha düşük bulunmuştur. Fe ve Zn'nin tüm dokularda daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Cr ve Ni'nin *E. lucius'un* solungaç ve ciğer dokularında ve Cr'nin ayrıca *C. Carpio'nun* solungaç dokusunda, Cu'nun *E. lucius'un* ciğer dokusunda daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu belirlenmiştir. Organiklere bağlı fraksiyonlar ile karşılaştırıldığında, Fe ve Zn'nin balık dokularında daha yüksek, diğer metallerin ise daha düşük seviyelerde olduğu bulunmuştur. Son olarak kalıntı halindeki fraksiyonlara göre, Fe'nin her iki türün ciğer dokusundaki, çinkonun *C. carpio'nun* solungaç ve ciğer

dokusunda ve *E. lucius'un* solungaç dokusundaki konsantrasyonları daha yüksek bulunmuştur.

Balık dokularındaki metallerin sedimentteki mobil fraksiyon (F1) ile olan ilişkileri incelendiğinde demirin her iki türde ciğerdeki demir konsantrasyonları ile, kolay serbest hale geçebilen fraksiyonlardan borun her iki türdeki solungaçtaki konsantrasyonları, çinkonun *E. lucius'un* ciğerindeki konsantrasyonları, demirin *C. carpio'nun* solungaç ve ciğer dokularındaki konsantrasyonları ile, Mn-oksitlere bağlı fraksiyonların demirin *C. carpio'nun* solungaç dokusundaki, kadmiyumun *E. lucius'un* kas dokusundaki konsantrasyonları önemli bulunmuştur.

Organik maddeye bağlı fraksiyonlardan demirin iki türün ciğer dokusundaki, *E. lucius'ta* nikelin kas ve ciğer dokusundaki, kadmiyumun kas ve solungaç dokusundaki ve çinkonun ciğer dokusundaki konsantrasyonları ile ve kalıntı halindeki fraksiyonlarda *C. carpio'da* kurşunun kas dokusundaki, çinkonun solungaç dokusundaki, *E. lucius'ta* nikelin solungaç dokusundaki konsantrasyonları ile olan ilişkileri önemli bulunmuştur.

Çözünmüş halde bulunan metallerin balık dokularındaki konsantrasyonları ile ilişkileri kurulmuştur. Buna göre bakırın *E. lucius'un* kas ve ciğer, *C. carpio'nun* solungaç dokularındaki konsantrasyonlar ile olan ilişkileri, *E. lucius'un* solungaç ve kas dokularındaki konsantrasyonlar ile sırasıyla mangan ve çinkonun, borun *C. carpio'nun* ciğer dokusundaki konsantrasyonları arasındaki ilişkiler önemli bulunmuştur.

Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metal konsantrasyonları ile balık dokularındaki konsantrasyonlar ilişkilendirildiğinde, arseniğin her iki balığın solungaç dokularındaki, *E. lucius'un* kas dokusundaki, demirin her iki türün ciğer dokusundaki, kadmiyumun ve çinkonun sırasıyla *E. lucius'un* ciğer ve kas dokularındaki ve kurşunun *C. carpio'nun* ciğer dokusundaki konsantrasyonları ile olan ilişkileri önemli bulunmuştur.

Sedimentteki konsantrasyonlar ile ilişki kurulduğunda, çinkonun *C. carpio'nun* solungaç dokusundaki ve nikelin *E. lucius'un* solungaç dokusundaki konsantrasyonları ile olan ilişkileri önemli bulunmuştur. Metallerin *C. carpio* ve *E. lucius* dokularındaki konsantrasyonlar ile suda çözünmüş haldeki, askıda katı maddeye tutunmuş haldeki, sediment fraksiyonlarındaki ve sedimentteki toplam konsantrasyonları arasındaki

ilişkileri gösteren r korelasyon değerleri çizelge 4.10.4. ve çizelge 4.10.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.10.4. *C. carpio* dokularındaki konsantrasyonlar ile ÇH, AKTH, sediment fraksiyonları ve ST konsantrasyonları arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon değerleri

| | Fe CC | B CS | Fe CS | Pb CK | Zn CS | Cu CS | B CC | Pb CC | As CS | Zn CS |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fe (F1) | 0,754 | | | | | | | | | |
| B (F2) | | 0,652 | | | | | | | | |
| Fe (F3) | | | 0,675 | | | | | | | |
| Fe (F4) | 0,606 | | | | | | | | | |
| Pb (F5) | | | | 0,617 | | | | | | |
| Zn (F5) | | | | | 0,687 | | | | | |
| Cu (Ç H) | | | | | | -0,65 | | | | |
| B (Ç H) | | | | | | | 0,589 | | | |
| Pb (AKMT) | | | | | | | | 0,612 | | |
| Fe (AKMT) | 0,928 | | | | | | | | | |
| As (AKMT) | | | | | | | | | 0,732 | |
| Zn (ST) | | | | | | | | | | 0,697 |

- * CC: *C. carpio*'nun ciğer dokusu
- * CS: *C. carpio*'nun solungaç dokusu
- * CK: *C. carpio*'nun kas dokusu
- * ÇH: Çözünmüş halde bulunan
- * AKMT: Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan
- * ST: Sedimentteki toplam konsantrasyon
- * Çizelgedeki r değerlerinin tümü P= 0,05'e göre önemlidir.

Tüm ilişkiler incelendiğinde, kromun balık dokularındaki konsantrasyonları ile metallerin sedimentteki ve sudaki herhangi bir fraksiyonu ile ilişkisi önemli bulunmamıştır. Balık dokularındaki demir konsantrasyonları ile askıda katı maddeye tutunmuş haldeki, sedimentteki kalıntı halindeki fraksiyonu hariç diğer fraksiyonların hepsi ile ilişkili olduğu görülmüştür. Demirin sedimentten suya geçtiğini ve askıdaki katı maddelere adsorblanmış demirin balıkların bünyesine alındığı belirlenmiştir. Bu nedenle bazı dokulardaki demir konsantrasyonları suda çözünmüş halde bulunan ve sediment fraksiyonlarının konsantrasyonlarından yüksek bulunmuştur. Balık dokularındaki bor konsantrasyonları ile sedimentteki mobil ve kolay serbest hale geçebilir ve suda çözünmüş metaller ilişkili bulunmuştur ancak balık dokularındaki konsantrasyonları suda ve sedimentteki fraksiyonların hiçbirinden yüksek

bulunmamıştır. Bu nedenle borun balıktaki birikiminin çok fazla olmadığı söylenebilmektedir. Çinkonun balıktaki konsantrasyonları ile Mn-oksitlere bağlı fraksiyonları dışında suda ve sedimentteki tüm fraksiyonları ile ilişkilerinin önemli olduğu belirlenmiştir. Çinkonun sedimentten suya geçişlerle ve askıda katı maddeden balıkların bünyesine alınabileceği düşünülmüştür. Bu nedenle de balıktaki çinko konsantrasyonlarının sudaki ve sedimentteki tüm fraksiyonların ve askıda katı maddede bulunan konsantrasyonlarından daha yüksek olduğu görülmüştür. Balıktaki nikel konsantrasyonları ile organik maddeye bağlı, kalıntı halindeki fraksiyonları ve sedimentteki toplam konsantrasyonların ilişkileri önemli bulunmuştur. Bu nedenle sedimentten suya geçen nikelin bazı balık dokularındaki konsantrasyonları Mn-oksitlere bağlı fraksiyondan ve suda çözülmüş haldeki konsantrasyonlardan yüksek bulunmuştur. Bakırın balıktaki konsantrasyonları ile suda çözülmüş halde bulunan formları arasındaki ilişkiler önemli bulunmuştur ve bu nedenle de balıktaki konsantrasyonların suda çözülmüş halde bulunan konsantrasyondan yüksek bulunmuştur. Balıktaki bakırın sedimentle ve askıda katı maddedeki konsantrasyonlar ile ilişkileri bulunamamıştır. Balık dokularındaki kadmiyumun Mn-oksitlere bağlı, organik maddeye bağlı ve askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan formları ile ilişkileri önemli bulunmuştur. Sedimentteki ve askıda katı maddedeki kadmiyumun suya ve balığa geçtiği görülmektedir. Bu nedenle de kadmiyum konsantrasyonlarının suda çözülmüş haldeki, mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonların konsantrasyonlarından yüksek bulunmuştur. Kurşunun balık dokularındaki konsantrasyonları ile kalıntı halindeki ve askıda katı maddeye tutunmuş haldeki konsantrasyonları arasındaki ilişkiler önemli bulunmuştur. Sedimentten ve askıda katı maddeden suya geçerek balık dokularında birikime yol açabileceği görülmektedir. Kurşunun miktarının balıktaki bazı dokularda mobil, kolay serbest hale geçebilir fraksiyonların ve suda çözülmüş halde bulunan miktarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Arseniğin balık dokularındaki konsantrasyonları ile askıda katı maddeye tutunmuş fraksiyonları arasındaki ilişkileri önemli bulunmuştur. Arseniğin balıktaki bazı dokulardaki konsantrasyonlarının suda çözülmüş halde bulunan konsantrasyonundan yüksek olduğu görülmüştür. Arseniğin askıda katı maddeden suya ve balık bünyesine geçtiği düşünülmüştür. Manganın balıktaki konsantrasyonları ile suda çözülmüş halde bulunan formları arasındaki ilişkileri önemli bulunmuştur ve bu nedenle de balıktaki konsantrasyonların suda

Çözünmüş halde bulunan konsantrasyondan yüksek bulunmuştur. Balıktaki manganın sediment ve askıda katı maddedeki konsantrasyonları ile ilişkileri önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.10.5. *E. lucius* dokularındaki konsantrasyonlar ile ÇH, AKTH, sediment fraksiyonları ve ST konsantrasyonları arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon değerleri

| | Fe (F1) | B (F2) | Zn (F2) | Cd (F3) | Cd (F4) | Ni (F4) | Fe (F4) | Zn (F4) | Ni (F5) | Cu (ÇH) | Mn (ÇH) | Zn (ÇH) | As (AKMT) | Cd (AKMT) | Fe (AKMT) | Zn (AKMT) | Ni (STK) |
|-------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Fe EC | 0,598 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B ES | | 0,647 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zn EC | | | 0,915 | | | | | | | | | | | | | | |
| Cd EK | | | | -0,614 | -0,729 | | | | | | | | | | | | |
| Cd ES | | | | | -0,584 | | | | | | | | | | | | |
| Ni EK | | | | | | 0,602 | | | | | | | | | | | |
| Ni EC | | | | | | 0,644 | | | | | | | | | | | |
| Ni ES | | | | | | | | 0,681 | | | | | | | | | 0,669 |
| Fe EC | | | | | | | 0,718 | | | | | | | | | | |
| Zn EC | | | | | | | | 0,704 | | | | | | | | | |
| Cu EK | | | | | | | | | | 0,759 | | | | | | | |
| Cu EC | | | | | | | | | | -0,69 | | | | | | | |
| Mn ES | | | | | | | | | | | -0,631 | | | | | | |
| Zn EK | | | | | | | | | | | | 0,748 | | | | | |
| As EK | | | | | | | | | | | | | 0,678 | | | | |
| As ES | | | | | | | | | | | | | 0,605 | | | | |
| Cd EC | | | | | | | | | | | | | | 0,805 | | | |
| Fe EC | | | | | | | | | | | | | | | 0,699 | | |
| Zn EK | | | | | | | | | | | | | | | | 0,609 | |

*EC: *E. lucius* ciğer dokusu

*ES: *E. lucius* solungaç dokusu

*EK: *E. lucius* kas dokusu

*ÇH: Çözülmüş halde bulunan

*AKMT: Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan

*STK: Sedimentteki toplam konsantrasyon

4. 10. 3. Transfer Faktörlerinin Değerlendirilmesi

Su, su bitkileri ve sediment gibi göl ekosisteminden balıklara geçen ağır metallerin balıktaki birikimleri transfer faktörü (4.7) ile tanımlanabilmektedir (Rashed 2001).

$$tf = \frac{\text{Balıkta Bulunan Kirlenici Konsantrasyonu}}{\text{Göl Ekosistemindeki Kirlenici Konsantrasyonu}} \quad (4.7)$$

Bu katsayı, ortamdaki ağır metallerin alınabilirliğini ve balıkların bünyelerinde birikme oranlarını göstermektedir. Transfer faktörü 1'den büyük olduğu zaman biyoakümülyasyon olduğu anlaşılmaktadır.

Uluabat Gölü'nde incelenen *E. lucius* ve *C. carpio* türlerindeki ağır metallerin suda çözünmüş haldeki, askıda katı maddeye tutunmuş haldeki, sedimentteki ve sedimentteki farklı fraksiyonlarındaki ağır metallerin transfer faktörleri hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlara göre transfer faktörleri karşılaştırıldığında suda çözünmüş halde bulunan metallerin en yüksek, sedimentteki toplam metallerin ise en düşük değerde bulunmuştur. Uluabat Gölü ekosisteminden kaynaklanan ağır metal ve iz elementlerin (suda çözünmüş, askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metaller, sedimentteki toplam metal konsantrasyonları ve sedimentte bulunan metallerin fraksiyonları) *Esox lucius* ve *Cyprinus carpio* türlerinin bünyelerinde meydana getirdikleri biyoakümülyasyonları temsil eden transfer faktörleri ile çizelge 4.10.6'da gösterilmiştir.

Suda çözünmüş halde bulunan metal konsantrasyonları ile *Esox lucius*'taki konsantrasyonlar arasında hesaplanan transfer faktörleri incelendiğinde, B elementi dışında diğer elementlerin tümü 1'den yüksek bulunmuştur. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metaller ile *Esox lucius*'taki konsantrasyonlar arasındaki transfer faktörleri incelendiğinde Zn elementi için hesaplanan transfer faktörü 1'den yüksek, diğer elementler ise 1'den düşük bulunmuştur. Sedimentteki toplam konsantrasyonlar ile *Esox lucius*'taki konsantrasyonlar arasında metallerin tümü için 1'den küçük bulunmuştur.

Çizelge 4.10.6. Uluabat Gölü ekosisteminden kaynaklanan ağır metal ve iz elementlerin *Esox lucius* ve *Cyprinus carpio* türlerinin bünyelerinde meydana getirdikleri biyoakümülyasyonları temsil eden transfer faktörleri

| | Tür | Elementler | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|------------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|-------|-------|
| | | As | Cr | Cd | Pb | Cu | Ni | B | Fe | Mn | Zn |
| Su (Ç.H.)/Balık | <i>E. lucius</i> | 4,08 | 9,54 | 18,98 | 35 | 128,9 | 57,62 | 0,40 | 108,60 | 209,7 | 327,4 |
| | <i>C. carpio</i> | 4,20 | 8,55 | 44,96 | 48,34 | 105,1 | 35,32 | 0,51 | 120,29 | 174,1 | 872,0 |
| Su (AKMTH) /Balık | <i>E. lucius</i> | 0,078 | 0,060 | 0,158 | 0,163 | 0,307 | 0,094 | 0,022 | 0,027 | 0,051 | 1,94 |
| | <i>C. carpio</i> | 0,080 | 0,054 | 0,374 | 0,225 | 0,251 | 0,058 | 0,027 | 0,030 | 0,042 | 5,18 |
| Sediment /Balık | <i>E. lucius</i> | 0,0080 | 0,00614 | 0,0365 | 0,0372 | 0,0542 | 0,00796 | 0,00610 | 0,0020 | 0,003 | 0,395 |
| | <i>C. carpio</i> | 0,0083 | 0,0055 | 0,0866 | 0,0514 | 0,0442 | 0,0049 | 0,0076 | 0,0022 | 0,002 | 1,052 |
| F1/Balık | <i>E. Lucius</i> | 0,454 | 4,22 | 2,75 | 4,15 | 1,28 | 1,35 | 0,094 | 20,01 | 0,158 | 145,4 |
| | <i>C. Carpio</i> | 0,467 | 3,78 | 6,51 | 5,73 | 1,04 | 0,825 | 0,118 | 22,16 | 0,131 | 387,3 |
| F2/Balık | <i>E. lucius</i> | 0,318 | 2,06 | 1,31 | 0,72 | 2,15 | 0,422 | 0,225 | 16,75 | 0,024 | 40,16 |
| | <i>C. carpio</i> | 0,327 | 1,85 | 3,10 | 1,00 | 1,76 | 0,259 | 0,282 | 18,55 | 0,020 | 106,9 |
| F3/Balık | <i>E. lucius</i> | 0,064 | 0,685 | 1,070 | 0,323 | 2,272 | 0,612 | 0,362 | 0,193 | 0,013 | 34,77 |
| | <i>C. carpio</i> | 0,066 | 0,613 | 2,53 | 0,446 | 1,852 | 0,375 | 0,453 | 0,214 | 0,010 | 92,60 |
| F4/Balık | <i>E. lucius</i> | 0,037 | 0,302 | 0,882 | 0,153 | 0,211 | 0,120 | 0,171 | 0,047 | 0,033 | 9,85 |
| | <i>C. carpio</i> | 0,038 | 0,271 | 0,882 | 0,211 | 0,172 | 0,074 | 0,214 | 0,052 | 0,028 | 26,22 |
| F5/Balık | <i>E. lucius</i> | 0,0127 | 0,0064 | 0,041 | 0,064 | 0,083 | 0,009 | 0,007 | 0,0021 | 0,006 | 0,412 |
| | <i>C. carpio</i> | 0,0131 | 0,0057 | 0,098 | 0,089 | 0,068 | 0,005 | 0,009 | 0,0023 | 0,006 | 1,098 |

*Ç.H : Suda çözülmüş halde bulunan metaller

*AKMTH: Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metaller

*F1: Sedimentteki metallerin mobil fraksiyonu

*F2: Sedimentteki metallerin kolay serbest hale geçebilen fraksiyonu

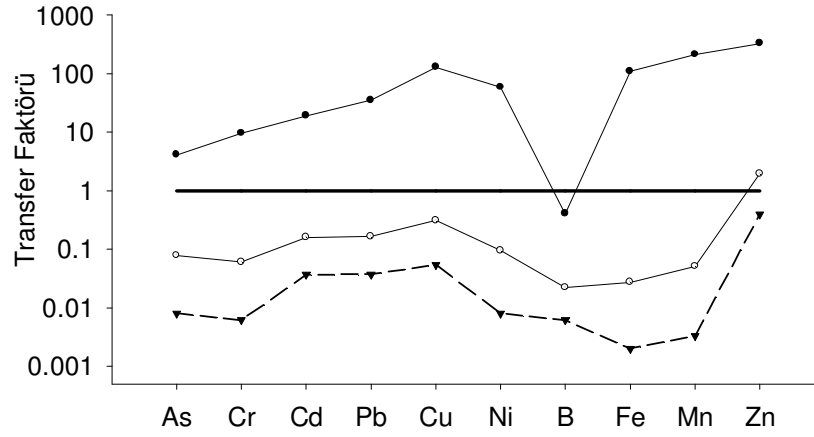
*F3: Sedimentteki metallerin Mn-oksitlere bağlı fraksiyonu

*F4: Sedimentteki metallerin organik maddelere bağlı fraksiyonu

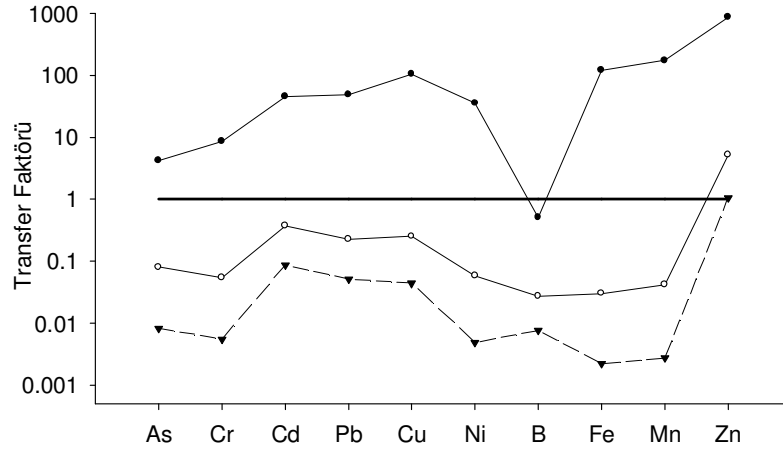
*F5: Sedimentteki metallerin kalıntı halindeki fraksiyonu

Cyprinus carpio ile suda çözülmüş halde bulunan metal konsantrasyonları arasındaki transfer faktörleri incelendiğinde *Esox lucius*'a benzer olarak B elementi dışındaki metallerin tümü 1'den büyük bulunmuştur. Askıda katı maddeye tutunmuş

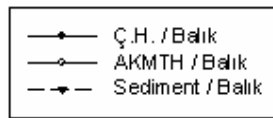
halde bulunan ve sedimentteki toplam metal konsantrasyonları ile *Esox luciustaki* konsantrasyonlar arasındaki tf değerlerine göre Zn 1'in üzerinde, diğer metaller altında bulunmuşlardır.



(A)



(B)



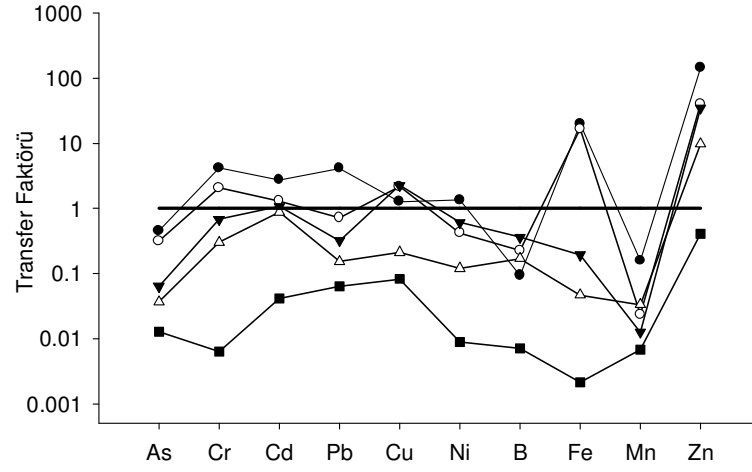
Şekil 4.10.1. *Esox lucius* (A) ve *Cyprinus carpio* (B) için hesaplanan suda çözülmüş halde, askıda katı maddeye tutunmuş halde ve sedimentteki toplam ağır metal ve iz element miktarlarının transfer faktörleri

Her iki balıkta hesaplanan transfer faktörleri değerlendirildiğinde, suda çözülmüş halde bulunan B elementinin biyolojik birikime yol açmadığı, ancak suda çözünen diğer Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, As ve Cd elementlerinin biyolojik birikime neden olduğu anlaşılmıştır. Her iki türün çözülmüş halde bulunan metallerine ait transfer faktörleri en yüksek çinkoda, en düşük borda bulunmuştur. Büyüklük sıralamaları *Esox lucius*'ta $Zn > Mn > Cu > Fe > Ni > Pb > Cd > Cr > As > B$, *Cyprinus carpio*'da $Zn > Mn > Fe > Cu > Pb > Cd > Ni > Cr > As > B$ şeklindedir. Biyolojik birikime askıda katı maddeye tutunmuş halde ve sedimentteki toplam konsantrasyonda bulunan metallere yalnızca çinkonun neden olduğu, Fe, Mn, B, Cu, Pb, Ni, Cr, As ve Cd elementlerinin etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metallere ait transfer faktörleri çözülmüş metallere benzer olarak en yüksek çinkoda, en düşük borda bulunmuştur. *Esox lucius* ve *Cyprinus carpio*'nun askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metallere ait transfer faktörlerinin büyüklük sıralaması sırasıyla $Zn > Cu > Pb > Cd > Ni > As > Cr > Mn > Fe > B$ ve $Zn > Cd > Cu > Pb > As > Ni > Cr > Mn > Fe > B$ olarak belirlenmiştir. Sedimentin toplam konsantrasyonlarına ait transfer katsayılarının en yüksek ve en düşük değerleri sırasıyla her iki türde de çinko ve demirde bulunmuştur. Büyüklük sıralamaları *Esox lucius*'ta $Zn > Cu > Pb > Cd > As > Ni > Cr > B > Mn > Fe$, *Cyprinus carpio*'da $Zn > Cd > Pb > Cu > As > B > Cr > Ni > Mn > Fe$ şeklindedir. *Esox lucius* (A) ve *Cyprinus carpio* (B) için hesaplanan suda çözülmüş halde, askıda katı maddeye tutunmuş halde ve sedimentteki toplam miktarlarının transfer faktörleri şekil 4.10.1'de gösterilmiştir.

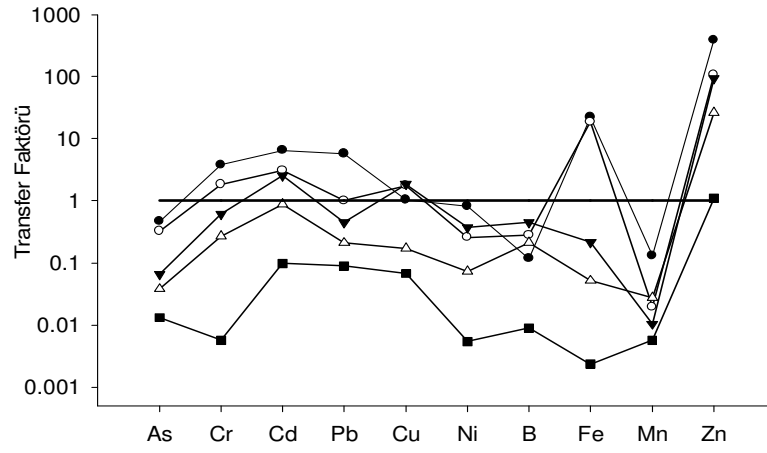
Sedimentte mobil fraksiyonları halinde bulunan metal konsantrasyonları ile *Esox lucius*'taki konsantrasyonlar arasında hesaplanan transfer faktörleri incelendiğinde Cr, Cd, Pb, Cu, Ni, Fe ve Zn elementlerinin 1'den yüksek, As, B ve Mn elementlerinin 1'den düşük olduğu belirlenmiştir. Metallerin sedimentte kolay serbest hale geçebilen fraksiyonlarının konsantrasyonları ile *Esox lucius*'taki konsantrasyonlar arasındaki transfer faktörleri incelendiğinde Cr, Cd, Cu, Fe ve Zn'nin 1'den yüksek, As, Pb, Ni, B ve Mn 1'den düşük bulunmuştur. Sedimentteki diğer fraksiyonlara göre daha kolay suya geçebilen mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlar arasındaki farklılık biyolojik birikim açısından önemlidir. Özellikle Pb ve Ni mobil fraksiyonların transfer faktöründe 1'den yüksek iken, kolay serbest hale geçebilen fraksiyonlarında 1'den düşük bulunmuştur. Mobil fraksiyonların daha fazla metalde biyolojik birikime neden

olduğu belirlenmiştir. Sedimentte Mn-oksitlere bağlı fraksiyonları halinde bulunan metal konsantrasyonları ile *Esox lucius*'taki konsantrasyonlar arasındaki transfer faktörleri incelendiğinde, Cd, Cu ve Zn'nin 1'den yüksek, As, Fe, Mn, Pb, Ni, B ve Cr'nin 1'den düşük olduğu belirlenmiştir. Metallerin Mn-oksitlere bağlı fraksiyonlarının transfer faktörlerinin, mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarınkine göre daha az metalde 1'den yüksek değer görülmüştür. Organik maddelere bağlı fraksiyonların konsantrasyonları ile *Esox lucius*'taki konsantrasyonlar arasındaki transfer faktörleri incelendiğinde, sadece Zn'nin 1'den yüksek olduğu, As, Cr, Cd, Pb, Cu, Ni, B, Fe ve Mn'nin 1'den düşük olduğu belirlenmiştir. Son olarak kalıntı halinde bulunan fraksiyonların transfer faktörleri incelendiğinde, tüm değerlerin 1'in altında olduğu belirlenmiştir. Her fraksiyonun biyolojik birikime olan etkisi düşünüldüğünde büyüklük sıralaması $F1 > F2 > F3 > F4 > F5$ olarak bulunmuştur.

Cyprinus carpio'da bulunan metal konsantrasyonları ile sedimentteki metallerin mobil fraksiyonlarının konsantrasyonları arasındaki transfer faktörleri hesaplandığında, Cr, Cd, Pb, Cu, Fe ve Zn'nin 1'den yüksek, As, Ni, B ve Mn'nin 1'den düşük olduğu belirlenmiştir. Kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlar ile *Cyprinus carpio* arasındaki transfer faktörleri incelendiğinde, Cr, Cd, Pb, Cu, Fe ve Zn'nin 1'den yüksek olduğu As, Ni, B ve Mn'nin 1'den düşük olduğu görülmüştür. Metallerin mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının her ikisinin transfer faktörlerinin aynı metaller için 1'den yüksek olduğu görülmüştür. Mn-oksitlere bağlı fraksiyonlar halindeki metallerin transfer faktörleri Cd, Cu ve Zn'de 1'den yüksek, As, Cr, Pb, Ni, B, Fe ve Mn'de 1'den düşük bulunmuştur. Metallerin organik maddelere bağlı fraksiyonlarının transfer faktörlerine göre Zn'nin 1'den yüksek olduğu ve As, Cr, Cd, Pb, Cu, Ni, B, Fe ve Mn'nin 1'den düşük olduğu belirlenmiştir. Kalıntı halinde bulunan fraksiyonlardaki metallerin transfer faktörlerine göre Zn'nin 1'den az bir fark ile büyük olduğu belirlenmiştir. Transfer faktörlerine göre her fraksiyonun biyolojik birikime olan etkisi düşünüldüğünde büyüklük sıralaması $F1 > F2 > F3 > F4 > F5$ olarak belirlenmiştir. Şekil 4.10.2'de *Esox lucius* (A) ve *Cyprinus carpio* (B) için hesaplanan sedimentteki ağır metal ve iz element fraksiyonlarının transfer faktörleri gösterilmiştir.



(A)



(B)



Şekil 4.10.2. *Esox lucius* (A) ve *Cyprinus carpio* (B) için hesaplanan sedimentteki ağır metal ve iz element fraksiyonlarının transfer faktörleri

Her iki balık türünün sedimentteki mobil fraksiyonlarının transfer faktörleri birlikte incelendiğinde, biyolojik birikime Cr, Cd, Pb, Cu, Fe ve Zn elementlerinin neden olduğu, As, B ve Mn'nin neden olmadığı belirlenmiştir. *E. lucius*'ta 1'den büyük olan Ni, *C. carpio*'da 1'den düşük bulunmuştur. Her iki balıkta transfer faktörlerinin en yüksek ve en düşük değerleri sırasıyla Zn ve B elementlerinde bulunmuştur. Büyüklük sıralamaları *Esox lucius*'ta $Zn > Fe > Cr > Pb > Cd > Ni > Cu > As > Mn > B$, *C. carpio*'da $Zn > Fe > Cd > Pb > Cr > Cu > Ni > As > Mn > B$ şeklinde belirlenmiştir. Kolay serbest hale geçebilir fraksiyonların transfer faktörleri karşılaştırıldığında biyolojik birikime her iki balıkta da Cr, Cd, Cu, Fe, Zn elementlerinin neden olduğu, As, Ni, B ve Mn'nin neden olmadığı belirlenmiştir. *Cyprinus carpio*'da Pb'nin de birikim yaptığı görülmüştür. Kolay serbest hale geçebilir fraksiyonların transfer faktörlerinin *Esox lucius* ve *Cyprinus carpio*'daki büyüklük sıralamaları sırasıyla $Zn > Fe > Cu > Cr > Cd > Pb > Ni > As > Mn > B$ ve $Zn > Fe > Cd > Cr > Cu > Pb > As > B > Ni > Mn$ şeklindedir. Her iki balıkta da Zn'nin en yüksek değerde olduğu bulunmuştur. Mn-oksitlere bağlı fraksiyonların transfer faktörleri değerlendirildiğinde, her iki balıkta biyolojik birikime Cd, Cu ve Zn'nin neden olduğu, As, Cr, Pb, Ni, B, Fe ve Mn'nin olmadığı belirlenmiştir. Mn-oksitlere bağlı metallerin transfer faktörleri her iki balıkta da en yüksek ve en düşük Zn ve Mn'de bulunmuştur. Büyüklük sıralamaları *Esox lucius* ve *Cyprinus carpio* için $Zn > Cu > Cd > Cr > Ni > B > Pb > Fe > As > Mn$ ve $Zn > Cd > Cu > Cr > B > Pb > Ni > Fe > As > Mn$ olarak belirlenmiştir. Organik maddelere bağlı fraksiyonların transfer faktörlerine göre iki balıkta da Zn'nun biyolojik birikime neden olduğu, incelenen diğer metallerin biyolojik birikime etkilerinin olmadığı belirlenmiştir. Büyüklük sıralamaları *Esox lucius* ve *Cyprinus carpio* için $Zn > Cd > Cr > Cu > B > Pb > Ni > Fe > As > Mn$ ve $Zn > Cd > Cr > B > Pb > Cu > Ni > Fe > As > Mn$ olarak belirlenmiştir. Her iki balıkta da Mn en düşük değerde belirlenmiştir.

Kalıntı halindeki fraksiyonların biyolojik birikime neden olmadıkları, ancak *Cyprinus carpio*'da Zn'nin transfer faktörü sınır değerde belirlenmiştir. Kalıntı halindeki metallerin transfer faktörlerinin büyüklük sıralamaları *Esox lucius* ve *Cyprinus carpio* için $Zn > Cu > Pb > Cd > As > Ni > B > Mn > Cr > Fe$ ve $Zn > Cd > Pb > Cu > As > B > Mn > Cr > Ni > Fe$ olarak belirlenmiştir. Çinkonun sedimentteki tüm fraksiyonlarının transfer faktörlerinin büyüklük sıralamasında maksimum değerde olduğu ve her fraksiyonun biyolojik birikime olan etkisi düşünüldüğünde büyüklük

sıralaması $F1 > F2 > F3 > F4 > F5$ olarak belirlenmiştir. Ağır metallerin ve iz elementlerin mobil halde bulunan fraksiyonlarının diğerleri arasında en büyük, kalıntı halindeki fraksiyonların en küçük etkisi olduğu belirlenmiştir.

4.10.4. Ağır Metal ve İz elementlerin Suda ve Sedimentte Bulunan Fraksiyonlarının Balık Türlerinin Farklı Dokularındaki Birikime Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi

Uluabat Gölü su ve sediment kalitesi endüstriyel ve tarımsal aktiviteler sonucunda kötüleşmektedir. Bu durum, Uluabat Gölü çevresinde yaşayan insanların bünyelerinde ağır metal birikmiş olan balıkları tüketmeleri neticesinde toksik etkiye maruz kalmalarına neden olmaktadır. Sedimentte bulunan ağır metallerin toplam konsantrasyonları oldukça yüksek olmasına rağmen, biyolojik birikime neden olabilecek olan fraksiyonlarının miktarları (mobil, kolay serbest hale geçebilir, Mn-oksitlere bağlı, organik maddeler bağlı fraksiyonları) daha düşüktür. Ancak kirlilik devam ettiği sürece bu konsantrasyonlar artacaktır.

Fe, Mn, Ni ve B elementleri toplam konsantrasyonları kadar, değişebilir fraksiyonları (mobil ve kolay serbest hale geçebilir) ve biyolojik birikime neden olabilecek kalıntı halinde olmayan fraksiyonları da yüksek seviyede belirlenmiştir. Fe, Ni ve B'nin balık dokularındaki konsantrasyonları ile sedimentteki metal fraksiyonlarındaki konsantrasyonları arasındaki ilişkileri önemli bulunmuştur. Balıktaki Fe'nin F1, F2, F3 ve F4 ve AKMTH bulunan ile olan ilişkileri önemli bulunmuştur. Demirin sedimentteki en yüksek konsantrasyonları askıda katı maddenin en yüksek olduğu 2. istasyonda bulunmuştur. Demirin suda çözülmüş haldeki, F1 ve F2 için belirlenen transfer faktörlerine göre biyolojik birikime neden olduğu görülmüştür. Balıktaki Demirin diğer fraksiyonlarla ve AKMTH bulunan konsantrasyonları ile ilişkisi bulunmasına rağmen bu fraksiyonların ve AKMTH'deki konsantrasyonlarının balığa göre yüksek olması tf değerlerinin 1'den küçük olmasına neden olmuş ve dolayısıyla biyolojik birikim yapmadıklarını göstermiştir. Balıktaki metallerin konsantrasyon seviyeleri bor elementi hariç suda çözülmüş halde bulunan konsantrasyonlarından yüksek bulunmuştur. Balıklardaki B'nin F2 ve çözülmüş haldeki konsantrasyonları ile olan ilişkileri önemli bulunmuştur ancak borun suda ve sedimentteki hiç bir formunun tf değerine göre biyolojik birikime neden olmadığı bulunmuştur. Çünkü balıktaki konsantrasyonları tüm ekosistemin değerlerine göre

düşük bulunmuştur. Suda çözülmüş halde bulunan metallerin tf değerlerine göre sadece borun biyolojik birikime neden olmadığı belirlenmiştir. Ni'nin F4, F5 ve sedimentteki toplam konsantrasyonlar ile ilişkileri önemli bulunmuştur. Nikel ve kromun karasızlığının daha az ve daha stabil olduğu bilinmektedir (Sekhar ve ark. 2003). Kalıntı halindeki metallerin toplam miktara göre yüzdeleri alındığında Cr, Zn, Fe, Ni'nin oranlarının daha fazla olduğu görülmektedir. Nikelin organik maddeye bağlı fraksiyonu ile olan ilişkilerinin önemli olmasına rağmen, organik maddeye bağlı fraksiyonların tf değerlerine göre 1'den düşük yani biyolojik birikime neden olmadığı bulunmuştur. Çözülmüş halde bulunan nikelin tf değerlerine göre biyolojik birikim yaptığı, suda ve sedimentteki diğer formlarının tf değerlerine göre biyolojik birikime neden olmadığı belirlenmiştir. Bu durumun nedeninin nikelin diğer fraksiyonlardaki miktarı oransal olarak çok yüksek olmasa da konsantrasyonlarının yüksek olmasının suya geçen miktarının da yüksek olmasını sağladığı düşünülmüştür. Balık dokularındaki kromun metallerin suda ve sedimentte bulunan hiçbir formu ile olan ilişkisi önemli bulunmamıştır ve yalnızca sudaki konsantrasyonlardan yüksek bulunmuştur. Suda çözülmüş, F1 ve F2'nin transfer faktörlerine göre 1'den yüksek, diğer formların tf değerlerine göre 1'den düşük bulunduğu ve biyolojik birikime neden olduğu belirlenmiştir. Kalıntı halinde bulunan miktarının yüksek olması nedeniyle suda ve sedimentteki diğer formların biyolojik etkisi bulunmamıştır. Demirin askıda katı maddedeki konsantrasyonları ile olan ilişkileri önemli bulunmuştur. Buna bağlı olarak demirin sedimentten ve askıda katı maddeden, borun da sedimentten kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlar nedeni ile suya ve balığa geçtiği düşünülmüştür. Balıktaki bu birikime rağmen Fe, Ni ve Cr'nin balık için verilen standart değerlerin üst sınırının altında olduğu belirlenmiştir.

Mn, Pb, As ve Cu'nun kalıntı halinde olmayan fraksiyonlarının toplam konsantrasyona göre oranı yüksek çıkmıştır. Özellikle manganın mangan-oksitlere bağlı ve değişebilir fraksiyonların (F1+F2) toplam yüzde oranlarına göre maksimum değeri alan metal olduğu görülmüştür. Ancak bununla beraber balıktaki konsantrasyonların yalnızca çözülmüş haldeki konsantrasyonları ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle suya çok kolay geçtiği ve balıkta birikime yol açtığı tahmin edilmektedir. Çözülmüş halde bulunan metallerin, tf değerlerine göre biyolojik birikime neden olduğu görülmüştür. Balıktaki konsantrasyonlarının diğer fraksiyonlardan ve

AKMTH'deki konsantrasyonlarından düşük olması nedeni ile biyolojik birikime neden olmadığı belirlenmiştir. Balıktaki konsantrasyonlar sedimente ve askıda katı maddedeki miktara göre düşük seviyede olmasına rağmen her iki balığın solungaç dokularında sınır değerleri (3,52 mg/kg) aşmış olduğu ve sınır değerleri aşan tek metal olduğu bulunmuştur (Anonim 2003). Sedimentteki toplam konsantrasyon seviyeleri düşük olmasına rağmen, As ve Cd'nin organiklere ve Mn-oksitlere bağlı fraksiyonlarının yüzdeleri diğerlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Bu nedenden dolayı As ve Cd organik madde yüzdesinin en yüksek olduğu 8. istasyonda en yüksek konsantrasyonlarda bulunmuşlardır. Özellikle kadmiyumun F3, F4 ve AKMTH'deki konsantrasyonları ile As'nin de Cd'ye benzer olarak AKMTH'deki konsantrasyonlar ile ilişkileri önemli bulunmuştur. Kadmiyum bazı araştırmacılar tarafından daha çok suya geçebilen fraksiyonlarla ilişkilendirilmiştir. As ve Cd'nin askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan konsantrasyonları ile balıktaki konsantrasyonlarının ilişkili olması sebebiyle, As ve Cd'nin sedimentten ve askıda katı maddeden suya geçip balıklarda birikime yol açtığı düşünülmüştür. Bunun nedeninin askıda katı maddede bulunan organik madde ile bağ kurabilmesinin olduğu düşünülmüştür. Bu ilişkilere rağmen balıktaki konsantrasyonların askıda katı maddeden düşük olması nedeni ile AKMTH bulunan As ve Cd'nin tf değerleri 1'den düşük bulunmuş olup, ÇH'nin tf değerlerine göre 1'den yüksek bulunmuş olup biyolojik birikime neden olduğu anlaşılmıştır. Cd'nin sedimentteki toplam konsantrasyonlarının diğer metallere göre çok düşük olmasına rağmen F1, F2 ve F3'un tf değerleri 1'den yüksek olup birikime neden olabileceği belirlenmiştir. Cd ve As konsantrasyonları her iki balık türün tüm dokularında üst limitlerin altında bulunmuştur (Nauen 1983). Kurşun ve bakırın organiklere bağlı fraksiyon yüzdelerine göre en yüksek seviyelerde buldukları belirlenmiştir ve yapılan çalışmalarda da Cu, Zn ve Pb hümitik maddelerle bağ kurmakta oldukları bilinmektedir (Sekhar ve ark. 2003). Ancak diğer metallerin 4. fraksiyondaki konsantrasyon seviyelerine göre karşılaştırıldığında daha düşüktürler. Bu nedenle F4'teki değerleri ile balık dokularındaki ilişkiler önemli bulunamamıştır. Balıktaki bakırın sudaki konsantrasyonları ile olan ilişkileri önemli olarak belirlenmiştir. Bakırın suda çözülmüş, sedimentte mobil, kolay serbest hale geçebilir ve Mn-oksitlere bağlı fraksiyonlarına ait transfer faktörleri 1'den yüksek bulunmuştur ve biyolojik birikime neden olabilecekleri anlaşılmıştır. Balık dokularındaki bakırın suda çözülmüş

formundan, mobil, kolay serbest hale geçebilir ve Mn-oksitlere bağlı fraksiyonlarının konsantrasyonlarından yüksek bulunmuştur. Cu'nun her iki balıktaki tüm dokularda standart değerlerin minimum seviyesinin de altında ve Pb konsantrasyonları her iki türün tüm dokularında üst limitlerin altında bulunmuştur (Nauen 1983). Kurşunun kalıntı halindeki ve askıda katı maddedeki konsantrasyonları ile balıktaki konsantrasyonları arasındaki ilişkileri önemli bulunmuştur. Pb'nin daha kararlı ve % 90'dan fazlası kalıntı halinde bilinmektedir (Sekhar ve ark. 2003). Sedimentteki Pb ve Cu askıda katı maddenin en yüksek olduğu 2. istasyonda en yüksek konsantrasyonda bulunmuştur. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metaller organik maddelere adsorbe olmaktadır. Kurşunun suda çözülmüş haldeki, sedimentteki mobil fraksiyonlarının transfer faktörlerinin 1'den büyük olduğu ve biyolojik birikime neden olabileceği belirlenmiştir.

Zn, sedimentteki toplam konsantrasyon sıralamasına göre tam orta değerde bulunmaktadır ve askıda katı maddelere tutunmuş metaller arasında da 4. sırada bulunmaktadır. Kalıntı halindeki fraksiyonlarında kromdan sonra en büyük konsantrasyonda olan metaldir. Çinkonun F5 kalıntı halindeki, F4-organik maddelere bağlı, F1, F2 fraksiyonları (Değişebilir fraksiyonlar), sedimentteki toplam konsantrasyonlar, askıda katı maddeye tutunmuş halde ve suda çözülmüş halde bulunan konsantrasyonları ile ilişkileri önemli bulunmuştur. Çinkonun suda çözülmüş haldeki, askıda katı maddedeki, sedimentteki mobil, kolay serbest hale geçebilir, Mn-oksitlere bağlı, organiklere bağlı fraksiyonların transfer faktörlerinin 1'den yüksek ve biyolojik birikime neden olduğu belirlenmiştir. Sedimentteki toplam konsantrasyonlarının ve kalıntı halindeki fraksiyonun da özellikle *Cyprinus Carpio*'da biyolojik birikim yaptığı anlaşılmıştır. Çinkonun organik maddeler ile bağ kurduğu bilinmektedir. Bu nedenden dolayı çinkonun sedimentten suya geçen ve askıda katı maddenin direkt alınması ya da çözünerek suya geçmesi sonucunda balıkların bünyelerinde biriktiği düşünülmüştür. Sedimentteki çinkonun askıda katı maddenin yüksek bir değer aldığı 7. istasyonda en yüksek konsantrasyonda olduğu belirlenmiştir. Ancak balıktaki konsantrasyon seviyesi üst sınır değerinin altında bulunmuştur.

Sonuç olarak, suda çözülmüş, askıda katı maddeye bağlı, sedimentteki metallerin balıklarda birikim yapması neticesinde, Uluabat Gölü'ndeki balıkların kas, solungaç ve ciğer dokularındaki konsantrasyonlarının FAO'ya göre uygun ancak diğer

uluslararası standartların üstünde olduğu, özelliklede gıda olarak tüketilmesinin sınırlı olması gerektiği belirlenmiştir.

5. SONUÇ

Su kalitesinin belirlenmesi insanların, diğer canlıların sağlıklarının ve ekolojik dengenin korunması açısından çok önemlidir. İnsan aktiviteleri sonucunda suda meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimler su kaynaklarını kullanılamaz hale getirmektedir. Uluabat Gölü endüstriyel ve tarımsal aktiviteler nedeniyle kirlenmeye maruz bırakılmıştır. Uluabat Gölü su ve sediment kalitesinin mevcut durumunu belirlemek, özellikle ağır metal ve bazı iz elementlerin çeşitli formlarının konsantrasyonları ve hareketleri konusunda araştırma yapmak ve biyolojik birikime olan etkilerinin değerlendirilmesi bu çalışmanın başlıca amacını oluşturmuştur. Elde edilen bilgiler doğrultusunda suda ve sedimentte bulunan bazı elementlerden riskli seviyede olanları, göldeki hareketleri ve dağılımları CBS ortamında belirlenerek, Uluabat Gölü'nün kullanım amaçları tanımlanmıştır. Suda (çözünmüş ve askıda katı maddelere tutunmuş halde) ve sedimentte (toplam konsantrasyonları, kalıntı, organik maddelere bağlı, Mn-oksitlere bağlı, kolay serbest hale geçebilir ve mobil halde bulunan fraksiyonları) belirlenmiş olan ağır metal ve bazı iz elementlerin biyolojik birikim yapabilme durumları tartışılarak, *Esox lucius* (Turna) ve *Cyprinus carpio* (Sazan) türlerinin farklı dokularında bulunan konsantrasyonları belirlenmiştir. Ticari değeri olan bu türlerin tüketilmesi, ulusal ve uluslararası toksik etki sınır değerleri ile değerlendirilmiştir. Ayrıca Uluabat Gölü'nde suda ve sedimentteki nütrientler ve diğer kirlilik parametrelerinin konsantrasyonları belirlenerek, gölün trofik seviyesi belirlenmiştir. Noktasal kirlilik kaynaklarının gölün trofik seviyesine, ağır metal ve iz element konsantrasyonlarına olan etkileri değerlendirilerek birbirleri arasındaki ilişkiler belirlenmiştir.

Uluabat Gölü'nde sahada ve laboratuvarında yapılan çalışmalarla elde edilen ağır metaller, bazı iz elementler ve diğer su kalitesi parametrelerine göre verilerin tümü Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)'inde verilen Kıtaçi Yüzeysel Suların Kalitelerine Göre Sınıflandırılması ve Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri'ne göre değerlendirilmiş gölün 4. sınıf su kalitesinde olduğu, SKKY Teknik Usüller Tebliği'nde verilmiş olan "Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri" Tablosu'na (Anonim 1991) göre sulama suyu açısından 4. sınıf, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Su Ürünleri Yönetmeliği (SÜY), "İç

Sulara ve Denizlerdeki İstihsal Yerlerine Dökülmesi Yasak Olan Zararlı Maddeler ve Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerler Listesi, Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerler” (Anonim 2005a) tablosuna göre sınır değerlerin üstünde ve TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular kriterlerinin (Anonim 2005b) içme ve kullanma suyu sınır değerlerini aşmış olduğu belirlenmiştir. 250 µg/l değerinin üstünde (pH>9), balık ve omurgasızlar için toksik etki gösteren NH₄-N, Uluabat Gölü’nde, yıllık ortalama konsantrasyon değeri 222 µg/l olarak bulunmuş olup toksik sınır değerlere yaklaşmıştır. Suda çözülmüş halde bulunan ve sedimentteki toplam metallerin konsantrasyon seviyeleri uluslararası standartlar ile karşılaştırıldığında bazı metallerin toksik seviyeyi aşmış olduğu tespit edilmiştir. WHO sınır değerlerine göre As, Ni, B, Pb ve Cd’nin, EPA sınır değerlerine göre Pb, Cu ve Cr’nin kronik etki seviyesinin, Cd ve Zn’nin akut ve kronik etki seviyesinin üstünde olduğu belirlenmiştir. Sedimentteki toplam konsantrasyonlar değerlendirildiğinde Cr ve Ni’nin şiddetli etki seviyesinin, Cd’nin olası etki seviyesinin üstünde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, çalışılan diğer su kaynaklarındaki konsantrasyon değerleri ile karşılaştırıldığında çözülmüş metallerde Fe, Zn, Cr, Ni, B ve Pb, sedimentte Cr, Ni, Cd ve askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan metallerde Cd’nin daha yüksek seviyelerde oldukları belirlenmiştir.

Su ve sediment kalitesi parametrelerinin birbirleriyle olan ilişkilerini anlayabilmek amacıyla, yapılan korelasyon analizi sonucunda, ötrofikasyon parametreleri olan TN, NH₄-N, NO₃-N, TP, PO₄-P, klorofil-a, seki derinliği, çözülmüş oksijen, pH ve sıcaklığın birbirleri arasındaki ilişkiler önemli bulunmuştur. Fotosentetik reaksiyonlar sonucunda artan alkalitenin klorofil-a ile olan ilişkisi, CaCO₃’ün çözünmesi ile serbest kalan Ca⁺²’nin, CaPO₄ olarak çökelen PO₄-P ve sertlik arasında, gölde organik kirliliğe de neden olan AKM ile giren azot ve fosfor parametreleri arasında, sıcaklık ve çözülmüş oksijenin tüm parametrelerle arasındaki ilişkileri, istatistiksel olarak önemli bulunmuşlardır. Sediment kalitesi parametrelerinde, sıcaklık, pH ve iletkenliğin tüm nütrientler üzerindeki etkisinin büyük olduğu belirlenmiştir. Suya geçişlerinde de önemli rol oynadıkları anlaşılmıştır. Sudakine benzer olarak 8. istasyonda, TN ve TP arasındaki r değerlerinin diğer istasyonlara göre çok yüksek olduğu görülmüştür. Yüzey sularının çoğunda, sedimentteki ağır metal konsantrasyonları ile askıda katı madde miktarı arasında ilişki görülmüştür. Bu durum, Uluabat Gölü için As parametresi için geçerli olmuştur. Bunun dışında iletkenliğin,

pH'in özellikle de sıcaklık ve organik madde miktarının sedimentteki ağır metal ve iz element konsantrasyonlarını pozitif yönde etkilediği bulunmuştur.

Hesaplanan TSI değerlerinin tümünün yıl boyunca ötrofik seviyenin üstünde olduğu, TSI_{TN} değerlerinin tümünün hiperötrofik seviyede, TSI_{TP} ve TSI_{SD} değerlerinin de ötrofik-hiperötrofik ve hiperötrofik seviyelerde buldukları belirlenmiştir. TSI_{CHL}'nin ötrofik ve hiperötrofik seviyeler arasında değiştiği tespit edilmiştir. Gölün genel ortalama TSI değeri de 73,115 olması nedeniyle Uluabat Gölü'nün hiperötrofik seviyede olduğu bulunmuştur. TSI değerlerinin istasyonlardaki mevsimsel değişimleri incelendiğinde, en yüksek değerler yaz ve sonbahar aylarında (hiperötrofik), en düşük değerler ilkbahar ve kış (hiperötrofik-ötrofik) aylarında belirlenmiştir. Ortalama TSI'lerin en yüksek ve en düşük değerleri 8. ve 5. istasyonlarda belirlenmiştir. 8. istasyonun bulunduğu bölgenin göldeki ötrofikasyonun en yüksek ve göldeki tüm istasyonların hiperötrofik seviyede olduğu belirlenmiştir. Göl su kalitesi trofik seviyelere göre değerlendirildiğinde Uluabat Gölü'nün içme suyu ve rekreasyon amaçlı kullanım sınır değerlerini aşmış olduğu bulunmuştur. Hiperötrofik ötrofikasyon seviyesinde bulunan Uluabat Gölü'nün DIN/SRP ve DIN/TP oranlarının bioassay verileri ile daha uyumlu olması sebebiyle daha çok dikkate alındığında, yaz mevsiminin ortalarından itibaren tüm yıl boyunca azotun da fosforla birlikte sınırlayıcı faktör olduğu görülmüştür. İlkbahar mevsimi dışında Uluabat Gölü'nde büyük partiküllerin baskın olmadığı ve ışık geçirgenliğinin azalmasının sebebinin alg çoğalmasından değil renkten kaynaklandığı belirlenmiştir.

Uluabat Gölü sığ bir göl olmasına ve katmanlaşmanın yaşanmamasına rağmen bazı parametrelerin (sıcaklık, AKM, NH₄-N ve TP) su kolonu boyunca konsantrasyonlarının değişim gösterdiği ispatlanmıştır. Askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan Cu, Ni, Fe ve Mn için su kolonu boyunca değişimin önemli, diğer metaller için önemsiz olduğu ve dipteki askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metallerin konsantrasyonlarının askıda katı madde konsantrasyonlarının yüzeye göre yüksek olması nedeniyle daha yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Su kalitesinin sedimentteki kirlilik birikiminden de etkilenerek kirleticilerin suya geçtiğini göstermektedir. İstasyon ve aylar arasındaki farklılığın birçok parametre için önemli olduğu görülmüştür. Sedimentteki kirlilik parametrelerinin istasyonlara ve aylara göre olan değişimlerinin de birbirlerine benzer olduğu belirlenmiştir. ÇO, BOİ, KOİ ve

klorofil-a parametrelerinin gölün en doğusundaki 8. istasyonda daha yüksek olduğu, TN, TP ve PO₄-P parametrelerinin en doğusu ile en batısında (1.istasyon) yüksek olduğu belirlenmiştir. Çözünmüş halde bulunan Cr, Cd, Cu, Ni, B ve Pb konsantrasyonlarının istasyonlara göre değişimlerinin önemli olduğu, gölün çıkışına yakın bölgede ve Uluabat, Atabay Pompa İstasyonlarına yakın olan ve Kocasu Çayı'nın ters akımından etkilenen 1. istasyonda en büyük değerlerde bulunmuşlardır. Çözünmüş halde bulunan metal ve iz elementlerin konsantrasyonlarının su kolonu boyunca farklı olmadığı belirlenmiştir. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan Cr, Zn ve B'nin istasyonlara göre değişimlerinin önemli olduğu, konsantrasyonların gölün askıda katı maddenin yüksek olduğu ve DSİ Pompa istasyonlarına yakın olan batı kısmında yüksek oldukları belirlenmiştir. Genel olarak, ağır metal ve iz elementlerin AKMTH bulunan formlarının konsantrasyonları sedimentteki toplam konsantrasyonlara göre daha düşüktür ve en yüksek konsantrasyonları sedimentte görülmüştür. Bu da sedimentten suya geçen askıda katı maddenin daha az organik madde içermesine bağlanmıştır. Özellikle de 2.,3., 4. ve 5. istasyonların MKP Çayı'na yakın ve buralardaki askıda katı madde konsantrasyonlarının yüksek olması, 1. istasyonun gölün çıkış bölgesinde bulunmasına rağmen, Uluabat ve Atabay pompa istasyonları ile zaman zaman ters akımın olduğu Kocasu Çayı'na yakın olması, 8. ve 7. istasyonların Akçalar Deresi'ne yakın olması dolayısıyla organik kirlenmenin yüksek olması sedimentte bulunan metal konsantrasyonlarını arttırmıştır. Metallerin konsantrasyon ortalamalarına göre büyüklük sıralamaları, suda çözünmüş metaller için B>Fe>Zn>Cr>Pb>Ni>As>Cu>Mn>Cd, askıda katı maddeye tutunmuş metaller için Fe>Mn>B>Zn>Ni>Cr>Pb>Cu>Cd>As, sediment için Fe>Mn>Ni>B>Zn>Cr>Pb>Cu>As>Cd dir.

Ağır metal ve iz elementlerin sedimentteki ve askıda katı maddedeki konsantrasyonlarının sudaki konsantrasyonlara oranları literatürdeki dağılım katsayıları ile karşılaştırıldığında, arsenik, nikel, mangan ve demir dışındaki elementlerin tüm istasyonlarda sedimentten suya geçmiş olabilecekleri ve özellikle de 1. ve 2. istasyonlarda % toplam karbon ve % CaCO₃'ün daha düşük olması sebebiyle suya geçebilme olasılıklarının daha fazla olduğu belirlenmiştir. Oranlarda mevsimsel farklılıklar olmakla birlikte, her mevsimde sedimentten suya geçişlerin olmuş olabileceği görülmüştür. Ayrıca, demir dışındaki tüm elementlerin istasyonların çoğunda ve yıl boyunca askıda katı maddeye tutunmuş halden suda çözünmüş hale

geçmiş olabilecekleri görülmüştür. Ağır metal ve iz elementlerin askıda katı maddeye tutunmuş haldeki konsantrasyonlarının suda çözülmüş haldeki konsantrasyonlara oranları metaller bazında değerlendirildiğinde, Pb ve Cd için belirlenen oranların düşük, Ni ve Cu için belirlenen oranların yüksek olması, Uluabat Gölü'nde ağır metal ve iz element açısından kirliliğin önemli boyutta olduğunu göstermiştir (Nguyen ve ark. 2005a). Su kolonunda askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan ağır metal ve iz elementlerin sedimente çökme akıları değerlendirildiğinde, büyüklük sıralaması, Fe> Mn> B> Zn> Ni> Cr> Pb> Cu> Cd> As şeklinde, konsantrasyonların büyüklük sıralamasıyla benzer olarak bulunmuştur. Akıların Uluabat Gölü yüzey alanının mevsimsel değerleri ile çarpımı sonucu belirlenen günlük çökelen kütle miktarları (birikim) tonlar mertebesinde ve B ve Cd dışında diğer tüm elementlerin yaz aylarında daha çok çökelmekte oldukları görülmüştür.

2002-2003 yılı ölçümleri ile yapılan karşılaştırmalar neticesinde sudaki iletkenlik, NO₃-N, TN ve PO₄-P konsantrasyonlarının artmış, pH'ın azalmış olduğu, trofik seviyenin yükselmiş olduğu belirlenmiştir. Sedimentteki konsantrasyonlar karşılaştırıldığında TP ve PO₄-P'nin artmış, NH₄-N ve TN konsantrasyonlarının azalmış olduğu belirlenmiştir. Sedimentteki TN konsantrasyonlarının azalmış olması, gölde TN bakımından bir iç yük olduğunu, sedimentten suya geçişler olduğunu düşündürmüştür.

Kirletici kaynakların su ve sediment kalitesine olan etkilerini anlayabilmek için yapılan korelasyon analizi sonuçlarına göre uzun yıllardan beri yüksek miktarda askıda katı madde taşıdığı bilinen MKP Çayı'nın göldeki AKM konsantrasyonları ile olan ilişkisinin önemli olduğu belirlenmiştir. Akçalar Deresi'nin TN ve NO₃-N yüklerinin göldeki NH₄-N konsantrasyonlarına olan etkilerinin önemli olduğu belirlenmiştir. Atabay ve Karaoğlan Pompa İstasyonlarının NO₃-N yüklerinin klorofil-a konsantrasyonlarına, Uluabat Pompa İstasyonunun NH₄-N yüklerinin klorofil-a'ya olan etkileri önemli bulunmuştur. Noktasal kirletici kaynakların sediment kalitesine olan etkileri değerlendirildiğinde, MKP Çayı, Atabay, Karaoğlan ve Uluabat Pompa İstasyonlarının TP konsantrasyonları üzerine etkili olduğu anlaşılmıştır. MKP Çayı'nın % TOC üzerine, Atabay Pompa İstasyonu'nun NO₃-N yükünün, Uluabat Pompa İstasyonunun NH₄-N yükünün elektriksel iletkenlik üzerinde etkili olabileceği görülmüştür.

Su ve sediment kalitesi parametrelerinin konsantrasyonları ile yükler arasında belirlenen ilişkiler ile konsantrasyonların mevsimsel değişimleri karşılaştırıldığında elde edilen istatistiksel bilgiler doğrulanmıştır. Özellikle yükler ile negatif ilişkili bulunan BOİ, PO₄-P, TP, tuzluluk, iletkenlik parametrelerinin yüklerin azaldığı yaz ve sonbahar aylarında yüksek konsantrasyonlarda oldukları belirlenmiştir. Negatif ilişkili olan pH'ın mevsimler arasındaki farklılıkları çok olmamakla birlikte yaz ve sonbaharda daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yükler ile pozitif ilişkili olan çözülmüş oksijen, sevi derinliği ve su seviyesi parametrelerinin yüklerin daha çok olduğu kış ve ilkbahar aylarında daha yüksek oldukları görülmüştür. Yağışlarla artan su seviyesi, organik madde ve askıda katı madde konsantrasyonlarının azalmasına ve dolayısıyla da çözülmüş oksijen ve görünürlüğün artmasına neden olmuştur. Yükler ile pozitif ilişkili olduğu belirlenen NH₄-N ve TN konsantrasyonlarının yüklerin azaldığı yaz ve sonbaharda yüksek bulunması, azot yükünün sadece noktasal kaynaklar ile değil, tarımdan dönen yayılı yükler ile göle karışabildiğini düşündürmüştür. Benzer olarak yükler ile pozitif ilişkili bulunan klorofil-a'nın yaz ve sonbaharda artış göstermesi yaz ve sonbaharda besin maddesi konsantrasyonlarının (NH₄-N, NO₃-N TN, PO₄-P, TP) ve sıcaklıkların artması dolayısıyla alg popülasyonunun artmasından kaynaklanmıştır.

Sediment kalitesi parametrelerinden yükler ile pozitif ilişkili olan TP konsantrasyonlarının, yüklerin daha yüksek olduğu kış ve ilkbahar aylarında, yükler ile negatif ilişkili olan TN, NH₄-N, NO₃-N konsantrasyonlarının ve elektriksel iletkenliğin yüklerin düşük olduğu yaz ve sonbahar aylarında daha yüksek seviyede oldukları belirlenmiştir. Yükler ile pozitif ilişkili olan % TOC ve negatif ilişkili olan pH'nın mevsimler arasındaki farklılıklarının çok belirgin olmadığı belirlenmiştir. Bunun nedeninin sıcaklık, su seviyesi gibi bazı faktörler olabileceği düşünülmüştür.

Noktasal kirlilik kaynakları ile yapılan tüm korelasyon hesapları neticesinde arseniğin sudaki çözülmüş ve askıda katı maddeye tutunmuş formlarının yalnızca Akçalar Deresi'nin göle getirmiş olduğu arsenik yükleri ile ilişkisi bulunmuştur. Arsenik konsantrasyonları ile pozitif ilişkili olan arseniğin çözülmüş ve askıdaki formlarının yüklerinin mevsimsel değişimleri incelendiğinde, konsantrasyonların yaz ve sonbaharda arttığı, yüklerin ise debi ile doğru orantılı olarak ilkbahar ve kış aylarında yükseldiği görülmüştür. Bu farklılığın nedeninin seyrelmeden kaynaklandığı düşünülmüştür. Arseniğin askıdaki katı maddelere tutunmuş halde bulunan

konsantrasyonlarının kış aylarında da yüksek olması, kış aylarında yüksek bulunan yükten dolayıdır. Sedimentteki konsantrasyonlarıyla yine Akçalar Deresi ve Atabay Pompa İstasyonu yüklerinin ilişkisi olduğu belirlenmiştir. Bakırın suda çözülmüş ve askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan formlarının Akçalar Deresi ve Atabay Pompa İstasyonlarının bakır yükleri ile suda çözülmüş haldeki mangan ve çinkonun Akçalar Deresi yükleri ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan bakır ve mangan yüklerinin ilkbahar ve kış aylarında daha yüksek bulunmasıyla birlikte, yazları da belli miktarda yük taşıdıkları görülmüştür. Bu yükler ile pozitif ilişkili bulunan bakırın her iki formdaki konsantrasyonu ile manganın çözülmüş haldeki konsantrasyonlarının ilkbahar, yaz ve kış aylarında yüksek oldukları görülmüştür. İlkbahar ve kış aylarında yüksek olan askıda katı maddelere tutunmuş haldeki çinko yükünden etkilenen çözülmüş haldeki çinko konsantrasyonlarının yaz aylarında yüksek bulunması, su seviyesinin azalıp konsantrasyonun artmasından hem de tarımsal uygulamaların hızlandığı bu mevsimde sulamadan dönen suların göle karışmasından ileri gelebileceği düşünülmüştür. Kromun askıdaki konsantrasyonlarının da çinkoya benzer olarak yaz aylarında yüksek bulunup, askıda katı maddelere tutunmuş formdaki krom yüklerinin ilkbahar ve kış aylarında yüksek bulunması, bakır, mangan ve kromun da tarımsal kaynaklı olarak yazları artmış olabileceği düşünülmüştür.

Askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunan kadmiyumun incelenen tüm noktasal kaynakların yükleri ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Kadmiyumun çözülmüş haldeki konsantrasyonlarının yüklerle ilişkisi bulunamamıştır. Kadmiyuma benzer olarak borun askıda katı maddelere tutunmuş formlarının ve sedimentteki konsantrasyonlarının tüm noktasal kirlenici kaynaklar ile olan ilişkileri önemli bulunmuştur. Borun çözülmüş formlarının kirlenici yükleri ile ilişkisi bulunamamıştır. Kadmiyum ve bor yüklerinin her iki formunun ilkbahar ve kış aylarında yüksek olmasına rağmen, göldeki askıda katı maddelere tutunmuş haldeki konsantrasyonları ilkbahar, kış ve sonbahar aylarında yüksek bulunmuştur. Yüksek buldukları sonbahar aylarında yayılı olan başka kaynaklardan da göle giriş olduğu düşünülmüştür.

Yüklerin sedimentteki birikimle olan ilişkileri incelendiğinde, sedimentteki borun sudaki konsantrasyonlarına benzer olarak ilkbahar ve sonbaharda yüksek bulunması, incelenen noktasal kaynakların dışındaki yüklerin sedimentteki

konsantrasyonları sonbaharda etkilediğini göstermiştir. Arseniğin sedimentteki konsantrasyonlarının yaz ve kış aylarında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sedimentteki konsantrasyonların yazın yüksek, sonbaharda daha düşük olması yaz aylarında başka bir kirletici kaynağın sedimentin arsenik konsantrasyonlarını etkileyebildiğini düşündürmüştür.

Kromun askıda katı maddelere tutunmuş formlarının yalnızca Atabay Pompa İstasyonunun krom yükleri ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre arsenik ve bakırın yalnızca iki, mangan, çinko ve kromun yalnızca bir noktasal kaynak ile, kadmiyum ve borun tüm noktasal kirletici kaynak yükleri ile ilişkili olması bu metallerin göldeki konsantrasyonlarını ve dağılımlarını etkilemektedir. Kadmiyum ve borun gölün tüm bölgelerine dağılmış olabileceği düşünülmüştür. Ancak konsantrasyon bakımından değerlendirildiğinde kadmiyumun tüm noktasal kaynaklarla ilişkili olsa bile göle karışan yükün bora göre çok az olması göldeki konsantrasyonlarının düşük olmasına neden olmuştur. Uluabat Gölü'nde suda ve sedimentte incelenen metallere demir, nikel ve kurşunun noktasal kirletici kaynaklar ile ilişkileri önemli bulunmamıştır. Bu metallerin incelenen noktasal kirletici kaynaklarda belirli miktarlarda yüke sahip oldukları belirlenmiştir. Demir ve nikelin toprağın kendi yapısında bulunması suda da bulunacaklarını göstermektedir. Ayrıca atmosferden çökelmelerin olması sebebiyle bu metaller bir çok kirlilik kaynağından etkilenebilmektedirler.

Atmosferden çökelen ağır metal ve iz element kütle miktarları (atmosferik yük) büyüklük sıralamasına sokulduğunda, sıralama Fe>Cu>Zn>Mn>Pb>Cr>Cd şeklinde belirlenmiştir. Ağır metal ve iz elementlerin göle giren toplam yükleri değerlendirildiğinde, Cu dışındaki tüm elementlerin büyük oranda noktasal kirletici kaynaklar tarafından göle bırakıldığı, Cu yükünün % 78,94'ünün atmosferden kaynaklandığı belirlenmiştir.

Sedimentte bulunan ağır metal ve iz element fraksiyonlarının konsantrasyonları değerlendirildiğinde, New York Eyaleti Çevre Koruma Bölümü'nün düşük etki seviyesi (LEL) ve yüksek etki seviyesine (SEL) göre yapmış olduğu sınıflandırmalarda Cr ve Ni elementleri yüksek etki seviye sınırını geçmiş olarak bulunmuştur. Metallerin ve iz elementlerin değişebilir fraksiyonlarının (mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonların toplamı) yüzdeleri belirlenmiştir. Buna göre As, Cd, Cr, Fe, Ni, Pb ve Zn elementlerinin % 10'un altında ve düşük risk seviyesinde olduğu belirlenmiştir.

İncelenen metallerin değişebilir fraksiyonlarının hiçbirinin % 50'den yüksek olmadığı ve yüksek risk taşımadığı belirlenmiştir. Mn, B ve Cu elementlerinin değişebilir fraksiyonlarının (F1+F2) gölün bazı bölgelerinde orta seviyede riskli bulunmuştur. Değişebilir fraksiyonların toplam konsantrasyona göre yüzdeleri alındığında sıralama Mn>B>Cu>Pb>As>Cd>Ni>Zn>Cr>Fe olarak değişmektedir. Bu sıralamada % 10 değerini aşan bir tek metal % 15,972 ile Mn olmuştur. Bu nedenle orta seviyede riskli olan metalin Mn olduğu görülmüştür. İncelenen diğer metallerin fraksiyonlarının konsantrasyonlarına göre belirlenen oranları büyüklük sıralamasına konulmuştur. Buna göre kalıntı halinde bulunan fraksiyonlar Cr>Zn>Fe>Ni>Cd>B>Cu>As>Pb>Mn, organik maddeye bağlı fraksiyonlar Cu>Pb>As>Mn>Ni>Fe>Cd>Zn>B>Cr, Mn-oksitlere bağlı fraksiyonlar Mn>As>Pb>Cd>Cu>B>Ni>Zn>Fe>Cr, kolay serbest hale geçebilenler Mn>Pb>Cd>B>As>Cu>Ni>Zn>Cr>Fe ve mobil halde bulunan fraksiyonlar B>Cu>Mn>As>Cd>Pb>Ni>Zn>Cr>Fe olarak sıralanmışlardır. Sedimentteki ağır metal ve iz elementlerin mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının 2002-2003 ve 2008-2009 yılları arasındaki değişimlerin incelenmesi neticesinde, B elementi hariç incelenen diğer tüm elementlerin konsantrasyonlarının artışlarının istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Sudaki metal konsantrasyonları ile kimyasal fraksiyonlar arasındaki ilişkiler suya direk ya da dolaylı olarak geçen sedimentteki metallerin dinamik eşitliklerinin durumunu belirtmektedir. Sedimentteki metallerin mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonları suya geçiş yapmaya hazır metalleri belirtmektedir. Suda çözünmüş halde bulunan As, Cd, Cu, Zn, Pb ve B'nin bu fraksiyonların biri ya da her ikisi ile olan ilişkilerinin önemli ve pozitif bulunması bu metallerin suya daha kolay geçebildiklerini göstermektedir. Daha önce yapılan çalışmalar Cd, Zn ve Pb'nin bu fraksiyonlarla olan ilişkilerinin önemli ve pozitif olduğunu ve bu metallerin suya daha kolay geçebildiklerini göstermiştir. Suda çözünmüş halde bulunan metaller ile sudaki bazı fizikokimyasal parametrelerin (pH, elektriksel iletkenlik, ÇO, BOİ, KOİ ve alkalinite) ilişkileri incelendiğinde, As'nin pH dışında diğer tüm parametrelerle, B'nin KOİ ve alkalinite dışında diğer tüm parametrelerle, Cr'nin elektiksel iletkenlik ve BOİ ile, Cu'nun BOİ ile, Fe'nin alkalinite ile, Zn'nin pH ve KOİ dışında tüm parametrelerle olan ilişkileri önemli bulunmuştur. Cd, Ni, Pb ve Mn'nin fiziko-kimyasal parametrelerin hiç biri ile olan ilişkileri önemli bulunamamıştır. Çözünmüş oksijenin As, Zn ve B ile hesaplanan r korelasyon değerleri

negatif bulunmuştur. Başka çalışmalarda da çözünmüş oksijen ile olan ilişkiler negatif bulunmuştur (Singh ve ark. 2008). Ayrıca sudaki Cu'nun BOİ ile olan ilişkisinin negatif bulunması, sedimentte organik maddelere bağlanabilen bakır için sudan sedimente geçen organik madenin bakırın suya geçişini engellediği şeklinde yorumlanmıştır.

Suda ve sedimentte incelenen ağır metal ve iz elementlerin balıkların bünyelerindeki birikimlerinin türlere, organlara (dokulara), metallerin özelliklerine ve mevsimsel faktörlere bağlı olduğu görülmüştür. *C. carpio* ve *E. lucius*'un farklı dokularındaki metal seviyeleri belirlenmiştir. Karaciğer ve solungaç gibi hedef organlarda ağır metal birikiminin daha yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. *E. lucius*'un dokularındaki birikimler incelendiğinde, As, Cr, Cd, Cu, Ni ve Fe'in maksimum ciğerde, minimum kasta, B, Mn ve Zn'nin maksimum solungaç, minimum kasta, Pb maksimum solungaç minimum ciğerde belirlenmiştir. *Cyprinus carpio*'nun dokularındaki birikimler incelendiğinde, Cu, B ve Zn maksimum ciğerde minimum kasta, Cd ve Fe maksimum ciğerde, minimum solungaçta belirlenmiştir. As, Pb ve Mn konsantrasyonları maksimum solungaçta, minimum kasta, Cr ve Ni maksimum solungaçta minimum ciğerde belirlenmiştir. Her iki balıkta da Cd, Cu ve Fe'nin en yüksek değerleri ciğerde, Pb ve Mn'nin en yüksek değerleri solungaçta bulunmuştur. Dokulardaki birikimlerin mevsimsel değişimleri incelendiğinde her iki türde de ciğerdeki konsantrasyonlar her mevsimde yüksek değerde bulunabilmiştir. Kas dokularındaki birikimler karşılaştırıldığında *E. lucius*'un yaz ve kış aylarında, *C. carpio*'nun ilkbahar ve sonbahar aylarında yüksek olduğu görülmüştür. Solungaç dokularındaki birikimler değerlendirildiğinde iki türde de ilkbahar ve sonbahar aylarında yüksek konsantrasyonlar görülmüştür. Ancak solungaçta bulunan As, Zn ve Cu'nun yaz ve kış aylarında yüksek konsantrasyonlara ulaştığı belirlenmiştir. *Esox lucius* için As, Cd ve B, *Cyprinus carpio* için Pb, Ni ve B'nin aylık konsantrasyon farklılıkları önemli bulunmuştur. Cd ve Ni yağışlı dönemde, As kurak dönemde, B ve Pb hem yağışlı hem de kurak dönemde maksimum bulunmuştur. Yağışlı ve kurak dönemlerde yüksek konsantrasyonlarda bulunma nedenleri B işletmelerinin yaz kış devam eden üretimi, Pb, Cd ve Ni'nin yağışlı ve kurak dönemdeki trafik yoğunluğunun benzer olması ve kirletici kaynak olabilecek bazı işletmelerin sürekli çalışmalarının olabileceği düşünülmüştür (Çavuşoğlu 2006). Her iki balık türündeki konsantrasyonlar gıda yönünden değerlendirildiğinde kas, solungaç ve ciğer dokularındaki

konsantrasyonlarının bazı ülkelere göre uygun bulunmuş olsa da FAO/WHO standartların üstünde bulunmuş olmaları nedeniyle tüketilmesinin uygun olmadığı belirlenmiştir

Fe, Ni ve B'nin balık dokularındaki konsantrasyonları ile sedimentteki metal fraksiyonlarındaki konsantrasyonları arasındaki ilişkileri önemli bulunmuştur. Balıktaki Fe'nin F1, F2, F3 ve F4 ve AKMTH bulunan ile olan ilişkileri önemli bulunmuştur. Demirin suda çözülmüş haldeki, F1 ve F2 için belirlenen transfer faktörlerine göre biyolojik birikime neden olduğu görülmüştür. Balıklardaki B'nin F2 ve çözülmüş haldeki konsantrasyonları ile olan ilişkileri önemli bulunmuştur ancak suda ve sedimentteki hiç bir formun tf değerine göre biyolojik birikime neden olmadığı bulunmuştur. Çünkü balıktaki konsantrasyonları tüm ekosistemin değerlerine göre düşük bulunmuştur. Demirin ayrıca askıda katı maddedeki konsantrasyonları ile olan ilişkileri önemli bulunmuştur. Buna bağlı olarak demirin sedimentten ve askıda katı maddeden, borun da sedimentten kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlar nedeni ile suya ve balığa geçtiği düşünülmüştür. Ni'nin F4, F5 ve sedimentteki toplam konsantrasyonlar ile ilişkileri önemli bulunmuştur. Çözülmüş halde bulunan metallerin tf değerlerine göre biyolojik birikim yaptığı, suda ve sedimentteki diğer formlarının tf değerlerine göre biyolojik birikime neden olmadığı belirlenmiştir. Kromun metallerin suda ve sedimentte bulunan hiçbir formu ile olan ilişkisi önemli bulunmamış olması ile birlikte suda çözülmüş, F1 ve F2'nin transfer faktörlerine göre 1'den yüksek, diğer formların tf değerlerine göre 1'den düşük bulunduğu ve biyolojik birikime neden olduğu belirlenmiştir. Mn, Pb, As ve Cu'nun kalıntı halinde olmayan fraksiyonlarının toplam konsantrasyona göre oranı yüksek çıkmıştır. Özellikle manganın mangan-oksitlere bağlı ve değişebilir fraksiyonlarının (F1+F2) toplam yüzdeye göre oranları değerlendirildiğinde maksimum değeri alan metal olduğu görülmüştür. Ancak bununla beraber balıktaki konsantrasyonların yalnızca çözülmüş haldeki konsantrasyonları ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle suya çok kolay geçtiği ve balıkta birikime yol açtığı tahmin edilmektedir. Çözülmüş halde bulunan metallerin tf değerlerine göre biyolojik birikime neden olduğu görülmüştür. As ve Cd'nin AKMTH'deki konsantrasyonlar ile ilişkileri önemli ancak AKMTH bulunan As ve Cd'nin tf değerleri 1'den düşük bulunmuştur. Cd'nin sedimentteki toplam konsantrasyonlarının diğer metallere göre çok düşük olmasına rağmen F1, F2 ve F3'un tf değerleri 1'den yüksek

olup birikime neden olduğu belirlenmiştir. Balıktaki bakırın sudaki konsantrasyonları ile olan ilişkileri önemli olarak belirlenmiştir. Bakırın suda çözünmüş, sedimentte mobil, kolay serbest hale geçebilir ve Mn-oksitlere bağlı fraksiyonlarına ait transfer faktörleri 1'den yüksek bulunmuştur ve biyolojik birikime neden oldukları anlaşılmıştır. Kurşunun suda çözünmüş haldeki, sedimentteki mobil fraksiyonlarının transfer faktörlerinin 1'den büyük olduğu ve biyolojik birikime neden olduğu belirlenmiştir. Çinkonun F5 kalıntı halindeki, F4-organik maddelere bağlı, F1, F2 fraksiyonları (Değişebilir fraksiyonlar), sedimentteki toplam konsantrasyonlar, askıda katı maddeye tutunmuş halde ve suda çözünmüş halde bulunan konsantrasyonlar ile ilişkileri önemli bulunmuştur. Çinkonun suda çözünmüş haldeki, askıda katı maddedeki, sedimentteki mobil, kolay serbest hale geçebilir, Mn-oksitlere bağlı, organiklere bağlı fraksiyonların transfer faktörlerinin 1'den yüksek ve biyolojik birikime neden olduğu belirlenmiştir.

"Su kuşları yaşama ortamı olarak uluslararası öneme sahip sulak alanlar hakkında sözleşme" kısaca RAMSAR sözleşmesine tabi olması nedeniyle büyük önem taşıyan Uluabat Gölü'nün yapılan tüm bu çalışmalar sonucunda kirliliğinin giderek arttığı görülmektedir. Bu kirlenmeye Uluabat Gölü Havzası'nda bulunan kirlenici kaynakların yüklerinin, atmosferik çökelmelerin, göl dibindeki sediment tabakasının, askıda katı maddelerin sağladığı iç yüklerin neden olduğu belirlenmiştir. Ağır metaller, bazı iz elementler ve nütrientler, sedimentten ve askıda katı maddelerden tekrar suya karışmaktadır. Bu nedenle alınacak önlemlerde her faktörün değerlendirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Öncelikle havza bazında kirlenici sınırlamaları getirilerek dış kaynaklı kirlenici yüklerinin azaltılması gerekmektedir. Arıtması olmayan yerleşim yerlerine ve endüstriyel tesislere arıtma yapılarak arıtma verimliliğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, havza içerisinde yeni kurulacak tesislerin flora ve faunaya zarar vermeyecek, göl suyunun kalitesini ve miktarını etkilemeyecek şekilde denetlenerek kurulmasına izin verilmesi veya zarar vereceği düşünülen tesislerin kurulmaması gerekmektedir. Bu konuda ciddi önlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Trofik seviyenin belirlenmesi çalışmaları sırasında fosforla birlikte azotun da sınırlayıcı besin maddesi olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle fosforla birlikte azotunda azaltılması gerektiği anlaşılmıştır. Mustafakemalpaşa ve Tavşanlı ilçeleri ile Akçalar Beldesi ve göle yakın olan köylere ait kanalizasyon atıksularının derhal arıtılması gerekmektedir. Ayrıca tarımsal uygulamalarda kullanılan gübre ve zirai ilaçların kullanımları denetim altına

alınarak, bu konuda da yasal düzenlemelerin getirilmesi gerekmektedir. Tarımdan kaynaklanan yayılı kaynakların denetlenebilmesi amacıyla, tarım topraklarında zirai ilaç kalıntılarının, ağır metallerin ve nütrientlerin sürekli olarak ölçülmesi gerekmektedir. Uluabat Gölü'nü kirleten yayılı kaynaklardan biri olan atmosferin diğer noktasal kaynaklara göre çok etkili olmadığı ancak bakırın yaklaşık % 78'nin atmosferden kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu nedenle özellikle bakır emisyonu veren tesislerin incelenmesi ve belirlenmesi gerekmektedir.

Ağır metallerin, iz elementlerin ve nütrientlerin sedimentten ve askıda katı maddelerden suya geçtiğinin tespit edilmiş olması nedeniyle Türkiye'de henüz mevcut olmayan sediment kirliliğinin kontrolüne yönelik sınır değerlerin geliştirilmesi ve su kalitesi ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca Uluabat Gölü'nde ticari önemi olan sazan ve turna balıklarında önemli seviyede ağır metal birikimi belirlenmiştir. Bu nedenle balıklardaki birikimin incelenmesine devam edilmesi ve tüketimlerinin denetlenmesi gerekmektedir.

Arazi çalışmaları sırasında Uluabat Gölü'nde yaşayan bir sazan türü olan İsrail sazanının (*Carassius gibelio*) aşırı derecede ürediği, gölde yaşayan diğer balıkların üreme hızlarını azalttığı ve gölü istila ederek zarar verdiği görülmüştür. Bu nedenden ötürü balıkçılıkla uğraşan yöre halkı da mağdur duruma düşmüştür. İsrail sazanının azaltılmasına yönelik çalışmaların başlatılması gerekmektedir.

Alınabilecek önlemler değerlendirildikten sonra, gölün iyileştirilmesine yönelik olarak çeşitli bitki türlerinin kullanılmasıyla ağır metal ve nütrientlerin azaltılması için laboratuvar ölçekli çalışmaların ve araştırmaların yapılması (Bonanno ve Giudice 2010) gerekmektedir. Ayrıca, sediment kirliliğinin yoğun, toksik etki seviyesinin fazla olduğu bölgelerde sedimentin ıslah edilmesi (8. istasyon gibi) de yapılabilecek çalışmalardan biri olarak düşünülmüştür.

KAYNAKLAR

ABDALLAH, M. A. M. 2008. Trace Metal Behavior in Mediterranean-Climate Coastal Bay: El-mex Bay, Egypt and its Coastal Environment. *Global Journal of Environmental Research* 2 (1): 23-29, 2008.

AKCAY, H., A. OGUZ, C. KARAPIRE. 2003. Study of Heavy Metal Pollution and Speciation in Büyükenderes and Gediz River Sediments. *Water Research* Vol.37: 813–822.

AKDENİZ, S. 2005. Uluabat Gölü Su Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Analizi, Yüksek Lisans Tezi.Bursa

AKSOY, A., D. DEMİREZEN, F. DUMAN, 2005. Bioaccumulation, Detection and Analyses of Heavy Metal Pollution in Sultan Marsh and Its Environment. *Water, Air, and Soil Pollution* Vol. 164: 241–255.

AKSOY, E., G. ÖZSOY. 2002. Investigation of Multi-Temporal Land Use /Cover and Shorline Changes of the Uluabat Lake RAMSAR Site Using RS and GIS. *International Conference on Sustainable Land Use and Management*. 10-13 June 2002, Çanakkale-Türkiye. 318-325

ALAM, M.G.M, A. TANAKA, G. ALLINSON, L.J.B. LAURENSEN, F. STAGNİTTİ, E.T. SNOW. 2002. A Comparison of Trace Element Concentrations in Cultured and Wild Carp (*Cyprinus carpio*) of Lake Kasumigaura, Japan. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 53, 348-354.

ALBAY M., R. AKÇAALAN. 2007. Effects of Water Quality and Hydrologic Drivers on Periphyton Colonization on *Sparganium Erectum* in Two Turkish Lakes With Different Mixing Regimes. *Environ Monit Assess* Vol. 146: 171–181.

ALHAS E., S. A. OYMAK, H. KARADEDE AKIN. 2007. Heavy Metal Concentrations in Two Barb, *Barbus Xanthopterus* and *Barbus Rajanorum* *Mystaceus*

from Atatürk Dam Lake, Turkey. *Environ Monit Assess* DOI 10.1007/s10661-007-0134-0.

ALTINDAĞ, A., S. YİĞİT. 2005. Assessment of Heavy Metal Concentrations in the Food Web of Lake Beyşehir, Turkey. *Chemosphere* 60, 552–556.

AL-WEHER S. M.. 2008. Levels of Heavy Metal Cd, Cu and Zn in Three Fish Species Collected from the Northern Jordan Valley, Jordan. *Jordan Journal of Biological Sciences* Vol. 1(1) ISSN 1995-6673: 41 – 46.

AMUNDSEN, P .A., F. J. STALDVIK, A. A. LUKINB, N. A. KASHULINB, O. A. POPOVA, Y. S. RESHETNÍKOV. 1997. Heavy Metal Contamination in Freshwater Fish from The Border Region Between Norway and Russia. *The Science of the Total Environment* 201: 211-224.

AN, YOUN-JOO, D. H. KAMPBELL. 2003. Total, Dissolved, and Bioavailable Metals at Lake Texoma Marinas. *Environmental Pollution* 122, 253-259.

ANDREJÍ J., I. STRANAÍ. 2004. Levels of Cobalt, Nickel, Cooper and Manganese in Fishes From The Danube River. *Lucrari știintifice Zootehnie și Biotehnologii* Vol. XXXVI. Timișoara.

ANONİM. 1982. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives Journals

ANONİM. 1987. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives Journals

ANONİM. 1989a. National Research Council (NRC), Recommended dietary allowances (10th ed.), Washington, DC.

ANONİM. 1989b. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives Journals

ANONİM. 1991. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği Ankara. Resmi Gazete, Tarih 7 Ocak 1991 Sayı: 20748.

ANONİM. 1993. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives Journals

ANONİM. 1995. Su Ürünleri Yönetmeliği, 10 Mart 1995 Tarihli, 22223 Sayılı Resmi Gazete.

ANONİM. 1999. NOAA-Quick Reference Table for Inorganics in Solids.

ANONİM. 2000a. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual Lakes and Reservoirs. USEPA-822-B00-001. April 2000. 232 s.

ANONİM. 2000b. USEPA 2000. Prediction Of Sediment Toxicity Using consensus-Based Freshwater Sediment Quality Guidelines.

ANONİM. 2002. T.C. Çevre Bakanlığı Çevre Koruma Genel Müdürlüğü Hassas Ekosistemler ve Korunan Alanlar Dairesi Başkanlığı, Sulak Alanların Yönetimi Projesi, Uluabat Gölü Mustafakemalpaşa Çayı Sistemi Sediment Birikimi Araştırması Alt Projesi Sonuç Raporu. Hacetepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi. Beytepe-Ankara. 192s.

ANONİM. 2002a. Türk Gıda Koteksi 20 Eylül 2002 tarihli, 24885 Sayılı Resmi Gazete

ANONİM. 2003. International Atomic Energy Agency. Trace Elements And Methylmercury In Fish Tissue. Date of issue: 24 January 2003.

ANONİM. 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Başbakanlık Çevre Müsteşarlığı. Ankara. Resmi Gazete, Tarih 31 Aralık Cuma 2004 Sayı:25687.

ANONİM. 2005a. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığında Su Ürünleri Yönetmeliği, 09.08.2005 tarihli Resmi Gazete No: 25901.

ANONİM. 2005b. TS266 Türk Standardı, SULAR - İnsanî Tüketim Amaçlı Sular. Nisan 2005.

ANONİM. 2005c. Partition Coefficients For Metals in Surface Water, Soil, And Waste. EPA/600/R-05/074. July 2005. 93 s.

ANONİM. 2006. Uluabat Gölü'nde Suda ve Planktonda Bazı Ağır Metal ve İz Elementlerin Kirliliğinin Belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, Bursa. 91s.

ANONİM. 2006a. USEPA National Recommended Water Quality Criteria Correction Office of Water, EPA 822-z-99-001, p. 25.

ANONİM. 2006b. WHO, A Compendium of Drinking-Water Quality Standards in The Eastern Mediterranean Region.

ANONİM. 2006c. Official Journal of The European Union Commission Regulation (EC) No 1881/2006.

ANONİM. 2006d. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives Journals

ANONİM. 2007. Terra/Varian/Cem ICP-MS/ ICO-OES/AAS/ Microwave Digestion Seminar.

ANONİM. 2010a. Bursa Meteoroloji İstasyonu Uzun Yıllar Ölçüm Sonuçları (yayınlanmamış).

ANONİM. 2010b. Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Hava Kirliliği laboratuvarı Meteorolojik Parametreler Ölçüm sonuçları (yayınlanmamış).

ANONİM. 2010c. Uluabat Gölü ve Havzası'ndaki Noktasal Kirlenici Kaynaklara Ait Örnek Alma İstasyonlarının Yerleri. U. Ü. Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Uzaktan Algılama ve CBS Merkezi, Bursa.

ANONİM. 2010d. Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, İşletme ve Bakım Servisi.

ANONİM. 2010e. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Akım Gözlem İstasyonları Debi Ölçüm Sonuçları.

APHA, AWWA. 1998. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, 20th Edn. Washington, D. C.

AYAŞ, Z., D. KOLANKAYA. 1996. Accumulation of Some Heavy Metals in Various Environments and Organisms at Göksu Delta, Türkiye, 1991-1993. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 56, 65-72.

AYDIN, I., 2008. Comparison of Dry, Wet and Microwave Digestion Procedures for The Determination of Chemical Elements in Wool Samples in Turkey Using ICP-OES Technique. Microchemical Journal

AYDINALP, C., E. A. FITZPATRICK, M. S. CRESSER. 2005. Heavy Metal Pollution in Some Soil and Water Resources of Bursa Province, Turkey. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36: 1691-1716.

AYKAN, T. B., N. TÜZÜNER, A. SAV, Ü. İNCE. 1990. Kısa Patoloji. Nobel Tıp Kitabevi. İstanbul. 944 s.

BAILEY, M. C., D. P. HAMILTON. 1997. Wind Induced Sediment Resuspension: a Lake-Wide Model. Ecological Modelling. 99: 217-228.

BARLAS, N., N. AKBULUT, M. AYDOĞAN. 2005. Assessment of Heavy Metal Residues in The Sediment and Water Samples of Uluabat Lake, Turkey. Bull. Environ. Contam. Toxicol. Vol. 74, 286–293.

BAŞAR, H., S. GÜREL, A. V. KATKAT. 2004. İznik Gölü Havzasında Değişik Su Kaynaklarıyla Sulanan Toprakların Ağır Metal İçerikleri. Ulud. Üniv. Zir. Fak. Dergisi 18(1): 93-104.

BEKLİOĞLU, M., C. O. TAN. 2004. Eymir Göl'ü Restorasyonu: Evsel Atıksuyu Uzaklaştırması, Biyomanipulasyon ve Su Seviyesi Düşüşü. Sığ Göl Sulakalanları: Ekoloji, Ötrifikasyon ve Restorasyon. Uluslararası Çalıştay. 28-30 Kasım. ODTÜ. Ankara. s 67.

BEKLİOĞLU, M., G. ALTINAYAR, C. O. TAN. 2006. Water Level Control Over Submerged Macrophyte Development in Five Shallow Lakes of Mediterranean

BEKLİOĞLU, M., A. ÖZEN, 2007. Hidroloji, Besin Tuzları ve Balık Stokunun, Küresel Isınma İle Birlikte Türkiye'deki Sığ Göllerin Ekolojisine Etkileri. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi. İzmir.

BONİ, M., S. COSTABİLE, B. DE VİVO, M. GASPARRİNİ. 1999. Potential Environmental Hazard in the Mining District of Southern Iglesias (SW Sardinia, Italy). Journal of Geochemical Exploration 67, 417–430.

BONANNO, G., R. L. GIUDICE, 2010. Heavy metal bioaccumulation by the organs of *Phragmites australis* (common reed) and their potential use as contamination indicators. Ecological Indicators 10, 639–645.

BOUYOUCOS, G. J. 1951. A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soil. Agronomy Journal 43: 434-438.

BRADL, H. B. 2005. Heavy Metals in The Environment: Origin, Interaction and Remediation. Elsevier Academic Press. 269 s.

BREMNER, J.M., C.S. MULVANEY. 1982. Methods Of Soil Analysis. American Soc. Of Agronomy, Inc., Publisher. 1159 s.

BUCCOLIERÌ, A., G. BUCCOLIERÌ, N. CARDELLICCHIO, A. DELL'ATTI, A. DI LEO, A. MACÌ. 2006. Heavy metals in Marine Sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). *Marine Chemistry* 99, 227–235.

BURDEN, F. R., I. MCKELVIE, U. FÖRSTNER, A. GUENTHER. 2002. *Environmental Monitoring Handbook*. McGraw-Hill. New York.

BURGER, D. F., D. P. HAMILTON, C. A. PILDITCH. 2008. Modelling The Relative Importance of Internal and External Nutrient Loads on Water Column Nutrient Concentrations and Phytoplankton Biomass In s Shallow Polymictic Lake. *Ecological Modelling* 211: 411–423.

BURGER, J., M. GOCHFELD. 2003. Heavy Metals in Commercial Fish in New Jersey. *Environmental Research* 99, 403–412.

BURTON, G. A., 2002. Sediment Quality Criteria In Use Around The World. *Limnology* 3:65–75.

BURTON, G. A., R. E. PITT. 2002. *Stormwater Effects Handbook*. Lewis Publishers, CRC Press LLC. 929 s.

CANAVAN, R.W., P V. CAPPELLEN, J.J.G. ZWOLSMAN, G.A. VAN DEN BERG, C.P. SLOMP. 2007. Geochemistry of Trace Metals in a Fresh Water Sediment: Field Results and Diagenetic Modeling. *Science of the Total Environment*. 381: 263-279.

CANLI, M., G. ATLI. 2003. The Relationships Between Heavy Metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) Levels and The Size of Six Mediterranean Fish Species. *Environmental Pollution* 121, 129-136.

CAUSSY, D., M. GOCHRFELD, E. GURZAU, C. NEAGU, H. RUEDEL. 2003. Lessons From Case Studies of Metals: Investigating Exposure, Bioavailability, and Risk. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 56, 45-51.

CHAPMAN, D. 1992. *Water Quality Assessments*. Chapman&Hall Ltd, London. 585 p.

CHAPRA, S. C. 1997. *Surface Water Quality Modeling*. McGraw-Hill. 844 s.

CHE Y., Q. HE, W. Q. LIN. 2003. The Distributions of Particulate Heavy Metals and Its Indication to The Transfer of Sediments in The Changjiang Estuary and Hangzhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin* Vol. 46: 123–131.

CHEN, C. Y., R.S. STEMBERGER, B. KLAUE, J. D. BLUM, P. C. PICKHARDT, C. L. FOLT. 2000. Accumulation of Heavy Metals in Food Web Components Across a Gradient of Lakes. *Limnology and Oceanography* 45: 1525-1536.

CHETELAT, B., J. GAILLARDET. 2005. Boron Isotopes in the Seine River, France: A Probe of Anthropogenic Contamination. *Environ. Sci. Technol.* 39, 2486-2493.

CHUBARENKO, B. V., Y. WANG, I. P. CHUBARENKO, K. HUTTER. 2001. Wind-Driven Current Simulations around The Island Mainau (Lake Constance). *Ecological Modelling*. 138: 55–73.

CHUNG, E. G., F. A. BOMBARDELLI, S. G. SCHLADOW. 2009. Modeling Linkages Between Sediment Resuspension and Water Quality in a Shallow, Eutrophic, Wind-Exposed Lake. *Ecological Modelling*. 220: 1251–1265.

CIFFROY, P., G. DURRIEU, J.-M. GARNIER. 2009. Robabilistic Distribution Coefficients (Kds) In Freshwater For Radioisotopes Of Ag, Am, Ba, Be, Ce, Co, Cs, I, Mn, Pu, Ra, Ru, Sb, Sr And Th – Implications For Uncertainty Analysis of Models Simulating The Transport of Radionuclides in Rivers. *Journal of Environmental Radioactivity* 100: 785–794.

COELHO, S., S. GAMITO, A. PEREZ-RUZAFIA. 2007. Trophic State of Foz De Almargem Coastal Lagoon (Algarve, South Portugal) Based on The Water Quality and The Phytoplankton Community. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 71: 218-231.

CONVIS, C. L. 2001. Conservation Geograpy Case Studies in GIS, Computer Mapping and Activism. ESRI, USA. 219 p.

CUONG, D., S. KARUPPIAH, J. OBBARD. 2008. Distribution of Heavy Metals in The Dissolved and Suspended Phase of The Sea-Surface Microlayer, Seawater Column and in Sediments of Singapore's Coastal Environment. *Environ Monit Assessment*. 138:255–272

ÇAVUŞOĞLU K, Ş. ÇAKIR, T. KIRIND. 2006. Kırıkkale İlinin Çeşitli Bölgelerinde Yol Kenarlarından Toplanan *P. nigra* (J.F. Arnold) subsp. *nigra* var. *caramanica* (Loudon) Rehder Türündeki Kurşun (Pb) Kirliliğın Araştırılması. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11, 11–25.

ÇELİK K., T. ONGUN. 2008. Spatial and Temporal Dynamics of The Steady-State Phytoplankton Assemblages in a Temperate Shallow Hypertrophic Lake (Lake Manyas, Turkey). *Limnology* Vol. 9: 115–123.

DALKIRAN N., D. KARACAOĞLU, Ş. DERE, E. ŞENTÜRK, T. TORUNOĞLU. 2006. Factors Affecting The Current Status of a Eutrophic Shallow Lake (Lake Uluabat, Turkey): Relationships Between Water Physical and Chemical Variables. *Chemistry and Ecology* Vol. 22, No. 4, 279–298.

DALKIRAN, N. 2006. Orhaneli ayı'nın Epilitik Diyatomeleleri ve Bentik Omurgasızlarının İlişkilendirilmesi İle Kirlilik Düzeyinin Saptanması, Doktora Tezi, Bursa. 412 s.

DELPLA, I. A.V. JUNG, E. BAURES, M. CLEMENT, O. THOMAS. 2009. Impacts of Climate Change on Surface Water Quality in Relation to Drinking Water Production. *Environment International* 35: 1225–1233.

DEMİR, A.O., E. AKSOY, T. TORUNOĞLU. 1998. Uluabat Gölü'nün Çevresel Sorunları ve Çözüm Önerileri. T.C. Bursa Büyükşehir Belediyesi Yerel Gündem 21 Genel Sekreterliği Uluabat Çalışma Grubu, Bursa. 25 s.

DİN, S. M. N. 1999. A Geochemical Survey and Water Quality Modelling Study of The Lake St. Clair Water System. University of Windsor, Master Thesis, Ontario, Canada. 143 p.

DUMAN F., A. AKSOY, D. DEMİREZEN. 2007. Seasonal Variability of Heavy Metals in Surface Sediment of Lake Sapanca, Turkey. *Environ Monit Assess* 133: 277–283.

DVAĪ, G., J. MOLDOVAN. 1983. An Attempt to Trace Eutrophication in a Shallow Lake (Balaton, Hungary) Using Chironomids. *Hydrobiologia* 103, 169-175.

ELMACI A., A. TEKSOY, F. OLCAY TOPAÇ, N. ÖZENGİN, S. KURTOĞLU, H. SAVAŞ BAŞKAYA. 2007. Assessment of Heavy Metals in Lake Uluabat, Turkey. *African Journal of Biotechnology* Vol. 6 (19), pp. 2236-2244.

ELMACI A., A. TEKSOY, F. OLCAY TOPAÇ, N. ÖZENGİN, H. SAVAŞ BAŞKAYA. 2008. Uluabat Gölünün Mikrobiyolojik Özelliklerinin Mevsimsel Değişiminin İzlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 13, Sayı 1, 2008.

EMİROĞLU, Ö., ŞAHİN, Y. SARI, H. M. 2009. Zararlı ve İstilacı Bir Tür Olan *Carasius gibelio*'nun Uluabat Gölü Balıkçılığı Üzerine Verdiği Zararlar. Türkiye Sulakalanlar Kongresi Bildiriler Kitabı. Eskikaraağaç Köyü-Bursa, 22-23 Mayıs 2009, sayfa 201-209. 262 s.

ERDEM, C. 1990. *Tilapia Nilotica* (L.)'da Karaciğer, Dalak, Solungaç ve Kas Dokularında Kadmiyum Birikimi. *Biyokimya Dergisi*, XV, 3, 13-22.

FANG, X., H. G. STEFAN. 1997. Simulated Climate Change Effects On Dissolved Oxygen Characteristics in Ice-Covered Lakes. *Ecological Modelling* 103: 209-229.

FANG, X., H. G. STEFAN. 1998. Potential Climate Warming Effects on Ice Covers of Small Lakes In The Contiguous U.S. Cold Regions Science and Technology 27: 119-140.

FANG, X. H. G. STEFAN, J. G. EATON, J. H. MCCORMICK, S. R. ALAM. 2004. Simulation of Thermal/Dissolved Oxygen Habitat for Fishes in Lakes Under Different Climate Scenarios Part 1. Cool-Water Fish in The Contiguous US. *Ecological Modelling* 172: 13-37.

FARKAS, A., SALÁNKI, J., SPECZİÁR, A. 2003. Age- and Size-Specific Patterns of Heavy Metals in the Organs of Freshwater Fish *Abramis Brama* L. Populating a Low-Contaminated Site. *Water Research* 37, 959-964.

FARKAS A., C. ERRATICO, L. VIGANO. 2007. Assessment of The Environmental Significance of Heavy Metal Pollution in Surficial Sediments of The River Po. *Chemosphere* Vol. 68: 761-768.

FERNÁNDEZ, M. S. CUESTA, O. JIMÉNEZ, M. A. GARCÍA, L. M. HERNÁNDEZ, M. L. MARINA, M. J. GONZÁLEZ. 2000. Organochlorine and Heavy Metal Residues in the Water/Sediment System of Southeast Regional Park in Madrid, Spain. *Chemosphere* 41, 801-812.

FILGUEIRAS, A. V., I. LAVILLA, C. BENDICHO. 2004. Evaluation of Distribution, Mobility and Binding Behaviour of Heavy Metals in Surficial Sediments of Louro River (Galicia, Spain) Using Chemometric Analysis: A Case Study. *Science of the Total Environment*. 330: 115–129.

FRANCO, C., SOARES, A., DELGADO, J. 2006. Geostatistical Modelling of Heavy Metal Contamination in The Topsoil of Guadiamar River Margins (S Spain) Using A Stochastic Simulation Technique, *Geoderma*, 136: 852-864

GONDAR D., S.A. THACKER, E. TIPPING, A. BAKER. 2008. Functional variability of dissolved organic matter from the surface water of a productive lake. *Water Research* Vol. 42: 81–90.

GUE'GUEN C., J. DOMINI'K. 2003. Partitioning of Trace Metals Between Particulate, Colloidal and Truly Dissolved Fractions in a Polluted River: The Upper Vistula River (Poland). *Applied Geochemistry* Vol. 18: 457–470.

GUO S., X. WANG, L. YU, C. JIE-JIANG, Y. JUN-CHENG. 2006. Investigation on Fe, Mn, Zn, Cu, Pb and Cd Fractions in The Natural Surface Coating Samples and Surficial Sediments in The Songhua River, China. *Journal of Environmental Sciences* Vol. 18(6): 1193-1198.

GÜNDOĞDU, V., E. TORUSDAĞ, D. SARIKAYA. 2005. İzmir Kuş Cenneti Sulak Alanının Ekolojik Yapısı Ve Su Kirliliği İzleme Çalışması. *Ekoloji Dergisi* Cilt: 14, Sayı: 54, sf. 31-36

HAS-SCHO'N E., I. BOGUT, V. RAJKOVIĆ, S. BOGUT, M. ČACIĆ, J. HORVATIĆ. 2008. Heavy Metal Distribution in Tissues of Six Fish Species Included in Human Diet, Inhabiting Freshwaters of the Nature Park “Hutovo Blato” (Bosnia and Herzegovina). *Arch Environ Contam Toxicol* Vol. 54: 75–83.

HE, Z., X. E. YANG, P. J. STOFFELLA. 2005. Trace Elements in Agroecosystems and Impacts on the Environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 19, 125-140.

HEJZLAR, J., V. VYHNÁLEK. 1998. Longitudinal Heterogeneity of Phosphorus and Phytoplankton Concentrations in Deep-valley Reservoirs. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 83: 139-146.

IKEM A., N. O. EGIEBOR, K. NYAVOR. 2003. Trace Elements in Water, Fish and Sediment From Tuskegee Lake, Southeastern USA. *Water, Air, and Soil Pollution* 149: 51–75.

INTERLANDI, S. J. 2002. Nutrient–Toxicant Interactions in Natural and Constructed Phytoplankton Communities: Results of Experiments in Semi-Continuous and Batch Culture. *Aquatic Toxicology* 61: 35–51.

ISCEN C. F., Ö. EMİROGLU, S. ILHAN, N. ARSLAN, V. YILMAZ, S.AHISKA. 2007. Application of Multivariate Statistical Techniques in The Assessment of Surface Water Quality in Uluabat Lake, Turkey. *Environ Monit Assess.* Vol. 144:269–276.

ITURBE, S. L. G. 2005. Simulation Of Physical and Chemical Processes In Reservoirs: Two Case Studies. University of North Texas, Doctoral Thesis, Texas. 206 p.

KACAR, B. 1994. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri III. Toprak Analizleri. A.Ü.Z.F. Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No:3

KAPETSKY, J. M. 2000. Present Applications and Future Needs of Meteorological and Climatological Data in Inland Fisheries and Aquaculture. *Agricultural and Forest Meteorology* 103: 109–117.

KARACAOĞLU, D. 2000. Uluabat Gölü'nün (Bursa) Fitoplanktonunun Mevsimsel Değişimi. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa. 152 s.

KARADEDE, H., ÜNLÜ, E. 2000. Concentrations of Some Heavy Metals in Water, Sediment and Fish Species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Chemosphere* 41, 1371-1376.

KARADEDE, H. 2002. Dicle Nehri'nde Su, Sediment ve Bazı Canlı Organizmalardaki Ağır Metal Birikiminin Araştırılması. Doktora Tezi. Diyarbakır. 145 s.

KARADEDE, H., S. OYMAK, E. UNLU. 2004. Heavy Metals in Mullet, Liza Abu, and Catfish, *Silurus Triostegus*, From The Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Environment International* 30: 183– 188.

KARAER, F., 1996. Environmental Pollution and Carcinogenic Risk. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology* 15, 105-113.

KARAER, F., A. KÜÇÜKBALLI. 2006. Monitoring of Water Quality and Assessment of Organic Pollution Load in the Nilüfer Stream, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 114, 391-417.

KARAER, F., A. KATİP, E. AKSOY, S. İLERİ, S. SARMAŞIK. 2009. Sulak alanların önemi, sorunları ve Uluabat Gölü, Türkiye Sulak Alanlar Kongresi Bildiriler Kitabı, 81-87.

KARAKOÇ G., F. Ü. ERKOÇ, H. KATIRCIOĞLU. 2003. Water Quality and Impacts of Pollution Sources for Eymir and Mogan Lakes (Turkey). *Environment International* Vol. 29: 21– 27.

KELDERMAN P., A.A. OSMAN. 2007. Effect of Redox Potential on Heavy Metal Binding Forms Inpolluted Canal Sediments in Delft (The Netherlands). *Water Research* Vol. 41: 4251 – 4261.

KISHE M.A., F. MACHIWA. 2003. Distribution of Heavy Metals in Sediments of Mwanza Gulf of Lake Victoria, Tanzania. *Environment International* Vol. 28(7): 619-625.

KOECKRITZ, T., J. THÖMING, C. GLEYZES, K. E. ØDEGARD. 2001. Simplification of a Sequential Extraction Scheme To Determine the Mobilisable Heavy Metal Pool in Soils. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica* 29: 4, 197-205.

KOJIMA, S., T. SAITO, J. TAKADA, M. FURUKAWA, H. ODA, T. NAKAMURA, K. YOKOTA. 2003. Neutron Activation Analysis Of Trace Elements At Sediment–Water Interface in The Biwa Lake, Japan. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 255, No. 1 (2003) 119–123

KÖSE E., K. UYSAL. 2008. Cinsi Olgunluğa Erişmemiş Pullu Sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758)'ların Kas, Deri ve Solungaçlarındaki Ağır Metal Akümülyasyon Oranlarının Karşılaştırılması. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, sayı: 17, ISSN-1302-3055.

KUCUKSEZGİN, F., ULUTURHAN, E., BATKI, H. 2001. Distributiono Heavy Metals in Water, Particulate Matter and Sediments of Gediz River (Eastern Aegean). *Environ Monit Assess* 141:213–225.

KURTOĞLU S., 2006. Uluabat Göl Sedimentinde Bazı Kimyasal Parametrelerin ve Mevsimsel Değişimlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi.

KÜÇÜKBALLI A., F. KARAER, S. AKDENİZ, A. ERTÜRK. 2005. Doğal Kaynak Yönetiminde Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanımı. *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu*. İTÜ, Kocaeli Üniv., İTÜ Bulanık Mantık ve Teknolojisi Kulübü, Su Vakfı. Kocaeli, 272-279.

LANDAJO, A., G. ARANA, A. DİEGO, N. ETXEBARRÍA, O. ZULOAGA, D. AMOUROUX. 2004. Analysis of Heavy Metal Distribution in Superficial Estuarine

Sediments (Estuary of Bilbao, Basque Country) By Open-Focused Microwave-Assisted Extraction and ICP-OES. *Chemosphere*. 56: 1033–1041.

LANG, L. 1998. *Managing Natural Resources with GIS*. Environmental Systems Research Institute, USA. 117 p.

LAU, S.S.S., L.M.CHU. 1999. Contaminant Release From Sediments in a Coastal Wetland. *Water Research* Vol. 33: 909–918.

LAW, T., W. ZHANG, J. ZHAO, G. B. ARHONDITSIS. 2009. Structural Changes in Lake Functioning induced from Nutrient Loading and Climate Variability. *Ecological Modelling* 220: 979–997.

LAWSON, R., M. A. ANDERSON. 2007. Stratification and Mixing in Lake Elsinore, California: An Assessment of Axial Flow Pumps for Improving Water Quality in a Shallow Eutrophic Lake. *Water Research*. 41: 4457 – 4467.

LEÃO, P. N., M. T. S. D. VASCONCELOS, V. M. VASCONCELOS. 2006. Role of Marine Cyanobacteria in Trace Metal Bioavailability in Seawater. *Microbial Ecology*. 53, 104–109.

LIU, H., L. LIQING, Y. CHENGGQING, S. BAOQING. 2008. Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Moshui Lake. *Journal of Environmental Sciences* 20: 390-397.

LIU, Y. X. LV, X. QIN, H. GUO, Y. YU, J. WANG, G. MAO. 2007. An Integrated GIS-Based Analysis System for Land-Use Management of Lake Areas in Urban Fringe. *Landscape and Urban Planning*. 82: 233–246.

LI, X., S. LEE, S. WONG, W. SHI, L. THORNTON. 2004. The Study of Metal Contamination in Urban Soils of Hong Kong Using a GIS-Based Approach. *Environmental Pollution* 129, 113–124.

MA, L. Q., G.N. RAO. 1997. Chemical Fractionation of Cadmium, Copper, Nickel and Zinc in Contaminated Soils. *Journal of Environmental Quality* 26, 1.

MALMAEUS, J. M., T. BLECKNER, H. MARKENSTEN, I. PERSSON. 2006. Lake Phosphorus Dynamics and Climate Warming: A Mechanistic Model Approach. *Ecological Modelling* 190: 1–14.

MATTHEWS, R., M. HILLES, G. PELLETIER. 2002. Determining Trophic State in Lake Whatcom, Washington (USA), A Soft Water Lake Exhibiting Seasonal Nitrogen Limitation. *Hydrobiologia* 468: 107–121.

MCGRATH, D., C. ZHANG, O. T. CARTON. 2004. Geostatistical Analyses and Hazard Assessment on Soil Lead in Silvermines Area, Ireland. *Environmental Pollution* 127, 239–248.

MERİÇ, M.A., ÖZER, U., ÖNEL, A. 1994. Uluabat Gölü ve Havzasında Su Kalite Tespiti ve İyileştirme Önerileri Raporu, Bursa.

MIL-HOMENS, M., R.L. STEVENS, F. ABRANTES, I. CATO. 2006. Heavy Metal Assessment for Surface Sediments from Three Areas of The Portuguese Continental Shelf. *Continental Shelf Research*. 26: 1184–1205.

MILLIKEN, G. A., D. E. JOHNSON. 1992. *Analysis Of Messy Data*. Chapman & Hall. 472 p.

MINGBIAO L., L. JIANQIANG, C. WEIPENG, M. WANG. 2008. Study of Heavy Metal Speciation in Branch Sediments of Poyang Lake. *Journal of Environmental Sciences* Vol. 20: 161–166.

NAUEN, C. E. 1983. *Compilation of Legal Limits for Hazardous Substances in Fish and Fishery Products*. United Nations Food and Agriculture Organization.

NELSON, R. E. 1982. Carbonate and Gypsum. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, Ed.A.L. Page. American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series, No.9, Madison, Wisconsin, USA. pp: 181-196.

NGUYEN, H. L., M. LEERMAKERS, J. OSÁN, S. TÖRÖK, W. BAEYENS. 2005. Heavy Metals in Lake Balaton: Water Column, Suspended Matter, Sediment and Biota. Science of the Total Environment 340, 213-230.

NGUYEN, H. L., M. LEERMAKERS, M. ELSKENS, F. D. RIDDER, T. H. DOAN, W. BAEYENS. 2005 a. Correlations, Partitioning And Bioaccumulation Of Heavy Metals Between Different Compartments Of Lake Balaton. Science of the Total Environment 341: 211– 226.

ÖZTÜRK M., G. ÖZÖZEN, O. MİNARECİ, E. MİNARECİ. 2009. Determination of Heavy Metals in Fish, Water and Sediments of Aşar Dam Lake in Turkey. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng. Vol. 6(2): 73-80.

PAPAGIANNIS, I., I. KAGALOU, J. LEONARDOS, D. PETRIDIS, V. KALFAKAKOU. 2004. Copper and Zinc in Four Freshwater Fish Species from Lake Pamvotis (Greece). Environment International 30, 357– 362.

PAPATHEODOROU G., G. DEMOPOULOUA, N. LAMBRAKIS. 2006. A Long Term Study of Temporal Hydrochemical Data in a Shallow Lake Using Multivariate Statistical Techniques. Ecological Modelling Vol. 193: 759–776.

PARDO R, E. BARRADO, L. PÉREZ, M. VEGA. 1990. Determination and Speciation of Heavy Metals in Sediments of The Pisuerga River. Wat Res. Vol. 24: 373-379.

PARSONS, R.T., J.D. STRICKLAND. 1963. Discussion of Spectrofotometric Determination of Marine Plant-Pigments with Revised Equations for as Certaining Chlorophyll and Carotenoids. Journal of Marine Resources, 21: 155-163.

PEKEY, H. 2006. The Distribution and Sources of Heavy Metals in İzmit Bay Surface Sediments Affected by a Polluted Stream. *Marine Pollution Bulletin* 52, 1197–1208.

RADOJEVIĆ, M., N. BASHKIN. 1999. *Practical Environmental Analysis*. The Royal Society of Chemistry, UK. 466 p.

RAKOCEVIĆ-NEDOVIĆ, J., H. HOLLERT. 2005. Phytoplankton Community and Chlorophyll *a* as Trophic State Indices of Lake Skadar (Montenegro, Balkan). *ESPR – Environ Sci & Pollut Res* 12 (3) 146 – 152.

RAMSEY, W. L., 1960. Dissolved Oxygen In Sweetwater Lake. *Limnol. Oceanogr.* , 3: 34-42.

RASHED, M. N. 2001. Monitoring of Environmental Heavy Metals in Fish From Nasser Lake. *Environment International* 27, 27-33.

REN-YING L., H. YANG, Z. ZHOU, L. JUN-JIE, S. XIAO-HUA, J. FENG. 2007. Fractionation of Heavy Metals in Sediments from Dianchi Lake, China. *Pedosphere* Vol. 17(2): 265-272.

ROSEMOND S., Q. XIE, K. LIBER. 2008. Arsenic Concentration and Speciation in Five Freshwater Fish Species from Back Bay near Yellowknife, NT, Canada. *Environ Monit Assess* Vol. 147: 199–210.

SALÁNKI, J., I. LICSKÓ. 1991. Heavy Metals in Lake Balaton (Case Study), in: *Guidelines in Lake Management*, Vol. 4. Toxic Substances Management in Lakes and Reservoirs. Ed: S. Matsui, ILEC, UNEP

SAX, N. I., V. NOSTRAND. 1974. *Industrial Pollution*. Reinhold Company, Newyork, Toronto, London.

SCHMIEDER, K. 1997. Littoral Zone - GIS of Lake Constance: a Useful Tool in Lake Monitoring and Autecological Studies with Submersed Macrophytes. *Aquatic Botany*. 58: 333-346

SEAMAN, N. L. 2000. Meteorological Modeling for Air-Quality Assessments. *Atmospheric Environment* 34: 2231-2259.

SEKHAR, K. C., N.S. CHARY, C.T. KAMALA, D.S. RAJ, A. S. RAO. 2003. Fractionation Studies and Bioaccumulation of Sediment-bound Heavy Metals in Kolleru Lake by Edible Fish. *Environment International* 29, 1001-1008.

SHRESTHA S., F. KAZAMA. 2006. Assessment of Surface Water Quality Using Multivariate Statistical Techniques: A Case Study of The Fuji River Basin, Japan. *Environmental Modelling & Software* Vol. 22: 464–475.

SINGH, A., P. C. SRĪVASTAVA, P. SRĪVASTAVA. 2008. Relationships of Heavy Metals in Natural Lake Waters with Physico-chemical Characteristics of Waters and Different Chemical Fractions of Metals in Sediments. *Water Air Soil Pollut.* 188:181–193

SPEARS, B. M., L. CARVALHO, R. PERKĪNS, D .M. PATERSON. 2008. Effects of Light on Sediment Nutrient Flux and Water Column Nutrient Stoichiometry in a Shallow Lake. *Water Research*. 42: 977 – 986.

STRAŠKRABA, M., P. BLAŽKA, Z. BRANDL, P. HEJZLAR, J. KOMÁRKOVÁ, J. KUBEČKA, I. NESMĚRÁK, L. PROCHÁZKOVÁ, V. STRAŠKRABOVÁ, V. VYHNÁLEK. 1993. Framework for Investigation and Evaluation of Reservoir Water Quality in Czechoslovakia. *Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management*. 169-212.

STUMM, W., J. MORGAN. 1996. *Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Water*, third ed. Wiley, New York.

ŞENGÜL, F., A. MÜEZZİNOĞLU. 2001. Çevre Kimyası. DEÜ. Mühendislik Fakültesi, İzmir.

TACK, F. M., M.G. VERLOO. 1995. Chemical Speciation and Fractionation in Soil and Sediment Heavy Metal Analysis: A Review. *Analytical Chemistry* 59: 225-238.

TAILLEFERT, M., J. F. GAILLARD. 2002. Reaktive Transport Modeling of Trace Elements in the Water Column of A Stratified Lake: Iron Cycling and Metal Scavenging. *Journal of Hydrology*. 256:16-34.

TASDEMİR, Y., C. KURAL, S. S. CİNDORUK., N. VARDAR. 2006. Assessment of Trace Element Concentrations and Their Estimated Dry Deposition Fluxes in an Urban Atmosphere. *Atmospheric Research* 81: 17– 35.

TEKİN-ÖZAN S., İ. KİR. 2006. Concentrations of Some Heavy Metals in Organs of Two Fish Species from The Beyşehir Lake, Turkey, Fresen. *Environ. Bull.* 15 pp. 530–534.

TEKİN ÖZAN S., İ. KİR. 2007. Accumulation of Some Heavy Metals in *Raphidascaris acus* (Bloch, 1779) and Its Host (*Esox lucius* L., 1758). *Türkiye Parazitoloji Dergisi*, 31 (4): 327-329.

TEKİN-ÖZAN, S., İ. KİR. 2008. Seasonal Variations of Heavy Metals in Some Organs of Carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) from Beyşehir Lake (Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*. 138: 201-206.

TERESHCHENKO, I., A. FİLONOV, A. GALLEGOS, C. MONZÓN, R. RODRÍGUEZ. 2002. El Niño 1997–98 and The Hydrometeorological Variability of Chapala, a Shallow Tropical Lake in Mexico. *Journal of Hydrology* 264: 133–146.

TESSIER, A., P.G.C. CAMPBELL, M. BISSON. 1979. Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals. *Analytical Chemistry*, 51-7.

THIBODEAUX, L. J., 1996. Environmental Chemodynamics: Movement of Chemicals in Air, Water and Soil. John Willey & Sons Publications Second Edition. 593 s

TOKALIOĞLU Ş., Ş. KARTAL, L.ELÇİ. 2000. Determination of Heavy Metals and Their Speciation in Lake Sediments By Flame Atomic Absorption Spectrometry After a Four-Stage Sequential Extraction Procedure. Analytica Chimica Acta Vol. 413: 33–40.

TSANIS, I.K., PRESCOTT, K.L. 1998. SHEN, H., Modelling of Phosphorus and Suspended Solids in Cootes Paradise Marsh, Ecological Modelling, 114: 1-17. Turkey. Arch. Hydrobiol. 166 (4): 535–556.

UYSAL, K., ATALAY, M.A. 2007. DPÜ Göleti'nde Ekstansif Yetiştiriciliği Yapılan Aynalı Sazanların (Cyprinus Carpio) Gelişimi ve Ağır Metal Akümülyasyon Oranlarının Değerlendirilmesi. Türk Sucul Yaşam Dergisi, 3-5, 5-8, 663-670.

UYSAL, K., Y. EMRE, E. KÖSE. 2008. The Determination of Heavy Metal Accumulation Ratios in Muscle, Skin and Gills of Some Migratory Fish Species By Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) in Beymelek Lagoon (Antalya/Turkey). Microchemical Journal. 90: 67-70.

ÜNAL, H., H. S. BAŞKAYA. 1981. Toprak Kimyası. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 759:218. 270 s.

ÜNLÜ, A., G. USLU. 1999. Hazar Gölü'nde Su Kalitesinin Değerlendirilmesi, Ekoloji Dergisi Cilt: 8, Sayı: 32, sf. 7-13

VOLKENBORN, N., S. I. C. HEDTKAMP, J. E. E. VAN BEUSEKOM, K. REISE. 2007. Effects of Bioturbation and Bioirrigation by Lugworms (Arenicola Marina) On Physical and Chemical Sediment Properties and Implications for Intertidal Habitat Succession. Estuarine, Coastal and Shelf Science 74: 331-343.

WANG S., X. JİN, Y. PANG, H. ZHAO, X. ZHOU, F. WU. 2005. Phosphorus Fractions and Phosphate Sorption Characteristics in Relation to The Sediment

Compositions of Shallow Lakes in The Middle and Lower Reaches of Yangtze River region, China. *Journal of Colloid and Interface Science* Vol. 289: 339–346.

WANG S., X. JIN, Q. BU, L. JIAO, F. WU. 2008. Effects of Dissolved Oxygen Supply Level on Phosphorus Release From Lake Sediments. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* Vol. 316: 245–252.

WANG, H., C. X. WANG, Z. J. WANG, Z. H. CAO. 2004. Fractionation of Heavy Metals in Surface Sediments of Taihu Lake, East China. *Environmental Geochemistry and Health* 26, 303-309.

WOITKE, P., J. WELLMITZ, D. HELM, P. KUBE, P. LEPOM, P. LITHERATY. 2003. Analysis and Assessment Oof Heavy Metal Pollution in Suspended Solids and Sediments of The River Danube. *Chemosphere* Vol. 51: 633–642.

XU, F.L., S. TAO, R.W. DAWSON, B.G. LI. 2001. A GIS-Based Method of Lake Eutrophication Assesment. *Ecological Modelling*, 144: 231-244.

YANG, R., T. YAO, B. XU, G. JIANG, X. XIN. 2007. Accumulation Features of Organochlorine Pesticides and Heavy Metals in Fish from High Mountain Lakes and Lhasa River in the Tibetan Plateau. *Environment International* 33, 151–156.

YENİLMEZ, F., F. KESKİN, A. AKSOY. 2009. Çevre Koşullarının Eymir Gölü Su Kalitesine Etkileri. VIII. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Çevre Hukuk Siyaset. 12-14 Kasım. Antalya.

YILMAZ, F., N. ÖZDEMİR, A. DEMİRAK, A. L. TUNA. 2007. Heavy Metal Levels in Two Fish Species *Leuciscus Cephalus* and *Lepomis Gibbosus*. *Food Chemistry* Vol. 100: 830–835.

YILMAZ, S., M. YILMAZ, N. POLAT. 2007. Altinkaya Baraj Gölü (Samsun)'Ndeki *Silurus Glanis* L., 1758 Populasyonunda Yaş-Boy, Yaş-Ağırlık ve Boy-Ağırlık İlişkileri

Üzerine Bir Araştırma. SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi (E-Dergi)., 2(1), 18-26.

YİĞİTERHAN O., J. W. MURRAY. 2008. Trace Metal Composition of Particulate Matter of The Danube River and Turkish Rivers Draining into The Black Sea. *Marine Chemistry* Vol. 111: 63–76.

YUAN C.G., J.SHI, B. HE, J. LIU, L. LIANG, G. JIANG. 2004. Speciation of Heavy Metals in Marine Sediments From The East China Sea By ICP-MS With Sequential Extraction. *Environment International* Vol. 30: 769– 783.

YUN-ZENG, C., Y.Z., Y. HAO, Z. ZHEN-KE, Q. MING-ZHOU, J. FENG, L. JUN JIE. 2007. Application of Equilibrium Partitioning Approach to The Derivation of Sediment Quality Guidelines for Metals in Dianchi Lake. *Pedosphere* 17(3): 284-294.

ZEÏEN, H., G.W. BRÜMMER. 1989. Chemische Extraktionen Zur Bestimmung Von Schwermetallbindungs Formen in Böden. *Mitteilgn Dtsch. Badenkundl. Gesellsch.* 59, 505-510.

ZENGİN, O. 2008. Van Gölü ve Gölü Besleyen Kaynaklarda Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 120 s.

ZHANG, C., P. O'CONNOR. 2005. Comparison Between Heavy Metal Concentrations in Sediments Analysed by Two Methods: Analyses on Detection Limits and Data Quality. *Applied Geochemistry* 20, 1737–1745.

ZYADAH, M.A. 1999. Accumulation of Some Heavy Metals in Tilapia Zilli Organs from Lake Manzalah Egypt. *Doğa Turkish J. Zool.* 23, 367-372.

**EK-1 NOKTASAL KİRLETİCİ KAYNAKLARA AİT SU KALİTESİ
PARAMETRELERİ KONSANTRASYONLARININ YILLIK
ORTALAMA VE STANDART SAPMA DEĞERLERİ**

Çizelge 1. Mustafakemalpaşa Çayı (9. istasyon)

| Parametre | Ort±SD | Aralık |
|--------------------------------------|---------------|---------------|
| AKM (mg/l) | 48,33±39,54 | 108-4 |
| Alkalinite (mg CaCO ₃ /l) | 289,37±52,78 | 362,5-212,5 |
| BOI (mg/l) | 24,75±8,83 | 50-15 |
| Çözünmüş Oksijen (mg/l) | 7,29±1,04 | 8,82-5 |
| İletkenlik (µs/cm) | 643,75±107,2 | 788-446 |
| Klorofil-A (mg/m ³) | 9,6±12,94 | 41-0,1187 |
| KOI (mg/l) | 41,33±12,68 | 64-16 |
| NH ₄ -N (mg/l) | 0,35±1,012 | 3,5-0 |
| NO ₃ -N (mg/l) | 0,583±1,426 | 4,9-0 |
| TN (mg/l) | 9,74±9,05 | 35,7-2,8 |
| pH Parametresi | 8±0,386 | 8,62-7,38 |
| Sertlik (mg CaCO ₃ /l) | 331,66±60,91 | 414-260 |
| Sıcaklık (°C) | 23,85±8,001 | 34,6-11,6 |
| PO ₄ -P (mg/l) | 0,1051±0,1024 | 0,3585-0,0105 |
| TP (mg/l) | 0,1304±0,1134 | 0,4284-0,0211 |

Çizelge 2. Akçalar Deresi

| Parametre | Ort±SD | Aralık |
|--------------------------------------|----------------|---------------|
| AKM (mg/l) | 84,61±90,42 | 292-4 |
| Alkalinite (mg CaCO ₃ /l) | 397,29±102,83 | 432,5-280 |
| BOI (mg/l) | 61,61±68,47 | 280-30 |
| Çözünmüş Oksijen (mg/l) | 3,909±1,81 | 6,32-0,22 |
| İletkenlik (µs/cm) | 1076,46±273,78 | 1365-487 |
| Klorofil-A (mg/m ³) | 5,27±5,8 | 16,44-0,652 |
| KOI (mg/l) | 114,46±165,78 | 640-48 |
| NH ₄ -N (mg/l) | 2,53±2,07 | 7,7-0 |
| NO ₃ -N (mg/l) | 3,87±3,86 | 13,3-0 |
| TN (mg/l) | 21,54±21,97 | 67,9-1,4 |
| pH Parametresi | 7,37±0,46 | 8,15-6,36 |
| Sertlik (mg CaCO ₃ /l) | 342,5±72,86 | 450-172 |
| Sıcaklık (°C) | 21,64±8,95 | 33,6-10,5 |
| PO ₄ -P (mg/l) | 0,3919±0,2142 | 0,7221-0,1469 |
| TP (mg/l) | 0,48±0,196 | 0,7456-0,1752 |

Çizelge 3. Atabay Pompa İstasyonu

| Parametre | Ort±SD | Aralık |
|--------------------------------------|----------------|---------------|
| AKM (mg/l) | 12,61±8,238 | 32-4 |
| Alkalinite (mg CaCO ₃ /l) | 537,5±154,54 | 845-347,5 |
| BOI (mg/l) | 34,96±15,91 | 75-20 |
| Çözünmüş Oksijen (mg/l) | 4,13±1,44 | 5,77-0,22 |
| İletkenlik (µs/cm) | 1311,31±367,69 | 1958-839 |
| Klorofil-A (mg/m ³) | 6,54±8,36 | 26,37-0,367 |
| KOI (mg/l) | 51,69±19,44 | 96-32 |
| NH ₄ -N (mg/l) | 0,969±1,35 | 3,5-0 |
| NO ₃ -N (mg/l) | 1,938±3,69 | 11,2-0 |
| TN (mg/l) | 10,353±10,05 | 33,6-0,7 |
| pH Parametresi | 7,59±0,34 | 8,25-6,88 |
| Sertlik (mg CaCO ₃ /l) | 621,53±143,08 | 790-408 |
| Sıcaklık (°C) | 23,71±7,91 | 32,5-11,1 |
| PO ₄ -P (mg/l) | 0,3059±0,1741 | 0,6133-0,0413 |
| TP (mg/l) | 0,4084±0,1651 | 0,6749-0,1574 |

Çizelge 4. Karaoğlan Pompa İstasyonu

| Parametre | Ort±SD | Aralık |
|--------------------------------------|---------------|---------------|
| AKM (mg/l) | 10,33±10,43 | 40-4 |
| Alkalinite (mg CaCO ₃ /l) | 335,41±49,5 | 425-255 |
| BOI (mg/l) | 17,08±7,32 | 32-10 |
| Çözünmüş Oksijen (mg/l) | 5,09±1,11 | 6,2-2,8 |
| İletkenlik (µs/cm) | 732,58±108,78 | 927-455 |
| Klorofil-A (mg/m ³) | 7,38±7,21 | 26,599-1,305 |
| KOI (mg/l) | 24,66±9,31 | 40-16 |
| NH ₄ -N (mg/l) | 0,175±0,606 | 21,-0 |
| NO ₃ -N (mg/l) | 1,575±2,688 | 9,1-0 |
| TN (mg/l) | 6,358±5,016 | 16,8-0,7 |
| pH Parametresi | 7,33±0,49 | 8,28-6,81 |
| Sertlik (mgCaCO ₃ /l) | 230±31,84 | 280-184 |
| Sıcaklık (°C) | 23,69±7,71 | 34,1-10,7 |
| PO ₄ -P (mg/l) | 0,0232±0,022 | 0,0647-0 |
| TP (mg/l) | 0,0452±0,0256 | 0,0888-0,0186 |

Çizelge 5. Uluabat Pompa İstasyonu

| Parametre | Ort±SD | Aralık |
|--------------------------------------|----------------|---------------|
| AKM (mg/l) | 18,46±13,04 | 96-4 |
| Alkalinite (mg CaCO ₃ /l) | 525±120,04 | 705-292,5 |
| BOI (mg/l) | 32,61±17,15 | 50-17,5 |
| Çözünmüş Oksijen (mg/l) | 4,28±1,603 | 6,15-0,15 |
| İletkenlik (µs/cm) | 1533,84±550,42 | 2220-824 |
| Klorofil-A (mg/m ³) | 10,71±8,15 | 22,21±2,61 |
| KOI (mg/l) | 48±22,06 | 96-32 |
| NH ₄ -N (mg/l) | 1,88±2,83 | 6,3-0 |
| NO ₃ -N (mg/l) | 0,753±1,41 | 4,9-0 |
| TN (mg/l) | 9,007±5,568 | 18,9-3,5 |
| pH Parametresi | 7,55±0,37 | 8,12-6,76 |
| Sertlik (mg CaCO ₃ /l) | 632,46±149,68 | 778-396 |
| Sıcaklık (°C) | 23,7±8,59 | 34,4-10,8 |
| PO ₄ -P (mg/l) | 0,4643±0,2396 | 0,7685-0,1011 |
| TP (mg/l) | 0,439±0,268 | 0,7947-0,031 |

EK-2 NOKTASAL KİRLETİCİ KAYNAKLARA AİT ÇH VE AKMTH BULUNAN AĞIR METAL VE İZ ELEMENT KONSANTRASYONLARININ YILLIK ORTALAMA VE STANDART SAPMA DEĞERLERİ

Çizelge 1. Mustafakemalpaşa Çayı ÇH Bulunan Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonları

| Element | Ort±SD | Aralık |
|---------|-------------------|------------------|
| As | 0,00874 ± 0,00718 | 0,00231 - 0,0279 |
| Cr | 0,03257 ± 0,0534 | 0,00345 - 0,1974 |
| Cd | 0,00493 ± 0,00364 | 0 - 0,0107 |
| Pb | 0,03509 ± 0,02375 | 0,0111 - 0,077 |
| Cu | 0,00699 ± 0,00554 | 0,000174 - 0,02 |
| Ni | 0,0148 ± 0,0105 | 0,00295 - 0,0429 |
| B | 2,78984± 1,47085 | 0,2736 - 4,7709 |
| Fe | 0,342 ± 0,2762 | 0,1106 - 0,9064 |
| Mn | 0,0115 ± 0,00552 | 0,00521 - 0,0222 |
| Zn | 0,1905 ± 0,2508 | 0,00408 - 0,8508 |

Çizelge 2. Akçalar Deresi ÇH Bulunan Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonları

| Element | Ort±SD | Aralık |
|---------|--------------------|-------------------|
| As | 0,0118 ± 0,0207 | 0,00066 - 0,0699 |
| Cr | 0,0167 ± 0,0099444 | 0,005022 - 0,0408 |
| Cd | 0,00482 ± 0,00333 | 0,001218 - 0,0111 |
| Pb | 0,03314 ± 0,01457 | 0,01125 - 0,065 |
| Cu | 0,021 ± 0,04 | 0 - 0,144 |
| Ni | 0,0192 ± 0,0159 | 0,00545 - 0,0597 |
| B | 1,39932 ± 1,44574 | 0,0186 - 4,0937 |
| Fe | 0,391 ± 0,381 | 0,1022 - 1,4931 |
| Mn | 0,1269 ± 0,1477 | 0,0145 - 0,4638 |
| Zn | 0,2115 ± 0,2888 | 0,0416 - 1,0958 |

Çizelge 3. Atabay Pompa İstasyonu ÇH Bulunan Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonları

| Element | Ort±SD | Aralık |
|---------|--------------------|-------------------|
| As | 0,0344 ± 0,0231 | 0,000663 - 0,0819 |
| Cr | 0,0261 ± 0,0186 | 0,005682 - 0,0582 |
| Cd | 0,00477 ± 0,00373 | 0 - 0,0116 |
| Pb | 0,021609 ± 0,01493 | 0,000627 - 0,0412 |
| Cu | 0,0200 ± 0,03948 | 0,00099 - 0,144 |
| Ni | 0,0194 ± 0,0153 | 0,004821 - 0,0579 |
| B | 1,81915 ± 1,12819 | 0,0186 - 3,5342 |
| Fe | 0,4404 ± 0,5294 | 0,0599 - 1,5795 |
| Mn | 0,3824 ± 0,6611 | 0,0209 - 2,3183 |
| Zn | 0,1501 ± 0,17 | 0,0236 - 0,6015 |

Çizelge 4. Karaoğlan Pompa İstasyonu ÇH Bulunan Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonları

| Element | Ort±SD | Aralık |
|---------|---------------------|-------------------|
| As | 0,004675 ± 0,003931 | 0,001080 - 0,0129 |
| Cr | 0,0155 ± 0,0099164 | 0,003041 - 0,0327 |
| Cd | 0,004635 ± 0,003451 | 0,000754 - 0,0102 |
| Pb | 0,02822 ± 0,02086 | 0 - 0,0713 |
| Cu | 0,008071 ± 0,00734 | 0 - 0,0265 |
| Ni | 0,0187 ± 0,0162 | 0,003921 - 0,0595 |
| B | 0,54242 ± 0,48913 | 0,0999 - 1,7028 |
| Fe | 0,2522 ± 0,1694 | 0,0727 - 0,661 |
| Mn | 0,0477 ± 0,0344 | 0,0172 - 0,1434 |
| Zn | 0,2349 ± 0,3745 | 0,005079 - 1,3428 |

Çizelge 5. Uluabat Pompa İstasyonu ÇH Bulunan Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonları

| Element | Ort±SD | Aralık |
|---------|---------------------|-------------------|
| As | 0,0354 ± 0,019 | 0,0108 - 0,0702 |
| Cr | 0,0433 ± 0,0771 | 0,007767 - 0,2846 |
| Cd | 0,004697 ± 0,003171 | 0,00088 - 0,0105 |
| Pb | 0,02046 ± 0,01149 | 0 - 0,0469 |
| Cu | 0,006293 ± 0,006798 | 0 - 0,0232 |
| Ni | 0,0431 ± 0,0755 | 0,00559 - 0,2813 |
| B | 1,6804 ± 0,82695 | 0,51987 - 2,7679 |
| Fe | 0,4253 ± 0,3345 | 0,113 - 1,345 |
| Mn | 0,203 ± 0,2185 | 0,0123 - 0,6823 |
| Zn | 0,138 ± 0,1312 | 0,0384 - 0,5143 |

Çizelge 6. Mustafakemalpaşa Çayı AKMTH Bulunan Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonları

| Element | Ort±SD | Aralık |
|---------|-----------------------|----------------------|
| As | 0,8529 ± 0,8626 | 0,2127 - 2,6295 |
| Cr | 8,6404 ± 10,0673 | 0 - 33,5668 |
| Cd | 0,9438 ± 0,7526 | 0,1115 - 2,5259 |
| Pb | 5,63874 ± 3,23114 | 0,06342 - 11,4198 |
| Cu | 1,7872 ± 2,1022 | 0 - 6,6106 |
| Ni | 10,7737 ± 13,0845 | 0,9715 - 44,5333 |
| B | 20,84786± 24,96635 | 0 - 88,3174 |
| Fe | 1324,1469 ± 1774,2297 | 117,8125 - 5737,5513 |
| Mn | 80,342 ± 100,301 | 4,8226 - 366,2 |
| Zn | 34,1672 ± 39,4016 | 5,4605 - 135,62 |

Çizelge 7. Akçalar Deresi AKMTH Bulunan Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonları

| Element | Ort±SD | Aralık |
|---------|----------------------|---------------------|
| As | 1,062 ± 1,1312 | 0,2577 - 3,5148 |
| Cr | 7,6893 ± 8,7227 | 0,3097 - 21,9439 |
| Cd | 0,8642 ± 0,6635 | 0,209 - 2,3927 |
| Pb | 6,63769 ± 2,88098 | 2,9513 - 10,8485 |
| Cu | 3,2623 ± 3,9232 | 0 - 11,5965 |
| Ni | 6,5366 ± 7,3422 | 0,2093 - 22,152 |
| B | 23,87215 ± 25,99987 | 0 - 94,6315 |
| Fe | 1873,064 ± 1723,4514 | 38,2779 - 4764,0219 |
| Mn | 70,4592 ± 62,445 | 5,4033 - 188,699 |
| Zn | 50,0877 ± 56,1202 | 2,9554 - 164,8163 |

Çizelge 8. Atabay Pompa İstasyonu AKMTH Bulunan Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonları

| Element | Ort±SD | Aralık |
|---------|---------------------|---------------------|
| As | 3,1084 ± 3,686 | 0,2186 - 10,5621 |
| Cr | 3,1622 ± 5,3237 | 0 - 18,6455 |
| Cd | 0,7993 ± 0,7275 | 0,0101 - 2,2261 |
| Pb | 3,95884 ± 3,00119 | 0 - 9,9227 |
| Cu | 1,5306 ± 2,0552 | 0 - 7,4735 |
| Ni | 1,2642 ± 1,5238 | 0 - 5,3477 |
| B | 21,86167 ± 15,65905 | 3,1138 - 42,5835 |
| Fe | 411,4468 ± 457,0367 | 26,0594 - 1668,7571 |
| Mn | 153,6857 ± 280,9167 | 1,6158 - 1016,478 |
| Zn | 65,551 ± 106,631 | 0,2793 - 383,6216 |

Çizelge 9. Karaoğlan Pompa İstasyonu AKMTH Bulunan Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonları

| Element | Ort±SD | Aralık |
|---------|---------------------|---------------------|
| As | 0,6183 ± 0,4205 | 0,2166 - 1,3902 |
| Cr | 2,7477 ± 2,7954 | 0 - 8,6965 |
| Cd | 0,9864 ± 0,7445 | 0,001799 - 2,2381 |
| Pb | 4,59455 ± 2,77695 | 0 - 8,3011 |
| Cu | 1,9036 ± 2,1334 | 0 - 5,3012 |
| Ni | 2,1336 ± 3,255 | 0,089 - 11,8129 |
| B | 22,10374 ± 24,80174 | 0 - 87,3347 |
| Fe | 234,6958 ± 312,5369 | 11,1646 - 1122,4919 |
| Mn | 97,3224 ± 196,1686 | 1,0444 - 671,752 |
| Zn | 34,7003 ± 53,4837 | 0,9277 - 171,3226 |

Çizelge 10. Uluabat Pompa İstasyonu AKMTH Bulunan Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonları

| Element | Ort±SD | Aralık |
|---------|---------------------|---------------------|
| As | 1,4047 ± 1,1388 | 0,3114 - 4,3538 |
| Cr | 7,3422 ± 11,4316 | 0 - 35,4544 |
| Cd | 0,8553 ± 0,8624 | 0,028 - 2,6392 |
| Pb | 5,45295 ± 2,29685 | 2,875 - 10,5623 |
| Cu | 2,4388 ± 2,4007 | 0 - 7,5846 |
| Ni | 2,6117 ± 2,982 | 0 - 8,5758 |
| B | 21,70171 ± 28,43214 | 0 -99,8357 |
| Fe | 343,9664 ± 333,0085 | 45,5689 - 1249,2819 |
| Mn | 215,4879 ± 386,573 | 4,0289 - 1364,8771 |
| Zn | 63,8448 ± 123,2511 | 4,8235 - 444,0626 |

ÖZGEÇMİŞ

23.05.1978 yılında Kütahya’da doğmuştur. İlkokulu Amasya’da Mehmet Varinli İlkokulu’nda, orta öğrenimini Bursa Kız Lisesi’nde tamamlamıştır. 2000 yılında Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden mezun olmuş ve aynı yıl Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitime başlayarak, araştırma görevlisi olmuştur. 2003 yılı sonunda yüksek lisans öğrenimini tamamlamış ve 2004 yılında doktora başlamıştır. Halen araştırma görevlisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir.

TEŞEKKÜR

Öncelikle beni iyi bir insan olarak yetiştirmek için ellerinden gelen her şeyi yapan benimle gülüp, benimle ağlayan her zaman yanımda olan anneciğim ve babacığım, hayattaki en büyük desteğim, ikinci annem canım ablacığım, maddi ve manevi olarak büyük güven ve destek veren değerli eşime sonsuz teşekkür ederim.

Akademik kariyerimin en önemli basamağı olan doktora sürecinde, mesleğimle ilgili olduğu kadar hayatla ilgili de pek çok şeyi gerek arazi gerekse laboratuvar çalışmalarında öğrendim. Güzel insanlarla karşılaştım. Birçok kişi ve kurum çalışmalarına destek oldu. TÜBİTAK-ÇAYDAG Çalışma Grubu'nun 1001 kodlu 2007 yılı 3. Dönem Araştırma Programı'nda 107Y278 nolu "Uluabat Gölü Su Kalitesinin Modellenmesinde Ağır Metal ve Bazı İz Elementlerin Değerlendirilmesi" isimli proje ve Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı M-2007/27 nolu "Ağır Metal ve İz Element Kirliliğinin Sığ Göllerde Modellenmesi ve Ekolojik Etkisi" isimli projeler doktora tezi çalışmalarına maddi destek olmuşlardır. Tez çalışmalarım sırasında bilgisi ve sağladığı imkanlar ile her zaman maddi ve manevi olarak yanımda olan danışman hocam Doç. Dr. Feza KARAER'e, deneysel çalışmalarla ya da yorumlarla ilgili olarak kazandırdıkları bilimsel bakış açısı ve manevi destekten ötürü Prof. Dr. Hüseyin Savaş BAŞKAYA'ya, Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR'e, Prof. Dr. Kemal Sulhi GÜNDOĞDU'ya, arazi ve Coğrafi Bilgi Sistemi ile ilgili çalışmalarında her zaman destek olan Doç. Dr. Ertuğrul AKSOY'a, tez çalışmalarımı destekleyen BUSKİ Müdür Yardımcısı Turgut MEN'e, BUSKİ Arıtma Tesisi Daire Başkanlığı, Doğu Atıksu Arıtma Tesisleri'nde görev yapan Çevre Mühendisi Nurcan AYDOĞAN, Sinem ZENGİNAY ve laboratuvar teknisyenleri Nihat MERİÇ ve Yalçın BALTAÇI'ya, Çevre Mühendisliği yüksek lisans öğrencileri Saadet İLERİ ve Sonay SARMAŞIK'a laboratuvar çalışmalarında göstermiş oldukları özverili çalışma için çok teşekkür ederim.

Örneklerin toplanması sırasında, Bursa İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Doğa Koruma Şube Müdürlüğü, Mustafakemalpaşa Mühendisliği'nde görev yapan Mühendis Sedat ACAR ve tekne kaptanımız Yusuf KABATAŞ'a, debilerin ölçülmesi ve örneklerin alınması konusunda destekleyen DSİ 1. Bölge Müdür Yardımcısı Cihat ÖZTÜRK'e, DSİ 1. Bölge Müdürlüğü Çevre Servisi Çevre Mühendisi Hüseyin ALÇI,

Şenay KARA ve teknisyen İlhami KAŞ'a, hidroloji servisinde görev yapan hidrolog Sefer AYDIN'a, çok teşekkür ederim.

Ayrıca manevi desteklerini eksik etmeyen arkadaşlarım Nihan ÖZENGİN, Berna KIRIL MERT'e ve diğer çalışma arkadaşlarıma teşekkürleri bir borç bilirim.