

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI

İKİZCETEPERLER BARAJ GÖLÜ (BALIKESİR)
ÇÖKELLERİNİN EKOLOJİK RİSK ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

ŞAKİR FURAL

BALIKESİR, 2020

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI

İKİZCETEPELER BARAJ GÖLÜ (BALIKESİR)
ÇÖKELLERİNİN EKOLOJİK RİSK ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

ŞAKİR FURAL

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. İSA CÜREBAL

BALIKESİR, 2020

Bu alışma, Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2019-030 kodlu “Güney Marmara’daki Bazı Barajlarda (İkizcetepeler, Atikhisar, Doğancı) Göl Çökellerinin Ekolojik Risk Analizi” başlıklı proje kapsamında desteklenmiştir. Destekleri için Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

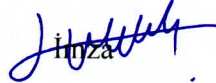


ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

15/06/2020


İmza

Şakir FURAL

ÖNSÖZ

Son yıllarda gerçekleştirilen akademik çalışmalarda ve uluslararası kuruluşların yayınladığı bilimsel raporlarda dünyanın yakın gelecekteki en büyük sorunlarından birisinin temiz su temini olacağı vurgulanmaktadır. Günümüzde sanayi, kentleşme, ulaşım ve tarım alanları gibi antropojenik faaliyetlerin artması sulak alan ekosistemleri için ekolojik risk sorunları yaratmaya başlamıştır. Dünya nüfusunun sürekli artmasına bağlı olarak içme suyu, sanayi ve tarımsal sulama ihtiyaçları artmıştır. Suya olan ihtiyaç ile suları kirleten antropojenik faaliyetlerin paralel şekilde artması çözülmesi gereken önemli bir sorundur. Bahsi geçen sorunun çözümüne yönelik olarak bazı ekolojik risk indeksleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada Türkiye'nin ve Balıkesir'in önemli yapay su kaynaklarından birisi olan İkizcetepeler Baraj Gölü çökellerinde ekolojik risk analizleri yapılarak tespit edilen sorunlara olası çözüm önerileri sunulmuştur.

Bu günlere gelmemde önemli emekleri bulunan danışman hocam Prof. Dr. İsa CÜREBAL'a, eleştiri ve önerileriyle tezime katkı sunan jüri üyesi hocalarım Prof. Dr. Abdullah SOYKAN, Prof. Dr. A. Evren ERGİNAL, Doç. Dr. Serkan KÜKRER ve Doç. Dr. Hakan ÖNAL'a teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında bana destek olan Uzman Furkan İNAN, Öğr. Gör. Murat POYRAZ, Dr. Öğr. Üyesi Dilek AYKIR, Dr. Öğr. Üyesi Mesut ŞİMŞEK, Arş. Gör. Dr. Yunus Emre MUTLU ve yetişmemde önemli katkıları olan Coğrafya Öğretmenim Yener BACAKSIZ'a teşekkür ederim. Son olarak beni bu günlere getiren kıymetli annem ve babama, çalışmalarım sırasında büyük fedakârlık gösteren eşim Medine ve oğlum Erol'a teşekkürlerimi sunarım.

BALIKESİR, 2020

ŞAKİR FURAL

ÖZET

İKİZCETEPELER BARAJ GÖLÜ (BALIKESİR) ÇÖKELLERİNİN EKOLOJİK RİSK ANALİZİ

FURAL, Şakir

Doktora Tezi, Coğrafya Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsa CÜREBAL

2020, 228 Sayfa

Bu çalışma İkizcetepeler Baraj Gölü’nden alınan çökel örneklerindeki metal konsantrasyonu, organik karbon, klorofil bozunma ürünleri ve CaCO_3 içeriklerinin mekânsal dağılımlarını, potansiyel ekolojik risk ve muhtemel kaynaklarını, çeşitli ekolojik-toksikolojik indeksler, çok değişkenli istatistik analizler ve CBS yazılımları kullanarak tespit etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında baraj gölü tabanından 32 adet yüzey çökeli, 1 adet karot ve havzanın çeşitli noktalarından 7 adet kayaç örneği alınmıştır. Baraj yapılmadan önceki dönemden (1991 yılı öncesi), örneklerin alındığı 2019 yılına kadar gerçekleşen antropojenik etkilerin tespit edilmesi için litolojik ardalın değerlerine göre zenginleşme faktörü, kontaminasyon faktörü, jeoakümüasyon indeksi hesaplanmış; toksik ekolojik risk indeksi, kirlilik yük indeksi, modifiye ekolojik risk indeksi ve modifiye potansiyel ekolojik risk indeksi ile risk değerlendirmesi yapılmıştır. Baraj gölünün yapımından örneklerin alındığı 2019 yılına kadar geçen sürede gerçekleşen ekolojik riskin tespiti için karot ardalın değerleri kullanılmıştır. Böylece karot ardalın değerleri ile baraj yapımından sonra gerçekleşen ekolojik risk tespit edilmiştir. Kıtasal kabuk değerlerine göre yapılan karşılaştırmalarda karot ve litolojik ardalın verilerinden çıkan ekolojik risk bulgularıyla örtüşmeyen sonuçlara ulaşılmıştır. Analiz sonuçlarına göre litolojik ardalın değerleri ile yapılan hesaplamalarda Ni için önemli, As, Cr, Mn, Hg, Cd için orta, Pb, Cu, Zn, Fe için düşük derecede zenginleşme tespit edilmiştir. Ekolojik risk, litolojik ardalın değerlerine göre $\text{Hg} > \text{Cd} > \text{As} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Zn}$; karot ardalın değerlerine göre $\text{Hg} > \text{Cd} > \text{As} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Zn}$ şeklinde sıralanmaktadır. Sonuç olarak; litolojik ardalın değerlerine göre Hg için önemli, Cd için orta, As ve Ni için orta derecede çok yakın, diğer metaller için düşük seviyede

ekolojik risk tespit edilmiştir. Karot ardaan değerklerine göre; Hg için önemli derecenin en alt limitinde, Cd için orta derecede, diğerk metaller için düşük ekolojik risk tespit edilmiştir. Genel bir değerklendirme yapıldığında, İkizcetepeler Baraj Gölü'nde karot ardaan değerklerine göre düşük, litolojik ardaan değerklerine göre orta derecede potansiyel ekolojik risk tespit edilmiştir. Bu durum, litolojik ardaan değerklerinin karot ardaan değerklerinden düşük olduğunu ve baraj yapımından sonra antropojenik etkilerin arttığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik Risk, Metal Kirliliğı, İkizcetepeler Baraj Gölü, Balıkesir



ABSTRACT

ECOLOGICAL RISK ANALYSIS OF İKİZCETEPELER DAM LAKE (BALIKESİR) SEDIMENTS

FURAL, Şakir

PhD Thesis, Department of Geography

Advisor: Prof. Dr. İsa CÜREBAL

2020, 228 pages

This study analyzed the spatial distribution, potential ecological risks and possible sources of metal concentrations, OC, CDP and CaCO₃ content from surface sediment samples in İkizcetepler Dam Lake using ecological-toxicological indices, multivariate statistical analysis and GIS software. One core sample and 32 surface sediments were taken from the base of the dam lake while 7 rock samples were taken from various points in the basin. To identify anthropogenic influences in the dam from the pre-dam built period to the 2019, the enrichment factor, contamination factor, geoaccumulation index, toxic risk index and pollution load index were calculated based on lithologic values. Modified ecological risk and modified potential ecological risk were calculated separately according to core sample and lithologic background values. In the comparisons made according to the continental crust values, the results were incompatible with the ecological risk findings from the core and lithological background data. This situation showed that continental crust values may not give valid results in all fields. Results pointed to significant enrichment of Ni, moderate enrichment of As, Cr, Mn, Hg, and Cd and low level enrichment of Pb, Cu, Zn, and Fe. Ecological risk was listed as Hg > Cd > As > Ni > Cu > Cr > Pb > Zn according to lithologic values and as Hg > Cd > As > Ni > Cu > Pb > Cr > Zn according to core sample values. A significant level of ecological risk was determined for Hg, medium level ecological risk for Cd, and close to moderate level ecological risk for As and Ni. The risk was low for all other metals. According to the core sample values, ecological risk was at the lowest limit of the most significant level for Hg, moderate for Cd and low for other metals. Overall, this indicates low potential ecological risk in İkizcetepler Dam Lake based on core

sample reference values and a moderate potential ecological risk was identified based on lithologic reference values. This situation showed that lithological background values are lower than core background values and anthropogenic effects increase after dam construction.

Keywords: Ecological Risk, Metal Pollution, İkizcetepler Dam Lake, Balıkesir



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xxi
KISALTMA LİSTESİ.....	xxii
1. GİRİŞ	1
1.1. Problem	2
1.2. Amaç ve Kapsam.....	5
1.3. Önem	6
1.4. Varsayımlar	6
1.5. Araştırma Soruları	7
1.6. İkizcetepeler Baraj Gölü’nün Konumu ve Bazı Teknik Özellikleri.....	7
2. İLGİLİ ALANYAZIN	10
2.1. Konu ile İlgili Alanyazın	10
2.1.1. Baraj Göllerinde Yapılan Çalışmalar	10
2.1.2. Doğal Göllerde Yapılan Çalışmalar.....	20
2.1.3. Diğer Ekosistemler Üzerinde Yapılan Başlıca Çalışmalar	28
2.2.İnceleme Alanı ile İlgili Alanyazın	29
3. YÖNTEM	31
3.1. Araştırma Modeli	31
3.2. Evren ve Örneklem.....	32
3.3. Veri Toplama Araçları ve Teknikleri	32
3.4. Verilerin Toplanma Süreci	32
3.4.1. Haritalama İşlemleri.....	32

3.4.2. Örnekleme Noktalarının Belirlenmesi.....	34
3.4.3. Yüzey Çökeli Örnekleri ve Karotun Alınması	36
3.5. Laboratuvar Analizleri	38
3.5.1. Organik Karbon Analizi	38
3.5.2. Klorofil Bozunma Ürünleri	43
3.5.3. CaCO ₃ Analizleri.....	46
3.5.4. MetalAnalizleri.....	47
3.6. Ekolojik Risk İndekslerinin Hesaplanması	47
3.6.1. Zenginleşme Faktörü.....	47
3.6.2. Kontaminasyon Faktörü ve Modifiye Kontaminasyon Faktörü.....	48
3.6.3. Jeokümülyasyon İndeksi	49
3.6.4. Kirlilik Yük İndeksi	49
3.6.5. Toksik Risk İndeksi.....	49
3.6.6. Modifiye Ekolojik Risk Faktörü İndeksi.....	50
3.6.7. Modifiye Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi	50
3.7. Mekânsal Analizler.....	51
3.8. Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler ve Arazi Çalışmaları.....	51
4. EKOLOJİK RİSKİ ETKİLEYEN COĞRAFI FAKTÖRLER	52
4.1. Fiziki Coğrafya Özellikleri.....	52
4.1.1. Litoloji – Ana Materyal	52
4.1.2. Jeomorfolojik Birimler	54
4.1.3. İklim	58
4.1.4. Hidrografya	63
4.1.5. Arazi Kullanımı.....	66
4.2. Beşeri Coğrafya Özellikleri.....	74
4.2.1. Nüfus	74
4.2.2. Yerleşme ve Ekonomik Faaliyetler	78
5. METALLERİN YARATTIĞI EKOLOJİK RİSK TEHLİKESİ VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ.....	81

6. BULGULAR VE YORUMLAR	85
6.1. Organik Karbon'un Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal ve Dikey Dağılışı ...	85
6.2. Klorofil Bozunma Ürünleri'nin Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal ve Dikey Dağılışı	89
6.3. CaCO_3 'ün Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal ve Dikey Dağılışı	92
6.4. Metallerin Mekânsal ve Dikey Dağılışı	95
6.4.1. Metallerin Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı	95
6.4.2. Metallerin Baraj Gölü Tabanındaki Dikey Dağılışı	104
6.5. Zenginleşme Faktörü	121
6.5.1. Zenginleşme Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı.....	121
6.5.2. Zenginleşme Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Dikey Dağılışı.....	132
6.6. Jeokümülyasyon İndeksi.....	144
6.7. Kontaminasyon Faktörü	151
6.7.1. Kontaminasyon Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı.....	151
6.7.2. Kontaminasyon Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Dikey Dağılışı.....	162
6.8. Modifiye Kontaminasyon Derecesi'nin (Mcd) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal ve Dikey Dağılışı	173
6.9. Kirlilik Yük İndeksi'nin (PLI) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal ve Dikey Dağılışı	175
6.10. Toksik Ekolojik Riskin Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal ve Dikey Dağılışı..	178
6.11. Modifiye Ekolojik Risk Faktörü.....	181
6.11.1. Modifiye Ekolojik Risk Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı	181
6.11.2. Modifiye Ekolojik Risk Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Dikey Dağılışı.....	191
6.12. Modifiye Potansiyel Ekolojik Risk Faktörü	198

6.12.1. Modifiye Potansiyel Ekolojik Risk Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı	199
6.12.2. Modifiye Potansiyel Ekolojik Risk Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Dikey Dağılışı	202
6.13. Metaller, Organik Karbon, Klorofil Bozunma Ürünleri ve CaCO ₃ ‘ün Muhtemel Kaynaklarının Tanımlanması	206
6.13.1. Pearson Korelasyon Analizi	206
6.13.2. Faktör Analizi	209
6.13.3. Cluster Analizi	210
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	211
7.1. Sonuç	211
7.2. Öneriler.....	216
KAYNAKÇA	218

ŞEKİL LİSTESİ

Sekil 1. Falkenmark Su Varlığı Göstergesi	3
Sekil 2. İnceleme Alanının Lokasyon Haritası	8
Sekil 3. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın 1:25.000 Ölçekli Topografya Haritası Pafta İndeksi ve Litolojik Örneklemeye Noktaları Haritası.....	33
Sekil 4. İkizcetepeler Baraj Gölü Tabanındaki Örneklemeye Noktalarının Konumu.....	35
Sekil 5. Kajak Sediment Örnekleyici İle Karot Alınması.....	36
Sekil 6. Karotun Dilimlenmesi ve Yüzey Çökeli Almak İçin Van Veen Grab'ın Suya Bırakılması	37
Sekil 7. Yüzey Çökelinin Grab'ten Çıkarılması ve Yaş Halinin Görüntüsü	37
Sekil 8. Örneklerin Etüve Yerleştirilmesi ve 24 Saat 60 °C'de Kurutma İşlemi.....	38
Sekil 9. Örneklerin 24 Saat Kurutulduktan Sonraki Durumu	39
Sekil 10. Örneklerin Porselen Havanda Dövülerek Toz Haline Getirilmesi	39
Sekil 11. Saf $K_2Cr_2O_7$ ile Saf $(NH_4)_2 Fe (SO_4)_2 6H_2O$ 'nun Saf Su İle Distile Edilmesi	39
Sekil 12. Erlenlere Otomatik Pipetle Potasyum Dikromat Eklenmesi	40
Sekil 13. Çökel ve $K_2Cr_2O_7$ 'nin Karıştırılmış Hali	41
Sekil 14. Erlenler İçerisindeki Çökellerin üzerine Çeker Ocakta H_2SO_4 Eklenmesi.....	41
Sekil 15. Bürete $(NH_4)_2 Fe(SO_4)_2 6H_2O$ (demir amonyum sülfat) Çözeltisinin Doldurulması.....	42
Sekil 16. Erlen İçerisindeki Çözeltinin Saf Su ile 200 ml Seviyesine Seyreltilmesi.....	42
Sekil 17. Titrasyon İşleminin Yapılması	43
Sekil 18. Titrasyon İşlemi Sonrasında Brillant Yeşil Renge Dönen Çözelti	43
Sekil 19. Pet Bardaktaki Çökel Üzerine Otomatik Pipet İle Aseton Eklenmesi.....	44
Sekil 20. Aseton Çözeltisinin Üzerinin Kapatılarak Beklemeye Alınması	45
Sekil 21. Aseton Çözeltisinin Tüplerden Otomatik Pipet İle Çekilmesi	45
Sekil 22. Aseton Çözeltisinin Spektrofotometre Küvetleri İçerisine Yerleştirilmesi.....	46
Sekil 23. Spektrofotometre Küvetlerine Doldurulan Çözeltinin 667 ve 750 nm'de Okunması	46

<u>Sekil 24.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Jeoloji ve Litolojik Örnekleme Noktaları Haritası.....	53
<u>Sekil 25.</u> Baraj Gölü Çevresindeki Volkanik Kayaçlardan Görüntüler.....	54
<u>Sekil 26.</u> Konakpınar Yakınlarındaki Kireçtaşı, Marn, Tüf Araldanmasından Görüntüler	54
<u>Sekil 27.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Jeomorfoloji Haritası.....	55
<u>Sekil 28.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Yükselti Basamakları Haritası	56
<u>Sekil 29.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Eğim Haritası	57
<u>Sekil 30.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Yıllık Ortalama Sıcaklık Dağılışı Haritası.....	59
<u>Sekil 31.</u> Balıkesir İl Merkezinin 1938 – 2018 Yılları Arası Ortalama Sıcaklık Değerleri.....	59
<u>Sekil 32.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Yıllık Ortalama Yağış Dağılışı Haritası	61
<u>Sekil 33.</u> Balıkesir İl Merkezinin 1938 – 2018 Yılları Arası Ortalama Yağış Değerleri.....	61
<u>Sekil 34.</u> Balıkesir Rüzgar Gölü Diyagramı (1938 – 2019 Yılları Arası)	62
<u>Sekil 35.</u> Balıkesir Rüzgar Hızı (1938 – 2019 Yılları Arası).....	62
<u>Sekil 36.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Alansal Drenaj Yoğunluğu.....	64
<u>Sekil 37.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın 1990 Yılı Arazi Kullanım Haritası	67
<u>Sekil 38.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın 2018 Yılı Arazi Kullanım Haritası	67
<u>Sekil 39.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Yıllara Göre Arazi Kullanım Değişimi	68
<u>Sekil 40.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Arazi Kullanım Türlerinin Alansal Dağılışı (%).....	68
<u>Sekil 41.</u> Kille Çayı Havzası Arazi Kullanımının Dağılışı (%).....	70
<u>Sekil 42.</u> Koca Çay Havzası Arazi Kullanımının Dağılışı (%).....	70
<u>Sekil 43.</u> Bağırsak Dere Havzası Arazi Kullanımının Dağılışı (%).....	70
<u>Sekil 44.</u> Çınarlı Dere Havzası Arazi Kullanımının Dağılışı (%).....	70
<u>Sekil 45.</u> Baraj Yakınındaki Ormanlık Alanların Tahrip Edilmesi İle Açılan Tarım Arazileri.....	71
<u>Sekil 46.</u> Barajın Kıyı Çizgisi Sınırında Yer Alan Tarım Arazileri.....	71

<u>Sekil 47.</u> Baraj Gölünün Kıyı Kenar Çizgisi Sınırı Yakınlarına Kurulan Ahır	72
<u>Sekil 48.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Koruma Zonları	73
<u>Sekil 49.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzasında Yer Alan Kırsal Mahallelerin 1980 – 2020 Yılları Arası Nüfus Değişimi	76
<u>Sekil 50.</u> Balıkesir İl Merkezi Nüfusunun Yıllara Göre Değişimi	77
<u>Sekil 51.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası Nüfusunun Yıllara Göre Değişimi.....	77
<u>Sekil 52.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Yerleşme Haritası.....	78
<u>Şekil 53.</u> Baraj Gölü Yakınlarındaki Bayat Kırsal Mahallesi.....	79
<u>Sekil 54.</u> Baraj Gölü Çevresindeki Endüstriyel Yem Bitkileri Ekimi Yapılan Tarlalar	79
<u>Sekil 55.</u> Baraj Yapımı Sırasında 1991 Yılında Yeri Değiştirilen İnkaya Kırsal Mahallesinin 2020 Yılındaki Durumu	80
<u>Sekil 56.</u> Organik Karbon Konsantrasyonunun Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı.....	87
<u>Sekil 57.</u> Organik Karbon Konsantrasyonunun Karottaki Dikey Dağılışı.....	88
<u>Sekil 58.</u> Organik Karbon (OC) Box Whisker Diyagramı.....	88
<u>Sekil 59.</u> Klorofil Bozunma Ürünlerinin (CDP) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı.....	90
<u>Sekil 60.</u> Klorofil Bozunma Ürünlerinin Karottaki Dikey Dağılışı.....	91
<u>Sekil 61.</u> Klorofil Bozunma Ürünlerinin Box Whisker Diyagramı	91
<u>Sekil 62.</u> CaCO ₃ 'ın Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı.....	93
<u>Sekil 63.</u> CaCO ₃ 'ın Karottaki Dikey Dağılışı	94
<u>Sekil 64.</u> CaCO ₃ 'ın Box Whisker Diyagramı	94
<u>Sekil 65.</u> Alüminyum'un (Al) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı	95
<u>Sekil 66.</u> Arsenik'in (As) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı	96
<u>Sekil 67.</u> Kadmiyum'un (Cd) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı.....	97
<u>Sekil 68.</u> Krom'un (Cr) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı	98
<u>Sekil 69.</u> Bakır'ın (Cu) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı.....	98
<u>Sekil 70.</u> Demir'in (Fe) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı	99
<u>Sekil 71.</u> Civa'nın (Hg) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı.....	99
<u>Sekil 72.</u> Manganez'in (Mn) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı	101
<u>Sekil 73.</u> Nikel'in (Ni) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı	101
<u>Sekil 74.</u> Kurşun'un (Pb) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı	103
<u>Sekil 75.</u> Çinko'nun (Zn) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı	103

<u>Sekil 76.</u> Al'nin Karottaki Dikey Dağılışı	104
<u>Sekil 77.</u> As'nin Karottaki Dikey Dağılışı	105
<u>Sekil 78.</u> Cd'nin Karottaki Dikey Dağılışı	106
<u>Sekil 79.</u> Cr'nin Karottaki Dikey Dağılışı	107
<u>Sekil 80.</u> Cu'nun Karottaki Dikey Dağılışı	107
<u>Sekil 81.</u> Fe'nin Karottaki Dikey Dağılışı	109
<u>Sekil 82.</u> Hg'nin Karottaki Dikey Dağılışı	109
<u>Sekil 83.</u> Mn'nin Karottaki Dikey Dağılışı	110
<u>Sekil 84.</u> Ni'nin Karottaki Dikey Dağılışı	110
<u>Sekil 85.</u> Pb'nin Karottaki Dikey Dağılışı	111
<u>Sekil 86.</u> Zn'nin Karottaki Dikey Dağılışı	111
<u>Sekil 87.</u> Yüzey Çökeli Örnekleri Ham Metal Konsantrasyonunun Box Whisker Diyagramı	113
<u>Sekil 88.</u> Karot Dilimi Örnekleri Ham Metal Konsantrasyonunun Box Whisker Diyagramı	113
<u>Sekil 89.</u> Hg ve Cd Ham Metal Konsantrasyonunun Box Whisker Diyagramı	114
<u>Sekil 90.</u> Fe ve Al Ham Metal Konsantrasyonunun Box Whisker Diyagramı	114
<u>Sekil 91.</u> Mn Ham Metal Konsantrasyonunun Box Whisker Diyagramı	115
<u>Sekil 92.</u> Mevut Literatürdeki Bazı Barajların As Cr Cu Ni Pb Zn Konsantrasyonunun Karşılaştırması	118
<u>Sekil 93.</u> Mevut Literatürdeki Bazı Barajların Cd ve Hg Konsantrasyonunun Karşılaştırması	119
<u>Sekil 94.</u> Mevut Literatürdeki Bazı Barajların Al Fe Mn Konsantrasyonlarının Karşılaştırması	120
<u>Sekil 95.</u> Arsenik'in (As) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı	123
<u>Sekil 96.</u> Kadmiyum'un (Cd) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı	123
<u>Sekil 97.</u> Krom'un (Cr) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı	124
<u>Sekil 98.</u> Bakır'ın (Cu) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı	124
<u>Sekil 99.</u> Demir'in (Fe) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı	126
<u>Sekil 100.</u> Civa'nın (Hg) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı	126
<u>Sekil 101.</u> Mangenez'in (Mn) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı	127
<u>Sekil 102.</u> Nikel'in (Ni) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı	127
<u>Sekil 103.</u> Kurşun'un (Pb) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı	128
<u>Sekil 104.</u> Çinko'nun (Zn) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı	129

<u>Sekil 105.</u> Karot Ardalan Değerlerine Göre Hesaplanmış Zenginleşme Faktörlerinin Mekânsal Dağılışı.....	130
<u>Sekil 106.</u> Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Zenginleşme Faktörünün Box Whisker Diyagramı	131
<u>Sekil 107.</u> Karot Ardalan Değerlerine Göre Zenginleşme Faktörünün Box Whisker Diyagramı	131
<u>Sekil 108.</u> As Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	133
<u>Sekil 109.</u> Cd Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	134
<u>Sekil 110.</u> Cr Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	136
<u>Sekil 111.</u> Cu Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	136
<u>Sekil 112.</u> Fe Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	137
<u>Sekil 113.</u> Hg Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	137
<u>Sekil 114.</u> Mn Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	138
<u>Sekil 115.</u> Ni Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	138
<u>Sekil 116.</u> Pb Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	140
<u>Sekil 117.</u> Zn Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	140
<u>Sekil 118.</u> Karot Ardalan Değerlerine Göre Zenginleşme Faktörünün (EF) Box Whisker Diyagramı	141
<u>Sekil 119.</u> Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Zenginleşme Faktörünün (EF) Box Whisker Diyagramı	142
<u>Sekil 120.</u> Mevut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göllerin Zenginleşme Faktörü Karşılaştırması.....	143
<u>Sekil 121.</u> Yüzey Çökellerinin Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Jeokümülyasyon İndeksinin Box Whisker Diyagramı	147

<u>Sekil 122.</u> Yüzey Çökellerinin Karot Ardalan Değerlerine Göre Jeoakümülyasyon İndeksinin Box Whisker Diyagramı	147
<u>Sekil 123.</u> Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Hesaplanan Geoakümülyasyon İndeksinin Box Whisker Diyagramı	148
<u>Sekil 124.</u> Karot Ardalan Değerlerine Göre Hesaplanan Geoakümülyasyon İndeksinin Box Whisker Diyagramı	149
<u>Sekil 125.</u> Mevut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göl ve Akarsuların Jeoakümülyasyon İndeksi Karşılaştırması	150
<u>Sekil 126.</u> Alüminyum'un (Al) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı.....	152
<u>Sekil 127.</u> Arsenik'in (As) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı	152
<u>Sekil 128.</u> Kadmiyum'un (Cd) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı.....	153
<u>Sekil 129.</u> Krom'un (Cr) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı	153
<u>Sekil 130.</u> Bakır'ın (Cu) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı.....	155
<u>Sekil 131.</u> Demir'in (Fe) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı	155
<u>Sekil 132.</u> Civa'nın (Hg) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı.....	156
<u>Sekil 133.</u> Mangenez'in (Mn) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı ...	156
<u>Sekil 134.</u> Nikel'in (Ni) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı.....	157
<u>Sekil 135.</u> Kurşun'un (Pb) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı	157
<u>Sekil 136.</u> Çinko'nun (Zn) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı	159
<u>Sekil 137.</u> Karot Ardalan Değerlerine Göre Hesaplanmış Kontaminasyon Faktörlerinin Mekânsal Dağılışı.....	160
<u>Sekil 138.</u> Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Kontaminasyon Faktörünün Box Whisker Diyagramı	161
<u>Sekil 139.</u> Karot Ardalan Değerlerine Göre Kontaminasyon Faktörünün Box Whisker Diyagramı	161
<u>Sekil 140.</u> Al Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	163
<u>Sekil 141.</u> As Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	164
<u>Sekil 142.</u> Cd Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	164

<u>Sekil 143.</u> Cr Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan	
Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	165
<u>Sekil 144.</u> Cu Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan	
Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	165
<u>Sekil 145.</u> Fe Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan	
Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	166
<u>Sekil 146.</u> Hg Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan	
Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	167
<u>Sekil 147.</u> Mn Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan	
Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	167
<u>Sekil 148.</u> Ni Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan	
Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	168
<u>Sekil 149.</u> Pb Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan	
Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	168
<u>Sekil 150.</u> Zn Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan	
Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	169
<u>Sekil 151.</u> Karot Ardalan Değerlerine Göre Kontaminasyon Faktörünün Box	
Whisker Diyagramı	170
<u>Sekil 152.</u> Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Kontaminasyon Faktörünün	
Box Whisker Diyagramı	170
<u>Sekil 153.</u> Mevut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göllerin Kontaminasyon Faktörü	
Karşılaştırması.....	172
<u>Sekil 154.</u> Litolojik Ardalan Verilerine Göre Mcd'nin Baraj Gölü	
Tabanındaki Mekânsal Dağılışı.....	174
<u>Sekil 155.</u> Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Mcd Faktörünün	
Dikey Dağılışı	174
<u>Sekil 156.</u> Litolojik ve Karot Ardalan Değerlerine Göre MCd Box Whisker	
Diyagramı.....	175
<u>Sekil 157.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü'nün Litolojik Ardalan Değerlerine Göre	
Kirlilik Yük İndeksi	176
<u>Sekil 158.</u> Kirlilik Yük İndeksinin Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine	
Göre Dikey Dağılışı	177
<u>Sekil 159.</u> Kirlilik Yük İndeksinin Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine	
Göre Box Whisker Diyagramı	178

<u>Sekil 160.</u> Toksik Ekolojik Riskin Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı	179
<u>Sekil 161.</u> Toksik Ekolojik Risk İndeksinin Dikey Dağılışı.....	179
<u>Sekil 162.</u> Toksik Ekolojik Riskin Box Whisker Diyagramı.....	180
<u>Sekil 163.</u> Arsenik'in Baraj Gölü Tabanındaki Ekolojik Risk Analizi.....	182
<u>Sekil 164.</u> Kadmiyum'un Baraj Gölü Tabanındaki Ekolojik Risk Analizi	184
<u>Sekil 165.</u> Krom'un Baraj Gölü Tabanındaki Ekolojik Risk Analizi	184
<u>Sekil 166.</u> Bakır'ın Baraj Gölü Tabanındaki Ekolojik Risk Analizi	185
<u>Sekil 167.</u> Civa'nın Baraj Gölü Tabanındaki Ekolojik Risk Analizi.....	185
<u>Sekil 168.</u> Nikel'in Baraj Gölü Tabanındaki Ekolojik Risk Analizi	187
<u>Sekil 169.</u> Kurşun'un Baraj Gölü Tabanındaki Ekolojik Risk Analizi.....	187
<u>Sekil 170.</u> Çinko'nun Baraj Gölü Tabanındaki Ekolojik Risk Analizi.....	188
<u>Sekil 171.</u> Karot Ardalan Değerlerine Göre Hesaplanan Modifiye Ekolojik Risk Faktörünün Mekânsal Dağılışı.....	189
<u>Sekil 172.</u> Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Ekolojik Risk Faktörünün Box Whisker Diyagramı	190
<u>Sekil 173.</u> Karot Ardalan Değerlerine Göre Ekolojik Risk Faktörünün Box Whisker Diyagramı	190
<u>Sekil 174.</u> As Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	191
<u>Sekil 175.</u> Cd Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	192
<u>Sekil 176.</u> Cr Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	193
<u>Sekil 177.</u> Cu Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	193
<u>Sekil 178.</u> Hg Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	194
<u>Sekil 179.</u> Ni Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	195
<u>Sekil 180.</u> Pb Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	196
<u>Sekil 181.</u> Zn Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	196

<u>Sekil 182.</u> Ekolojik Risk Faktörünün Karot Ardalan Değerlerine Göre (ER)	
Box Whisker Diyagramı	197
<u>Sekil 183.</u> Ekolojik Risk Faktörünün Karot Ardalan Değerlerine Göre (ER)	
Box Whisker Diyagramı	197
<u>Sekil 184.</u> Karot Ardalan Değerlerine Göre Potansiyel Ekolojik Risk	
Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı	199
<u>Sekil 185.</u> Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Potansiyel Ekolojik Risk	
Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı	200
<u>Sekil 186.</u> Baraj Gölünde En Yüksek Potansiyel Ekolojik Risk Tespit Edilen	
21. Örneklem Noktası.....	201
<u>Sekil 187.</u> 21. Örneklem Noktasından Gerçekleştirilen Tarımsal Sulama.....	201
<u>Sekil 188.</u> Potansiyel Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan	
Değerlerine Göre Dikey Dağılışı	203
<u>Sekil 189.</u> Potansiyel Ekolojik Risk Faktörü (PER) Box Whisker Diyagramı.....	203
<u>Sekil 190.</u> Mevut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göllerin Ekolojik Risk İndeksi	
(ER) Karşılaştırması.....	205
<u>Sekil 191.</u> Cluster Analizi	210

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Cizelge 1.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü’nde Çökel Alınan Örnekleme Noktalarının Koordinatları	35
<u>Cizelge 2.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzasında Kayaç Örnekleme Noktaları	35
<u>Cizelge 3.</u> ICP MS Cihazında Yapılan Ölçümlerin Standart Referans Örnek Kullanılarak Yapılan Kalite Kontrol Sonuçları.....	47
<u>Cizelge 4.</u> İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası Kırsal Mahalle Nüfuslarının Yıllara Göre (1980 – 2020) Değişimi	75
<u>Cizelge 5.</u> Literatürdeki Bazı Çalışmalarda Tespit Edilen Organik Karbon Konsantrasyonu.....	89
<u>Cizelge 6.</u> Mevcut Literatürdeki Bazı Barajlar ve Göllerin Ortalama Metal Konsantrasyonları (ppm).....	117
<u>Cizelge 7.</u> Metallerin Litolojik ve Karot Ardalan Değerleri.....	121
<u>Cizelge 8.</u> Mevcut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göllerin Zenginleşme Faktörü Karşılaştırması.....	144
<u>Cizelge 9.</u> Yüzey Çökellerinin Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Hesaplanmış Jeokümülyasyon Değerleri	146
<u>Cizelge 10.</u> Karot Örneklerinin Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Hesaplanmış Jeokümülyasyon Değerleri	148
<u>Cizelge 11.</u> Mevcut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göl ve Akarsuların Jeokümülyasyon İndeksi Karşılaştırması	149
<u>Cizelge 12.</u> Mevcut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göllerin Kontaminasyon Faktörü Karşılaştırması	172
<u>Cizelge 13.</u> Mevcut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göllerin Ekolojik Risk İndeksi (ER) ve Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi (PER) Karşılaştırması	204
<u>Cizelge 14.</u> Değişkenler Arasındaki Pearson Korelasyon Katsayıları.....	207
<u>Cizelge 15.</u> Faktör Analizi	209

KISALTMA LİSTESİ

Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
°C	: Santigrat Derece
CDP	: Klorofil Bozunma Ürünleri
Cd	: Kadmiyum
CF	: Kontaminasyon Faktörü
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
DSİ	: Devlet Su İşleri
EF	: Zenginleşme Faktörü
EPA	: Avrupa Çevre Ajansı
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
Fe	: Demir
H₃PO₄	: Ortofosforik Asit
Hm³	: Hektometreküp
Ha	: Hektar
H₂SO₄	: Sülfürik Asit
Hg	: Civa
K₂Cr₂O₇	: Potasyum Dikromat
Mn	: Mangenez
Ni	: Nikel
IGEO	: Jeokümülyasyon İndeksi
MCD	: Modifiye Kontaminasyon Derecesi
MER	: Modifiye Ekolojik Risk Faktörü

MPER	: Modifiye Potansiyel Ekolojik Risk Faktörü
NaF	: Sodyum Florür
NM	: Nanometre
NOAA	: Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi
OC	: Organik Karbon
Pb	: Kurşun
PLI	: Kirlilik Yük İndeksi
PPM	: Milyonda Bir
PPB	: Milyarda Bir
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TRI	: Toksik Risk Faktörü
USİAD	: Ulusal Sanayici ve İş Adamları Derneği
WQI	: İçme Suyu Kalite İndeksi
WWF	: Dünya Doğayı Koruma Vakfı
Zn	: Çinko

1. GİRİŞ

Ekolojik risk analizleri, sulak alan ekosistemleriyle ilgili sorun tespiti ve çözüm süreçlerinde karar verme aşamasında kullanılan önemli parametreler arasındadır. Metallerin göl ve baraj ekosistemlerine taşınması, litolojik yapı gibi doğal kaynaklardan ve antropojenik faktörlerden (*fosil yakıt kullanımı, tarım kentleşme ve madencilik, vb.*) dolayı gerçekleşmektedir (Zahra, vd., 2014). Bu nedenle göl çökellerinde ekolojik risk incelemeleri yaparken temel amaç, metallerin doğal ve antropojenik kaynaklarını belirleyerek ekolojik risk tehlikesinin boyutlarını tespit etmektir. Ekolojik risk tehlikesinin tespit edilmesi amacıyla zenginleşme faktörü (EF) (Sutherland, 2000), kontaminasyon faktörü (CF) (Hakanson 1980), modifiye kontaminasyon derecesi (mCD) (Abraham ve Parker, 2008), modifiye ekolojik risk indeksi (mER) (Brady vd., 2015), jeoakümüasyon indeksi (Igeo) (Müller, 1969), modifiye potansiyel ekolojik risk indeksi (mPER) (Brady vd., 2015), kirlilik yük indeksi (PLI) (Tomlinson vd., 1980), toksik risk indeksi (TRI) (Zhang vd., 2016) gibi geçerli ve güvenilir sonuçlar veren ekolojik risk indeksleri geliştirilmiştir. Bahsi geçen ekolojik risk indekslerinden EF, CF, mCD ve Igeo ile antropojenik etkinin varlığı test edilirken, TRI ile metallerin toksik etkileri belirlenmekte, mER, mPER ve PLI ile risk değerlendirmesi yapılmaktadır.

Bu çalışmada turizm, sanayi, tarım, hayvancılık ve hizmet sektörleri açısından hızla büyüyen iller arasında olan Balıkesir'in temel içme, kullanma ve tarımsal sulama suyunun temin edildiği İkizcetepeler Baraj Gölü için ekolojik risk analizleri gerçekleştirilmiştir. Yedi bölümden oluşan çalışmanın ilk bölümünde; problem, amaç ve kapsam, önem, varsayımlar, araştırma soruları ve inceleme alanının konumu ile baraj hakkında bazı teknik bilgiler verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünü oluşturan ilgili alanyazın kısmında, konu ve alan ile ilgili mevcut literatür değerlendirilmiş, elde edilen bulgular haritalanarak çalışmaya aktarılmıştır. Araştırma yöntemiyle ilgili detaylı bilgilerin verildiği üçüncü bölümde; araştırma modeli, evren ve örneklem, veri toplama araçları, verilerin toplanma süreci, haritalama işlemleri, örnekleme noktalarının belirlenmesi, örneklerin alınması, laboratuvar işlemleri, ekolojik risk indekslerinin hesaplanması, mekânsal ve istatistiksel

analiz aşamaları açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, ekolojik risk faktörleri üzerinde etkili olan fiziki ve beşerî coğrafya özellikleri genel hatları ile incelenmiştir. Metallerin insan sağlığı ve çevreye verdiği zararların incelendiği beşinci bölümün ardından, altıncı bölümü oluşturan bulgular ve yorumlar kısmında çalışma kapsamında elde edilen bulgular diğer çalışmalarla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Yedinci bölümü oluşturan sonuç ve öneriler kısmında, çalışma kapsamında ulaşılan sonuçlar değerlendirilerek tespit edilen sorunlar için çözüm önerileri sunulmuştur.

1.1. Problem

Su, canlı varlığı ve tür çeşitliliğinin korunması için son derece önemli bir doğal kaynak değeridir. Ancak, diğer doğal kaynak değerlerinde olduğu gibi sınırsız değildir. Bu nedenle, sulak alan ekosistemleri titizlikle korunmalıdır. Dünya Doğayı Koruma Vakfı'nın çalışmalarından elde edilen verilere göre yerküre denizler, göller ve akarsular gibi geniş su kütleleri ile kaplıdır, ancak bunların sadece %2.5'i kullanılabilir nitelikte olan tatlı su rezervlerinden oluşmaktadır. Bahsi geçen tatlı suların %70'i ise buzul ve kalıcı kar kütleleri içerisinde olduğu için, toplam su varlığının sadece %1'lik kısmı doğrudan yararlanılabilecek kaynaklardan oluşmaktadır. Sulak alanların yarattığı ekolojik koşullar dünya üzerinde yaşayan canlı türlerinin %10'luk kısmına yaşam ortamı imkânı sunmaktadır. Ancak, tatlı su ekosistemleri iklim değişikliği gibi doğal süreçler ve antropojenik etkiler sonucunda sürekli küçülmektedir. Yapılan bilimsel araştırmalarda dünya genelindeki tatlı su ekosistemlerinin 1970 – 2012 yılları arasında %37 oranında küçüldüğü ve gelecek yıllara ait projeksiyonlarda alansal küçülmenin artarak devam edeceği tahmin edilmektedir (WWF, 2014). Bu durum, canlı varlığı ve tür çeşitliliği üzerinde olumsuz etkiler yaratmanın yanında, insanların suya erişimini zorlaştıracak niteliktedir. Tatlı su rezervleri sürekli azalırken, dünya nüfusunun artmaya devam etmesi, endüstri ve tarım alanında suya olan ihtiyacın çoğalması, atık su miktarının artması ve küresel iklim değişimleri gibi nedenler mevcut durumu daha riskli bir boyuta taşımaktadır. Sürekli artan ihtiyaç karşısında azalma eğiliminde olan tatlı su rezervleri 2000'li yıllarda yerel ve bölgesel ölçekli bir kaynak değeri olmaktan çıkarak “stratejik güç” konumuna gelmiştir. Bu tespiti ulusal ve uluslararası kuruluşların yayınladığı raporlar desteklemektedir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım

Örgütü'nün (FAO) yayınladığı rapora göre 2007 yılı itibari ile dünya nüfusunun yaklaşık $1/5$ 'i (1.2 milyar kişi) temiz ve kaliteli tatlı suya erişmekte güçlük çekmekteyken bu oranın 2025 yılında dünya nüfusunun $2/3$ 'ü seviyesine çıkacağı tahmin edilmektedir (FAO, 2007). Dünya nüfusu son 100 yılda üç kat artarken, tatlı suya olan ihtiyaç yaklaşık sekiz kat artmıştır. Dünya genelinde 1940 yılında bir milyar m^3 su tüketilmişken, bu oran 1960 yılında iki milyar m^3 , 1990 yılında ise dört milyar m^3 seviyelerine ulaşmıştır. Su tüketiminin 2030 sonrasında sekiz milyar m^3 seviyesini geçeceği tahmin edilmektedir (WWF, 2014). Dünya nüfusunun sürekli artışı, tatlı su kaynaklarının hızla yok olmaya ve kirlenmeye devam ettiği düşünüldüğünde, FAO ve WWF'nin tatlı suya erişim sıkıntısına yönelik tahminlerinin gerçekleşmemesi için bir neden yoktur. Dünya genelinde yaşanması muhtemel su krizi, sadece su kıtlığına yol açacak kadar küçük ölçekli bir problem olmayabilir. Küresel ölçekte yaşanması muhtemel olan su kıtlığı; ekonomik sorunlar, göç, savaş, salgın hastalık, çevre sorunları vb. problemleri beraberinde getirebilir (WWF, 2014). Bu nedenle, sulak alanların sorunlarına dair küresel bir bakış açısı geliştirilmeli ve mevcut sorunların çözümü için gerekli adımların atılması gerekmektedir.

Dünya genelinde yaşanan su sıkıntıları, 2020 yılı itibari ile Türkiye için de geçerlidir. Türkiye küresel havza ölçeğinde değerlendirildiğinde Akdeniz havzasında yer almaktadır. Akdeniz havzası içerisinde yer alan ülkeler jeolojik, jeomorfolojik, hidrografik, iklimatik ve demografik özellikleri gereği su zengini değildir (Yıldız, 2006). Ülke ve bölgelerin mevcut su varlığının belirlenmesinde uluslararası geçerliliğe sahip belirli metotlar vardır. Bu metotlardan en önemlilerinden birisi “kullanılabilir su bilançosu / toplam nüfus” formülü ile hesaplanan Falkenmark göstergesidir (Falkenmark, vd., 1989).



Şekil 1. Falkenmark Su Varlığı Göstergesi (Orişinal)

2020 yılında Türkiye nüfusu 83.154.977 kişidir. Kullanılabilir su bilançosu $112.000.000.000 m^3$ olan Türkiye'nin kişi başına düşen su miktarı Falkenmark göstergesine göre $1.346 m^3$ seviyelerindedir (Şekil 1). Türkiye nüfusunun 2030 yılında $100.000.000$ seviyelerine çıkacağı tahmin edilmektedir (TÜİK, 2020).

Türkiye’de 2020 yılındaki mevcut su kaynaklarının korunabilmesi halinde, 2030 yılında kişi başına $1.120\ m^3$ su düşecektir. Bahsi geçen rakamlar değerlendirildiğinde, Türkiye’nin su stresi çeken ve su kıtlığına doğru sürüklenmekte olan bir ülke durumunda olduğu görülmektedir (Şekil 1). İkizcetepeler Baraj Gölü Türkiye’nin nüfusu hızla artan ve buna bağlı olarak kentleşme, sanayileşme, tarım, hayvancılık gibi sektörlerin hızla büyüdüğü Balıkesir ilinde yer almaktadır. Bahsi geçen faktörler il merkezinde suya olan ihtiyacın sürekli artmasına neden olurken, aynı zamanda tatlı su kaynakları üzerindeki antropojenik baskıların çoğalmasını tetiklemektedir. Günümüzde, ülkelerin su potansiyelinin belirlenmesinde kişi başına düşen su miktarının yanında; su kalitesi, su ekosistemlerini tehdit eden ekolojik riskler ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımına dair parametrelere yer verilmektedir (WWF, 2014). Ekolojik risk, canlı varlığının bulunduğu her türlü coğrafi ortamda meydana gelebilmektedir. Göller, barajlar, akarsular, koy ve körfezler, delta ovaları, lagünler, milli parklar, vb. ortamlarda çoğunlukla antropojenik nedenlerden dolayı metal içeriklerine bağlı ekolojik risk ortaya çıkmaktadır. Metaller, yer kabuğunun doğal bileşeni ve aynı zamanda insan metabolizmasının (*Fe*, *Zn*, *Cu*) önemli unsurlarındandır. Bu yönü ile doğal yaşamın bir parçası olan ve canlı bünyesinde belirli limitlerde bulunan metaller, endüstriyel üretime konu olmaları ile dünya genelinde ekolojik risk sorunları yaratmaya başlamıştır (Uwah, vd., 2013). Tarım, madencilik, evsel ve kentsel atıklar önemli antropojenik metal kaynaklarıdır (Yang, vd., 2014). Doğal ortama deşarj edilen antropojenik kaynaklı metaller, klorofil bozunma ürünleri, CaCO_3 , organik karbon ve bazı partikül yapılara bağlanıp, akarsular tarafından taşınarak açık havzalarda deniz, kapalı havzalarda ise göl çökellerinde depolanmaktadır (Liu, vd., 2010). Göl çökellerinde depolanan metaller doğal konsantrasyon seviyelerinde toksik etki yaratmamaktadır. Bazı metaller (*Fe*, *Cu* ve *Zn*) doğal konsantrasyon seviyesinde olmak şartıyla canlılar için gereklidir. Ancak, metallerin antropojenik etkiler ile zenginleşerek yüksek konsantrasyon seviyelerine çıkması toksik etki yaratabilir. Metal içerikleri baraj göllerinde su şebekesi yoluyla doğrudan, tarımsal sulama ve balıkçılık faaliyetleri ile dolaylı olarak besin zincirine katılabilir. Besin zincirine katılan metaller, canlı bünyesinde birikmeye ve başka canlılara geçerek yayılmaya devam eder (Bai, vd.; Jiang, vd., 2012). Bu durum; metal kirliliği, ekolojik risk, insan sağlığı ve tür çeşitliliğinin sürdürülebilmesi konularının dünya genelinde endişe verici şekilde izlenmesine neden olmaktadır (Tao, vd., 2012).

1.2. Amaç ve Kapsam

İkizcetepeler Baraj Gölü'nün metal içeriklerinden kaynaklanabilecek ekolojik risklere karşı korunması ve sürdürülebilir kullanımının sağlanması kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmanın 7 temel amacı bulunmaktadır.

- ✓ İkizcetepeler Baraj Gölü tabanından alınan yüzey çökeli ve karot örneklerinin metal içerikleri, organik karbon, klorofil bozunma ve CaCO_3 konsantrasyonunu, laboratuvar ortamında analitik prosedürler ile tespit etmek.
- ✓ Laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler üzerinde, zenginleşme faktörü (*EF*), kontaminasyon faktörü (*CF*), modifiye kontaminasyon derecesi (*mCD*), jeoakümüülasyon indeksi (*Igeo*) ile antropojenik etki seviyesini; modifiye ekolojik risk (*mER*), toksik risk (*TRI*), kirlilik yük indeksi (*PLI*) ve modifiye potansiyel ekolojik risk indeksini (*mPER*) kullanarak ekolojik risk seviyesini ve mevcut risk düzeyini belirlemek.
- ✓ Baraj gölü çökelleri ve litolojik örneklerden elde edilen ardaalan değerlerini kullanarak baraj yapılmadan önceki dönemden, örneklerin alındığı tarihe kadar (2019) olan ve barajın yapımından, örneklerin alındığı tarihe kadar (1990 – 2019) gerçekleşen ekolojik riski birbirinden ayırarak değerlendirmek.
- ✓ Yüzey çökeli örneklerinin ekolojik risk indeksi hesaplamalarından elde edilen verilerin Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarından olan Arc-Map 10.7 ara yüzüne aktarılarak Kriknig Enterpolasyon metodu ile mekânsal analizlerini gerçekleştirmek.
- ✓ Karotun ekolojik risk indeksi hesaplamalarından elde edilen verilerin Arc-Map 10.7 arayüzüne aktarılarak Kriknig Enterpolasyon metodu ve Microsoft Office Excel yazılımı ile dikey dağılış analizlerini gerçekleştirmek.
- ✓ Metallerin ve tespit edilen ekolojik risklerin kaynak tanımlamalarının yapılması için Pearson korelasyon analizi, faktör analizi, cluster analizi gibi bir dizi çok değişkenli istatistiksel analizlerin yapılması.
- ✓ İkizcetepeler Baraj Gölü'nün ekolojik risk durumunun belirlenmesi ve çalışma kapsamında elde edilen bulguların Devlet Su İşleri 25. Bölge Müdürlüğü ve Balıkesir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü ile paylaşarak tespit edilen sorunların çözülmesi için kurumlar arası iş birliğini sağlamak.

1.3. Önem

2020 yılında Türkiye’de kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1.346 m^3 seviyelerindedir. Nüfus artışı, kentleşme, tarım, hayvancılık ve sanayileşme süreçlerinin Türkiye ölçeğinde en hızlı geliştiği yerlerden birisi Güney Marmara Bölümü’dür. Bu durum suya olan ihtiyacı sürekli arttırırken, aynı zamanda Güney Marmara Bölümü’nde yer alan sulak alan ekosistemleri üzerindeki antropojenik baskıları tetikleyebilir. İkizcetepeler Baraj Gölü Balıkesir ilinin Karesi ve Altıeylül merkez ilçelerinin içme ve tarımsal sulama suyunun sağlanmasında kritik öneme sahiptir. Baraj gölünün su rezervinin *%86’sı içme, %14’ü sulama suyu* olarak kullanılmaktadır. 2020 yılı itibariyle Karesi ve Altıeylül ilçelerinde yaşayan *364.370 kişiye* içme suyu sağlayan baraj, aynı zamanda *4.688 hektar* tarım alanının sulanmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle İkizcetepeler Baraj Gölü başta metal içeriklerinden kaynaklı ekolojik risk sorunları olmak üzere, bütün antropojenik etkilerken titizlikle korunmalıdır.

1.4. Varsayımlar

Antropojenik kaynaklı metallerin yaratabileceği ekolojik risklerden sulak alan ekosistemlerinin sürdürülebilirliği olumsuz yönde etkilenecektir. Bu durum insanları kaynak kullanımı ve yaşam alanlarının daralması açısından dolaylı yünden etkileyecektir. Ancak yapay sulak alanlar olan ve kısmen kapalı havza özelliği gösteren baraj göllerinde yaşanacak metal kirliliği insanları doğrudan etkileyecektir. Çünkü baraj göllerinde yaşanacak olan metal kirliliği su şebekesi yoluyla doğrudan insanlara ulaşacaktır. Baraj göllerinde organik atık vb. kirleticilerin arıtılması için gelişmiş arıtma sistemleri kurulmuştur. Ancak metaller mikrobiyal ve kimyasal işlemlerle bozulmadığından 2020 yılı itibari ile kullanılan hiçbir arıtma sisteminde arınmazlar. Bu durum antropojenik kaynaklı metallerin doğal ortamlar ile canlı bünyesinde uzun süreler birikerek ekosistem ve insan sağlığı için tehdit oluşturmaya neden olmaktadır (Eid, vd., 2012).

Baraj göllerinde gerçekleşmesi muhtemel metal kirliliği doğal alanlarda gerçekleşenlerden daha tehlikeli olarak nitelenebilir. Son yıllarda gerçekleştirilen akademik çalışmalarda metal kirliliğinin yarattığı tehlikelere dikkat çekilmiştir (Karadede, 1997; Özmen, Külahçı, vd. 2004; Özözen, 2005; Kaya, 2007; Başaran, 2010; Kar, 2011; Erdoğan, 2014; Kalıpçı, Cüce, vd. 2017; Kükrer 2016; Kükrer

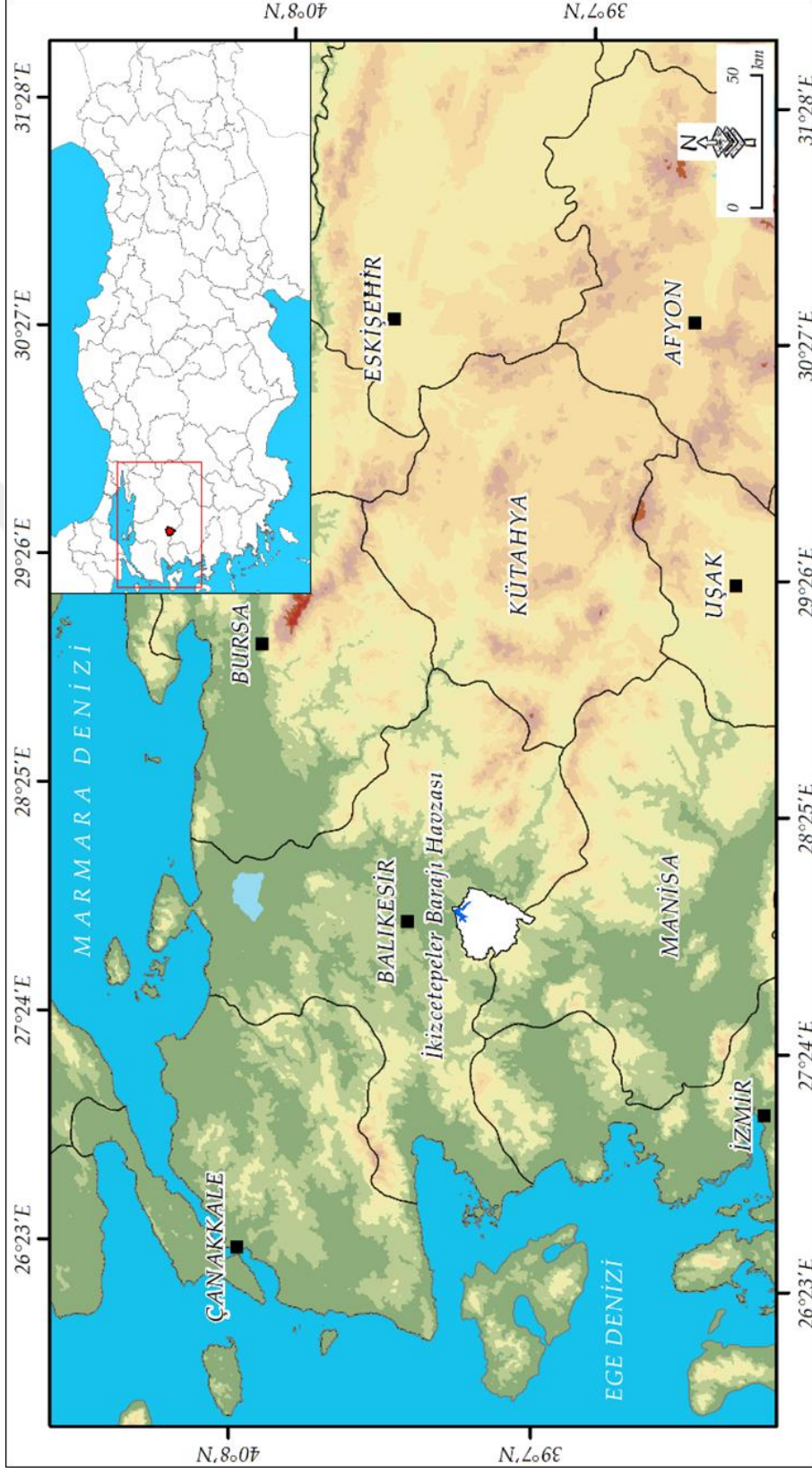
2018). Metallerin toksik etkileri ve doğada uzun süre yok olmadıkları dikkate alındığında bu konuda ciddi seviyelere ulaşan endişelerin haklı gerekçeleri olduğu anlaşılmaktadır (Tsakovski, vd., 2012).

1.5. Araştırma Soruları

1. İkizcetepeler Baraj Gölü çökellerinde organik karbon, klorofil bozunma ürünleri, CaCO_3 ve metal konsantrasyonunun zamansal ve mekânsal dağılışı ne şekilde değişmektedir?
2. İkizcetepeler Baraj Gölü çökellerinde ekolojik risk indislerinin mekânsal ve dikey dağılışı nasıldır?
3. İkizcetepeler Baraj Gölü'nde organik karbon, klorofil bozunma ürünleri, CaCO_3 ve metal konsantrasyonu miktarı dikkate alındığında ekolojik risk yaratan faktörler nelerdir?
4. Baraj gölü çökellerinde tespit edilen metaller, organik karbon, klorofil bozunma ürünleri ve CaCO_3 'ün havza içerisindeki muhtemel kaynakları nelerdir?
5. Baraj gölü havzasında ekolojik risk faktörlerini etkileyen doğal ve beşerî faktörler nelerdir?
6. İkizcetepeler Baraj Gölü için tespit edilen ekolojik riskler ve risklere karşı sunulan çözüm önerileri nelerdir?

1.6. İkizcetepeler Baraj Gölü'nün Konumu ve Bazı Teknik Özellikleri

İkizcetepeler Baraj Gölü, Marmara Bölgesi'nin güney Marmara Bölümü'nde, Balıkesir il merkezinin 21 km güneyinde yer almaktadır. Kille Çayı, Koca Çay, Bağırsak Dere, Çınarlı Dere (*Taşköy Deresi*) ve süreksiz yan kollarla beslenen baraj gölünün alanı normal su kotunda 7.9 km^2 'dir. Baraj gölünün tamamı Balıkesir il sınırları içerisinde kalırken, alan kaplayan havzanın güney kesimindeki 85 km^2 alan Manisa il sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 2). DSİ 25. Bölge Müdürlüğü sorumluluk sınırları içerisinde kalan baraj gölü Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından işletilmektedir.



Şekil 2. İnceleme Alanının Lokasyon Haritası (Çizim: Şakir Fural)

Balıkesir il sınırları içerisinde 27 baraj gölü ve 44 gölet bulunmaktadır. İkizcetepeler Barajı Gölü il merkezinin içme suyunu sağladığı için diğer baraj ve göletlere göre daha önemli bir konumdadır. Baraj gölünün inşaatı 03.03.1986 tarihinde başlamış, 13.05.1991’de tamamlanmıştır. Kum-çakıl karışımı toprak dolgu özelliğinde gövdeye sahip olan baraj gölünün, gövde hacmi *1.115 hm³tür*. Talvegten yüksekliği 52 metre olan baraj gölünün normal su kotundaki hacmi *164.56 hm³tür*. 4.688 hektar tarım alanının sulanmasını sağlayan baraj gölünün sularının %14’ü tarımsal sulama, %86’sı içme suyu kaynağı olarak kullanılmaktadır (DSİ 25. Bölge Müdürlüğü).

İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası’nda Balıkesir il sınırında 35, Manisa il sınırında 6 olmak üzere toplam 41 kırsal mahalle bulunmaktadır. 12.11.2012 tarihinden önce köy statüsünde olan yerleşmeler bu tarihte gerçekleşen 6360 sayılı yasal düzenleme ile kırsal mahalle kapsamına alınmıştır.

2. İLGİLİ ALANYAZIN

Çalışmanın bu bölümünde, araştırmanın kavramsal çerçevesinin oluşturulması için konu ve alan ile ilgili alanyazın değerlendirmesi yapılmıştır. Alanyazın değerlendirmesinden elde edilen bazı veriler, çalışmanın bulgular ve yorumlar kısmında karşılaştırmalar yapmak amacıyla kullanılmıştır.

2.1. Konu İle İlgili Alanyazın

Konu ile ilgili alanyazın kısmı baraj gölleri ve doğal göllerde yapılan çalışmalar olmak üzere iki sınıfa ayrılarak, detaylı şekilde incelenmiştir.

2.1.1. Baraj Göllerinde Yapılan Çalışmalar

Çalışmanın bu bölümünde, baraj gölleri ile ilgili yapılan çalışmalar değerlendirilerek araştırma bulgularının karşılaştırılması için gerekli altlık verilerin elde edilmesi sağlanmıştır.

“Atatürk Baraj Gölü’nde Su, Sediment ve Balık Türlerinde Ağır Metal Birikiminin Araştırılması” başlıklı çalışmada, baraj gölünden örnekler alınarak metal içeriği analizleri yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, su örneklerinde en fazla biriken metalin *Ni* olduğu tespit edilmiştir. *Cd*, *Co*, *Mo*, *Pb* metalleri ölçüm limitlerinin altında kaldığı için ölçülememiştir. Bu durum, suyun pH değerinin 7.5 – 8.5 arasında olduğu için, bahsi geçen metallerin suda çözünemediği şeklinde açıklanmıştır. Sediment örneklerinde ölçülen metal konsantrasyonu *Fe* > *Mn* > *Ni* > *Zn* > *Cu* > *Pb* > *Cd* şeklinde sıralanmıştır. Baraj gölünde tespit edilen metal konsantrasyonları, mevcut literatür ve resmî kurumların belirlediği risk seviyeleriyle karşılaştırıldığında, metal kirliliği riskinin bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Karadede, 1997).

“Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar Lake (Elâzığ, Turkey)” başlıklı makalede, Elâzığ ilinin içme ve kullanma su ihtiyacının bir bölümünün karşılandığı Hazar Gölü’nden 2001 – 2002 yılları arasında 8 farklı noktadan su ve yüzey sedimenti örneği alınmıştır. Çalışma

sonunda elde edilen bulgulara göre, Hazar Gölü'nde ölçülen metal konsantrasyonlarının resmî kurumlar tarafından belirtilen kirlilik üst limitlerini aştığı ve buna bağlı olarak ekolojik risk tehlikesinin bulunduğu tespit edilmiştir (Özmen, vd., 2004).

“Demirköprü ve Avşar Barajlarından Alınan Balık, Su ve Sediment Örneklerinde Bazı Ağır Metal Konsantrasyonlarının Belirlenmesi” başlıklı çalışmada, Demirköprü ve Avşar Barajları'nda metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, barajlardan su ve balık örnekleri ile 0 – 5 metre açıktan yüzey sedimenti örnekleri alınmıştır. Metal konsantrasyonu sedimentte $Fe > Ni > Cu > Cr > Pb > Cd$; suda ise $Fe > Pb > Cu > Ni > Cr > Cd$ şeklinde sıralanmaktadır. Elde edilen bulgulara göre, su ve yüzey sedimenti örneklerinde en fazla Fe birikimi tespit edilmiştir. Çalışma sonunda yapılan değerlendirmede, Demirköprü ve Avşar Barajı'nda sularının kıta içi su kaynakları sınıflandırmasına göre 1. kalitede olduğu, su ve sedimentte biriken metallerin kirlletici seviyede olmadığı, balıkların ise tüketim için uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Özözen, 2005).

“Çubuk II Barajı Dip Çamuru Örneklerinde Ağır Metal Dağılımının İncelenmesi” başlıklı çalışmada, Çubuk II Barajı'nda 6 farklı örnekleme noktasından alınan sediment örnekleri kullanılarak metal içerikleri analizi yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, sedimentteki metal konsantrasyonu $Fe > Cu > Co > Zn > Ni > Pb > Cr > Hg > Cd$ şeklinde sıralanmıştır. Çubuk II Barajı'nın metal konsantrasyonu Türkiye'de yapılan diğer araştırmalarda Beyşehir Gölü'ndeki metal miktarından düşük, Atatürk Baraj Gölü ve Hazar Gölü ile benzerdir. Sonuç olarak, barajın suları Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen kriterlere uygun ve temiz su sınıfına girmektedir (Kaya, 2007).

“An Assessment of Metal Pollution in Surface Sediments of Seyhan Dam by Using Enrichment Factor, Geoaccumulation Index and Statistical Analyses” başlıklı makalede, Adana'nın önemli su kaynaklarından olan Seyhan Barajı tabanında 5 farklı örnekleme noktasından yüzey sedimenti örneği alınarak metal içeriği analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, baraj genelinde Cd ve Cr konsantrasyonunun ortalama değerin üzerinde olduğu, metal birikimi ve dağılımının tane boyutu ve organik madde miktarı tarafından kontrol edildiği anlaşılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, Cd ve Cr konsantrasyonunun ortalamadan yüksek çıkma sebebi olarak baraj havzasındaki krom yatakları ve tarımsal faaliyetler gösterilmiştir (Çevik, vd., 2009).

“Kapulukaya Baraj Gölü (Kırıkkale) ve Aşağı Havzası Su, Sediment ve Sucul Bitki Örneklerinde Ağır Metal Konsantrasyonlarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi” başlıklı çalışmada, baraj gölü sedimentlerinde metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Baraj havzasında belirlenen 3 istasyondan alınan su, sediment ve bitki örneklerindeki metal konsantrasyonunun belirlenmesi için ICP – OES cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Analizlerden elde edilen bulgulara göre, baraj sedimentlerinde biriken *Mn*, *As*, *Ni*, *Cu*, *Zn*, *Cr*, *Co*, *Mo* ve *Cd* metallerinin antropojenik kaynaklı, *Hg* ve *Pb* metallerinin ise doğal kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Su örneklerinde *Mn*, *Zn*, *Ni*, *Cu* ve *Cd* konsantrasyonu yüksek değerlerde çıkarken, sucul bitki köklerinde *Mn* birikimi tespit edilmiştir. Su örneklerindeki metal konsantrasyonu Dünya Sağlık Örgütü’nün belirlediği risk sınırının altında kalmıştır. Ancak sediment ve bitkilerden alınan örnekler üzerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda, gölde metal kirliliği tehdidi olduğu tespit edilmiştir (Başaran, 2010).

“Karacaören II Baraj Gölü’ndeki Su, Sediment ve Sazan Örneklerinde Bazı Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi” başlıklı çalışmada, Aksu Çayı üzerinde yer alan barajın su, sediment ve sazan örneklerinde metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen bulgulara göre, suyun metal konsantrasyonunun mevsimsel olarak değiştiği ve en fazla *Fe*, *Zn*, *Al*, *Sr* konsantrasyonu ölçüldüğü, *Cr*, *Cd*, *Hg* metallerinin ölçüm limitlerinin altında kalmasından dolayı hiçbir mevsimde ölçülemediği tespit edilmiştir. ICP – OES cihazı ile sediment örneklerinde yapılan metal analizlerinde *Fe*, *Zn*, *Mn*, *Al*, *Sr* ve *Cr* tüm mevsimlerde ölçülürken; *Pb* İlkbahar’da, *Cu*, *Cd* ve *Hg* ise tüm mevsimlerde ICP-OES’in analiz limitinin altında kaldığından dolayı ölçülememiştir. Balık örneklerinde yapılan değerlendirmede ise *Fe* ve *Zn*’nin besin zinciri ile solungaç, kas ve karaciğerde biriktiği belirlenmiştir. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı ile Dünya Sağlık Örgütü standartlarına göre bir değerlendirme yapıldığında, su ve sediment örneklerinde biriken *Fe* ve *Zn*’nin kirlilik eşiğini aştığı belirlenmiştir. Sazan balıklarının bünyesinde tespit edilen metal miktarlarının risk oluşturmadığından balıkların tüketilmesinde sakınca olmadığı anlaşılmıştır (Tumantozlu, 2010).

“Yamula Barajı (Kayseri) Su, Sediment ve Tatlısu Kefali (Squalus Cephalus) Örneklerinde Ağır Metal Düzeylerinin Mevsimsel Değişiminin İncelenmesi” başlıklı çalışmada, Kızılırmak üzerinde kurulan Yamula Barajı’nda su, sediment ve bazı balık türlerinde metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, su örneklerindeki metal miktarının $Cd < Cr < Ni < Mn < Pb < Cu <$

Zn şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Su örneklerindeki metal konsantrasyonu Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlemiş olduğu risk üst sınırını aşmıştır. Sediment örneklerinin analiz sonuçlarına göre ise metal konsantrasyonu $Ni < Pb < Cr < Zn < Cu < Cd$ şeklindedir. NOAA belirlemiş olduğu kriterlere göre bir değerlendirme yapıldığında, baraj sedimentlerinde Cu konsantrasyonu kirlilik sınırında, Cd ise ağır kirletici sınıfında yer almıştır. Diğer metallerin konsantrasyon değerleri kirlilik sınırının altında çıkmıştır. Balık örneklerinden elde edilen bulgulara göre göldeki metal kirliliğinin besin zinciri ile sazanlara geçtiği tespit edilmiştir. Kas dokusunda biriken Cd ve Pb miktarının, EPA kriterlerine göre insan sağlığı açısından zararlı seviyeye olduğu belirlenmiştir (Kar, 2011).

“Umurbey Çayı ve Barajı’nda (Çanakkale) Suda, Sedimentte ve Bazı Makro Omurgasız Canlılarda Ağır Metal Birikimi ve Toksisitesi” başlıklı çalışmada, Umurbey Barajı’nda 5 farklı istasyondan alınan su, sediment ve canlı örnekleri üzerinde metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, 1. ve 2. örnekleme noktalarında Pb ve Zn diğerlerine göre yüksek değerde çıkmıştır. Bu değerlerin yüksek çıkmasında istasyon yakınlarında bulunan maden işletmesinin faaliyetlerinin neden olduğu vurgulanmıştır. İnceleme alanında ortalama metal konsantrasyonu Cd; 0,004 - Cu; 0,044 - Fe; 1,026 - Mn; 0,664 - Pb; 0,293 ve Zn; 0,581 mg/L olarak belirlenmiştir. Tespit edilen değerler EPA tarafından içme suyu için belirlenen standartlarının üzerinde, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ile belirlenmiş olan sulama suyu kullanım değerlerinin altındadır (Selvi, 2012).

“Gökçekaya Baraj Gölü Dip Sedimentlerinin Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi” başlıklı çalışmada, Sakarya Nehri’nin Eskişehir sınırları içerisinde yer alan Gökçekaya Barajı’ndan 5 farklı istasyondan sediment örnekleri alınmıştır. Sediment örnekleri alımı sırasında suda anlık kalite ölçümleri yapılmıştır. Sedimentte biriken metal miktarı $Fe > Zn > Cr > Ni > Cu > Pb > Co > As > Cd$ şeklinde belirlenmiştir. Bu sonuçlar Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği kapsamında değerlendirildiğinde, As, Cr ve Ni kirlilik sınırının üzerinde Co, Cd, Zn, Cu ve Pb ise sınırın altında çıkmıştır. İstasyonların tümünde tespit edilen As, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn değerlerinin litolojik ardaalan değerlerinden oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sediment örneklerinde As, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn metallerinin zenginleşme faktörü değerleri bakımından antropojenik olarak “çok kirlenmiş” sınıfında yer

almaktadır. Çalışma sonucunda baraj gölünün antropojenik etkiler ile kirletildiği tespit edilmiştir (Kırmızıgül, 2013).

“Karacaören I Baraj Gölü’ndeki (Isparta – Burdur) Su, Sediment ve Sazan (Cyprinus carpio L.,1758) Örneklerinde Bazı Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi” başlıklı çalışmada, Aksu Çayı üzerinde bulunan barajdan su, sediment ve balık örnekleri alınarak, ICP–OES cihazı ile metal analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, su örneklerinde tespit edilen metal miktarının mevsimsel olarak değişmekle birlikte genel olarak $Fe > Al > Ni > Pb > B > Cu > Cr > Zn$ şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Sediment örneklerinde ise $Fe, Cu, Al, Zn, Pb, Ni, Co$ ve Mn tüm mevsimlerde, Cd Yaz mevsiminde, Cr Yaz ve Sonbahar mevsimlerinde tespit edilirken, Hg ve B tüm mevsimlerde ICP-OES cihazının analiz limitinin altında kaldığı için ölçülememiştir. Canlı dokularından alınan örneklerde en fazla Zn birikimi tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, baraj gölünde su ve sedimentteki metal birikim değerlerinin Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı ile Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenen sınırları aşmadığı anlaşılmıştır. Baraj gölünde yaşayan sazamların bünyesine çeşitli konsantrasyonda metaller tespit edilmiştir, ancak elde edilen bulgular risk sınırının altında olduğu için balıkların tüketilmesinde sakınca yoktur (Erdoğan, 2014).

“Dicle Nehri’nin Ilısu Baraj Gölü Bölgesindeki Su, Sediment ve Bazı Balıklardaki Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi” başlıklı çalışmada, Ilısu Barajı’ndan alınan su, yüzey sedimenti ve farklı türde balık örnekleri üzerinde ICP – MS kullanılarak metal analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre yaz aylarında Ilısu Barajı sularında Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Cd ve Pb konsantrasyonunun yüksek değerde olduğu, ayrıca tüm istasyonlardan alınan örneklerde en fazla Fe en az ise Cd ’nin bulunduğu tespit edilmiştir. Sediment örneklerinde metal konsantrasyonunun $Fe > Mn > Cr > Ni > Zn > Cu > Co$ şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Barajda yaşayan çeşitli tür balıkların karaciğer ve solungaçlarında yüksek, kaslarında ise düşük düzeyde metal biriktiği belirlenmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, barajdaki metal konsantrasyonlarının resmî kurumlarca izin verilen limitlerin üzerinde olduğu ve buna bağlı olarak ekolojik risk tehlikesinin bulunduğu tespit edilmiştir (Kaçar, 2015).

“Gelingüllü Barajı’ndaki (Yozgat) Balık Türlerindeki Bazı Ağır Metal Seviyelerinin Belirlenmesi” başlıklı çalışmada, baraj suyunda ve balık bünyelerindeki metal konsantrasyon değerlerinin ölçülmesi için analizler

gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda balık dokusu ve suda *Cu*, *Zn* ve *Cd* metallerinin kirlilik değerlerinin üzerinde konsantrasyon göstererek ekolojik risk yarattığı tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan değerlendirmede, ekolojik riskin kaynağı olarak Karasu ve Eğriöz derelerine deşarj olan sanayi ve evsel atıklar ile kimyasal kökenli tarımsal gübreler gösterilmiştir. Çalışma sonunda, bahsi geçen kirlilik kaynaklarına önlem alınmaması durumunda ekolojik risk düzeyinin artacağı konusunda uyarılar yapılmıştır (Murat, 2015).

“Seydisuyu Havzası (Çatören ve Kunduzlar Barajı, Eskişehir) Su ve Sediment Kalitesinin Belirlenmesi” başlıklı çalışmada, Eskişehir, Kütahya ve Afyon ili sınırlarında yer alan akarsu havzası ile Çatören ve Kunduzlar Barajı’nda belirlenen 12 istasyondan alınan örnekler üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, Kırka bölgesinde *Ni* ve *Cu* ekolojik risk yaratacak düzeyde tespit edilmiştir. Çatören ve Kunduzlar Barajı’ndan alınan örneklerde *As*, *Cr*, *Cd* diğer metallere göre yüksek konsantrasyonda tespit edilmiş ancak ekolojik risk tehlikesine rastlanmamıştır. Kırka bölgesinde tespit edilen ekolojik risk tehdidinde sahadan geçen akarsuya deşarj edilen evsel ve endüstriyel atıklar ve maden yataklarının neden olduğu belirlenmiştir (Çiftçi, 2015).

“Asartepe Baraj Gölü’nün (Ankara) Ağır Metal Kirliliğinin ve Birikiminin Değerlendirilmesi” başlıklı çalışmada, sulama amacıyla kullanılan barajdan 5 farklı istasyondan alınan 12’şer adet su ve sediment örneğinde metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, su ve sediment örneklerinde tüm istasyonlarda *Cr* konsantrasyonu yüksek çıkmıştır. Bu durum başta bölgenin jeolojik özelliklerinden kaynaklanıyor gibi gözükse de yapılan zenginleşme faktörü ve jeoakümüasyon analizleri sonucunda baraj gölündeki *Cr* birikiminin antropojenik kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, barajın su ve sediment örneklerindeki metal konsantrasyon değerlerinin 2015 yılındaki miktarı ile sağlık sorunları ve kirlenmeye neden olacak düzeyde olmadığı ancak *Cr* konsantrasyonu kaynaklı metal kirliliği ve ekolojik risk tehdidi oluşabileceği tespit edilmiştir (Tunç, 2015).

“Altınyazı Baraj Gölü’nde (Edirne) Yaşayan Bazı Balık Türlerinde Ağır Metal Birikimlerinin İncelenmesi” başlıklı çalışmada, baraj gölünden alınan balık, su ve sediment örneklerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda baraj suyunda *Fe* hariç bütün metaller ölçüm limiti altında kalmıştır. Sediment örneklerinde metal konsantrasyonu *Fe* > *Mn* > *Cr* > *Pb* > *Zn* > *Cu* > *Cd* şeklinde sıralanmıştır. Balık

dokularında yapılan analizlerde ise *Cd* ve *Pb* dışındaki diğer metallerin besin tüketiminde kabul edilebilir limitlerde olduğu belirlenmiştir. Çalışmada barajın su, sediment ve balık türlerinde tespit edilen metal konsantrasyonunun ekolojik risk düzeyinde olmadığı tespit edilmiştir (Çetin, vd., 2016).

“Su Çerçeve Direktifine Göre Suat Uğurlu Baraj Gölü’nün Ötrafik Durumunun Değerlendirilmesi” başlıklı çalışmada, barajda belirlenen 4 istasyondan mevsimsel olarak su ölçümleri yapılmış ve sediment örnekleri alınmıştır. Barajda meydana gelen ötrafikasyon ve kötü koku ile kirlilik ilişkisini tespit etmek amacıyla yapılan çalışmada metallerinin konsantrasyon miktarını belirlemek için analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, sediment örneklerindeki metal konsantrasyonu *Hg* > *Zn* > *Cu* > *Ni* > *Pb* > *Cd* şeklinde belirlenmiştir. Metal kaynaklarının tespiti için havza içerisinde yapılan değerlendirmede, tarımsal gübre ve yerleşmelerin atık sularının Yeşilırmak’ı kirlettiği ve buna bağlı olarak metallerin barajda biriktiği tespit edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, baraj tabanında *Hg*, *Zn* ve *Cu* miktarının ekolojik risk seviyesinde olduğu, ayrıca azot ve fosfat birikiminin sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir. Su örneklerinde yapılan incelemede ise özellikle su seviyesinin azaldığı dönemlerde ötrafikasyon riskinin bulunduğu tespit edilmiştir. Kirletici kaynaklarının tespit edilmesine yönelik yapılan arazi çalışmalarında, baraj havzasında kirletici kaynağı olabilecek sanayi faaliyeti bulunmadığı, sanayi tipi kirleticilerin geniş bir havzaya sahip olan Yeşilırmak tarafından taşındığı ve havzadaki tarım faaliyetlerinin barajda azot, fosfat ve metal konsantrasyonunu arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır (Er, 2016).

“Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi Atık Sularının Sır Barajı’nda Meydana Getirdiği Ağır Metal Kirliliği” başlıklı çalışmada, Kahramanmaraş’ın önemli akarsularından olan Aksu Çayı üzerinde bulunan Sır Barajı’nın sularında metal konsantrasyonu analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Sır Barajı üzerinde bulunan 6 istasyondan *Fe*, *Cu*, *Zn*, *Cr*, *Cd*, *Co*, *Ni* ve *Pb* miktarını belirlemek amacıyla farklı tarihlerde su örnekleri alınmıştır. Elde edilen bulgulara göre, tüm istasyonlarda *Fe*, *Cu* ve *Zn* tespit edilirken *Cr*, *Ni*, *Cd* sadece 1. 2. ve 3. istasyonda tespit edilmiştir. *As* ve *Hg* değerleri çok düşük miktarda olduğu için ölçüm limitlerinin altında kalmıştır. Araştırma bulguları değerlendirildiğinde, Sır Barajı’nda metal kirliliği tehdidinin bulunmadığı tespit edilmiştir (Uzun, 2017).

“Damsa Barajı (Nevşehir) Yüzey Suyu Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemi İle Mekânsal Analizi” başlıklı çalışmada, baraj yüzeyinde belirlenen 28 istasyondan, 4 mevsimde, toplam 112 su örneği alınmıştır. Suyun kalitesini belirlemek amacıyla pH, sıcaklık, çözünmüş oksijen konsantrasyonu gibi fiziko-kimyasal analizler yapılmıştır. Analiz ve haritalama sonuçlarından elde edilen bulgulara göre, baraj sularının sıcaklık ve pH yönünden I. sınıf su (*çok iyi*), çözünmüş oksijen konsantrasyonu bakımından II. sınıf su (*iyi*), amonyum miktarı bakımından II. sınıf su (*iyi*) olduğu tespit edilmiştir (Kalıpçı, vd., 2017).

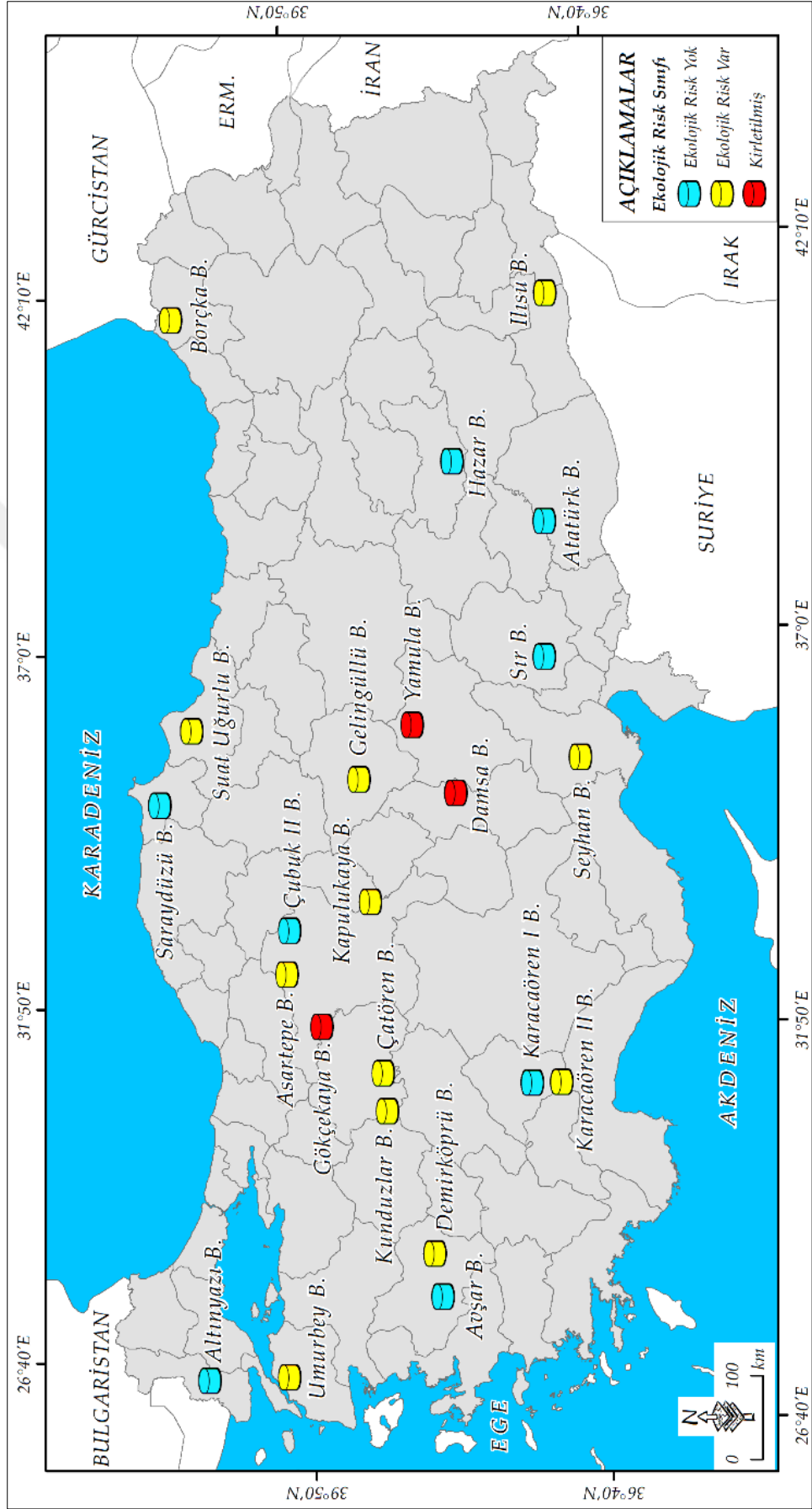
“Biyo-Ekolojik Risk İndeksleri Kullanılarak Seydisuyu Havzası (Kunduzlar ve Çatören Barajı) Sediment Kalitesini Değerlendirilmesi” başlıklı çalışmada, Kunduzlar ve Çatören Barajları’nın yer aldığı Seydisuyu Havzası’nda potansiyel ekolojik risk analizleri gerçekleştirilmiştir. Havza içerisinde belirlenen 15 farklı istasyondan alınan örnekler üzerinde yapılan analiz sonuçlarından elde edilen bulgulara göre, Cr ve Cd’nin potansiyel ekolojik risk oluşturduğu tespit edilmiştir. Havzanın litolojik özellikleri ve arazi kullanımı göz önüne alınarak yapılan değerlendirmede, ekolojik riskin havza genelinde sürdürülen tarım uygulamaları, evsel ve endüstriyel atıklardan kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır (Tokatlı, vd., 2017).

“Biomonitoring of Metal in Mining-Affected Borcka Dam Lake Coupled With Public Health Outcomes” başlıklı çalışmada, Artvin ili çevresi ile Borçka Barajı havzasında sürdürülen madencilik faaliyetlerinin baraj üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında barajda su, sediment ve balık türleri üzerinde metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, balık tüketiminin halk sağlığı açısından tehlike yaratmadığı, sudaki metal konsantrasyonunun kirlilik değerlerinin altında olduğu ancak sediment örneklerinde As, Cu, Pb ve Zn’nin ekolojik risk yaratacak düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda As, Cu, Pb ve Zn’nin bölgede sürdürülen madencilik faaliyetlerinden dolayı yüksek konsantrasyon değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir (Gedik, vd., 2018).

“Assessment of Surface Water Quality Using Water Quality Index and Multivariate Statistical Analyses in Saraydüzü Dam Lake Turkey” başlıklı çalışmada, Sinop Boyabat sınırları içerisinde yer alan Saraydüzü Barajı’nda belirlenen 6 istasyondan 1 yıl boyunca belirli periyotlarda su örneği alınarak, su kalitesini belirleyen 28 parametreye göre analizler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları Dünya Sağlık Örgütü ile Türkiye Orman ve Su İşleri Bakanlığı Yüzey

Suyu Kalite Yönetmeliği içme suyu standartları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. İçme suyu ve sulama suyu kalitesinin de incelendiği çalışmada; sodyum absorpsiyon oranları ve sodyum karbonat değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, sulama suyu kalitesinin, sodyum oranı açısından iyi olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen bulgulara göre, barajda Drinking Water Quality Index (WQI) değerleri 17.62 ve 29.88 arasında değişmektedir. Bahsi geçen değerler resmi kuruluşların kalite standartlarına göre incelendiğinde, su kalitesi parametreleri tüm aylarda ve istasyonlarda risk sınır değerlerini aşmamıştır. Bu durum Saraydüzü Barajı sularının içme ve sulama için çok iyi kalitede olduğunu göstermektedir. Çalışma sonunda baraj gölüne ekolojik risk oluşturacak düzeyde fosfat ve azot girişi olmadığı, organik maddelerin bozunma sürecinde aşırı oksijen tüketimine bağlı olarak anoksik koşulların ortaya çıkmadığı ve barajda ekolojik risk bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Kükrer ve Mutlu, 2019).

Baraj göllerinin ekolojik risk durumuna yönelik mevcut literatürden elde edilen bulgular değerlendirildiğinde ekolojik risk araştırması yapılan 23 barajın 8 tanesinde ekolojik risk tespit edilmemiş, 12 tanesinde ekolojik risk tehlikesi tespit edilmiş, 3 barajın ise ekolojik risk sonucu kirletilmiş olduğu belirlenmiştir. Bu durum; Türkiye'nin önemli yapay su rezervleri olan baraj göllerinin antropojenik faaliyetlerden etkilenerek ekolojik risk tehlikesi ile karşı karşıya kaldığını göstermektedir.



Şekil: Türkiye'deki Bazı Baraj Göllerinin Ekolojik Risk Durumu (Şakir Fural)

2.1.2. Doğal Göllerde Yapılan Çalışmalar

Çalışma bulgularının daha iyi değerlendirilebilmesi ve doğal kaynaklar üzerindeki ekolojik risk tehlikesi sorununa dikkat çekilmesi için çalışmanın bu bölümünde, bazı doğal göllerde yapılan ekolojik risk çalışmaları incelenmiştir.

“Tuz Gölünde, Tuz Üretim Prosesinde Ağır Metal Değişimi” başlıklı çalışmada, göldeki örnekleme noktalarından tuz örneği alınarak metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre *Fe, Al, Co, Mn, Cr* ve *Ni*’nin yüksek konsantrasyon değerlerine ulaştığı; *As, Hg, Pb* ve *Cd*’nin düşük konsantrasyon seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Yüksek konsantrasyon değerlerinde olan metaller belirli bir düzeyden sonra tuzun kimyasal yapısını etkileyerek tuz kalitesinin düşmesine neden olmakla birlikte, ekolojik risk sorunu yaratacak düzeye gelmiştir. Tuz Gölü’nde meydana gelen metal kirliliğinin kaynağı olarak Konya’nın evsel ve sanayi atıklarının gölü besleyen akarsulara deşarj edilmesi gösterilmiştir. (Saral, 2000).

“Çevre Yönetiminde Ekolojik Risk Değerlendirmesi ve Uluabat Ramsar Alanı İçin Problem Formülasyonu” başlıklı çalışmada, çeşitli indeks ve hesaplamalar ile ekolojik risk değerlendirmesinin bir aşaması olan problem formülasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, Uluabat Gölü’nün maruz kaldığı olumsuz şartlar ve bu olumsuzlukların ortaya çıkardığı ekolojik riskler incelenmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, Uluabat Gölü için su içerisinde askıda kalan katı maddeler, kimyasal maddeler ve avlanma ekolojik risk faktörü olarak belirlenmiştir (Çelik, 2000).

“Sultan Sazlığı ve Çevresindeki Sucul Ekosistemlerde Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi” başlıklı çalışmada, Türkiye’nin korunan sulak alanları içerisinde olan sahada seçilen 13 istasyondan su, sediment ve çeşitli bitki örnekleri alınarak metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre *Fe, Mn, Cr*’nin konsantrasyon değerleri yüksek çıkmıştır. Bitkilerin kök ve gövdelerinde, su ve sedimentte biriken metallerin bölgede yapılan tarım faaliyetleri sonucunda akarsular tarafından taşınarak getirildiği tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda sulak alan içerisinde alınan tüm örneklerde, çeşitli miktarlarda metal kirliliği bulgusuna ulaşıldığı ve önlem alınmaması durumunda sulak alanın bitki varlığının tehlike altına girebileceği tespit edilmiştir (Demirezen, 2002).

“Gala Gölü ve Çevresinde Ağır Metal Derişiminin Dinamiğı” başlıklı çalışmada, Meriç Deltası Sulak Alanı içerisinde yer alan Gala Gölü ve Edirne ilinin İpsala ile Enez ilçesi çevresinden 9 istasyondan alınan su örneklerine metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, suların *Ni, Zn, Fe* miktarı bakımından 1. sınıf; *Pb, Cd, Cu, Co, Mn* miktarı bakımından 3. ve 4. sınıf olduğu tespit edilmiştir. Su örneklerindeki *Fe, Cu, Zn, Ni* miktarı sulama suyu kullanımı için uygunken, *Co, Cd, Mn, Pb, Cu* miktarı sulama suyu için izin verilen limitleri aşmaktadır. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, bölgede tarımsal sulama için kullanılan suların bünyesindeki metallerin (*Co, Cd, Mn, Pb, Cu*) besin zinciri yoluyla insanları etkileme riskinin yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Bayrak, 2004).

“Assessment of Heavy Metal Residues in the Sediment and Water Samples of Uluabat Lake, Turkey” başlıklı makalede, Uluabat Gölü’nden alınan su ve yüzey sedimenti örneklerinin metal analizleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında 2001 Eylül ve 2002 Kasım ayları arasında sediment birikiminin fazla olduğu noktalar ile sanayi faaliyetlerine yakın yerlerden alınan 6 adet sediment ve su örneklerinin metal analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, özellikle su örneklerinde 2001 yılının Kasım ve 2002 yılının Şubat aylarında *Fe* oldukça yüksek, *Cd, Co, Cu* ve *Pb* değerleri ise ortalama değerlerin altında çıkmıştır. Sediment örneklerinde ise su örneklerinde olduğu gibi *Fe* konsantrasyonu diğer metal miktarlarına göre özellikle Mayıs, Haziran ve Eylül 2002 döneminde rastlayan tarihlerde yüksek çıkmıştır. Çalışma kapsamında, *Fe’nin* göl için ekolojik risk düzeyine yaklaştığı tespit edilmiştir (Barlas, vd., 2005).

“Ecological Risk Assessment and Problem Formulation for Lake Uluabat, a Ramsar State in Turkey” başlıklı makalede, Uluabat Gölü’nü tehdit eden ekolojik risklerin tespit edilmesi için incelemeler yapılmıştır. 1998 yılında Ramsar Alanı olarak ilan edilen sahada yapılan ekolojik risk değerlendirmesi sonucunda, dört farklı risk faktörü belirlenmiştir. Bu risk faktörleri; askıda kalan katı maddeler, kimyasal maddeler, besin maddeleri ve avlanma olarak sıralanmıştır. Ayrıca göl havzası sınırları içerisinde gerçekleşen antropojenik faaliyetler ve doğal faktörler nedeniyle oluşan erozyon sonucu aşırı sediment yükünün göl yatağının dolmasına neden olduğuna dikkat çekilmiştir. Çalışma sonucunda tespit edilen ekolojik risk faktörleri için çözüm önerileri sunulmuş, önerilerin dikkate alınmaması durumunda sahanın Ramsar Alanı statüsünü kaybetmekle birlikte, doğal yapısının bozulabileceği vurgulanmıştır (Salihoğlu ve Karaer, 2004).

“Kovada Gölü’nün Su ve Sedimentindeki Bazı Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi” başlıklı çalışmada, Mayıs 2005 – Şubat 2006 tarihleri arasında göl üzerinde belirlenen istasyonlardan mevsimlik periyotlarda örnekler alınmış ve ICP–OES cihazıyla metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, su örneklerindeki metal miktarının mevsimlere göre değiştiği ancak *Fe* metalinin her mevsimde en yüksek konsantrasyonda ölçüldüğü tespit edilmiştir. Sediment örnekleri sonuçlarına göre değerlendirme yapıldığında *Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Al* ve *Ni* metallerinin tüm mevsimlerde belirli konsantrasyon değerlerine ulaştığı ancak *Al*’nin sedimentte en yüksek konsantrasyonda ölçüldüğü belirlenmiştir. Araştırma bulgularına göre, Kovada Gölü sularında biriken *Fe* ve *Zn*, sedimentte biriken *Al* ve *Fe* metallerinin Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı’nın belirlediği kirlilik değerlerinin üzerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Kır, vd., 2007).

“Mogan Gölü’nde Su ve Sedimentte Ağır Metal Düzeylerinin Tespiti: Sazan (*Cyprinus carpio*) ve Kadife (*Tinca tinca*) Balık Dokuları Üzerine Etkilerinin İncelenmesi” başlıklı çalışmada, Mogan Gölü ve çevresindeki 6 istasyondan belirli aralıklarla numuneler toplanmıştır. Toplanan numunelerin analizleri ICP–OES cihazı kullanılarak yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre sediment örneklerinde metal konsantrasyonu $Al > Fe > Zn > Ni > Cu > Pb > As > Cd > Hg$ şeklinde gerçekleşmiştir. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’ne göre bir değerlendirme yapıldığında; Şubat ayında yapılan ölçümlerde *Hg* 1. 2. 3. istasyonlarda; *As* ise 2. 3. ve 6. istasyonlarda kirlilik değerinin üzerinde çıkmıştır. Su örneklerindeki metal konsantrasyonu mevsimlere göre değişmekle birlikte $Pb > Al > Fe > As > Ni > Hg > Cu \geq Zn > Cd$ şeklinde sıralanmıştır. *Al* ve *As* metal konsantrasyonu bazı mevsimlerde Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği kirlilik değerlerinin üzerinde çıkmıştır. Balık türleri üzerinde yapılan analizlere göre, solungaçlarda metal birikimine bağlı patolojik değişimler olmakla birlikte balıkların tüketilmesinde sağlık açısından bir sorun tespit edilmemiştir (Dostbil, 2010).

“Seyfe Gölü Su Kalitesi ve Dip Çamuru Ağır Metal Özelliklerinin Belirlenmesi” başlıklı çalışmada, gölde belirlenen 6 istasyondan 4 mevsim boyunca 24 adet su ve sediment örneği alınarak metal ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, su örneklerinde *Pb, As* ve *Cd* konsantrasyonu oldukça yüksek değerlerde çıkmış ve bu durum göl sularının 4. sınıf su sınırına girmesine neden olmuştur. Sediment örneklerindeki metal konsantrasyonunun yazın $Zn > Pb > As > Cr > Ni > Cu > Co > Cd$; kışın ise $Zn > Pb > As > Cr > Ni > Cu > Cd > Co$ şeklinde

değiştii tespit edilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre, sedimentte tespit edilen As kirlilik miktarının üzerindedir. Çalışma sonunda, ekolojik risk tehlikesinin ortadan kaldırılması için Doğal Sit Alanı olarak korunan bölgenin koruma statüsünün artırılması, göl havzasında sentetik gübre kullanılarak yapılan tarım faaliyetlerinin ve endüstriyel atık yayan işletmelerin denetlenmesi önerilmiştir (Başaran, 2011).

“Köyceğiz Gölü Sedimentinde Ağır Metal Fraksiyonlarının İncelenmesi” başlıklı çalışmada, Özel Çevre Koruma Bölgesi statüsünde korunan gölde belirlenen 5 istasyondan Kasım 2011, Ocak 2012 ve Nisan 2012 tarihlerinde sediment örnekleri alınarak metal analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, *Mn* ve *Pb* metallerinin yüksek derecede kirlilik riski oluşturduğu, *Cr* ve *Fe*’nin ise diğer metallerden (*Cd*, *Cu*, *Ni*, *Zn*) yüksek konsantrasyonda olmalarına rağmen, düşük seviyede zenginleştikleri için kirlilik riski oluşturmadığı tespit edilmiştir. Köyceğiz Gölü çevresinde yapılan incelemelerde, kirlilik kaynağı olarak bölgede sayıları hızla artan turizm tesislerinin kirleticileri ile göle deşarj olan akarsu havzalarında gerçekleşen tarımsal gübrelemenin metal konsantrasyonlarının yüksek değerde çıkmasına neden olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Keskin, 2012).

“Azap Gölü’nün Sediment ve Sularındaki Ağır Metal Miktarlarının Belirlenmesi” başlıklı çalışmada, Azap Gölü’nde belirlenen 5 istasyondan Eylül 2013 – Mayıs 2014 tarihleri arasında su ve sediment örnekleri alınmıştır. Alınan örneklere kimyasal analizler uygulanarak suyun kalite düzeyi ve metal konsantrasyonu belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, su ve sediment örneklerindeki *Fe*, *B* ve *Al* konsantrasyonu diğer metallere göre daha yüksek tespit edilmiştir. Su örneklerinde genel olarak *Cr*, *Co*, *Cd* ve *Pb*; sediment örneklerinde ise *Pb* ölçüm değerlerinin altında kaldığından tespit edilememiştir. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, göl sedimentlerinde biriken *Fe*, *B* ve *Al* metallerinin ekolojik risk yaratacak düzeyde olduğu tespit edilmiştir (Kiracı, 2014).

“Eğirdir Gölü (Isparta) Suyunda, Sedimentinde ve Gölde Yaşayan Sazanların (*Cyprinus carpio* L., 1758) Bazı Doku ve Organlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi” başlıklı çalışmada, Eğirdir Gölü sedimentlerinde metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, gölde belirlenen 6 istasyonda Eylül 2011 – Şubat 2012 tarihleri arasında aylık periyotlarla su, sediment ve sazan örnekleri alınmıştır. Analiz sonuçlarına göre, su örneklerinde en fazla *Mn*, en az *Cr* tespit edilmiş, *Pb* tüm istasyonlarda ölçüm değerlerinin altında kalırken diğer metaller belirli miktarlarda tespit edilmiştir. Sediment örnekleri incelendiğinde,

konsantrasyon en fazla *Fe* ve *Mn*, *Zn*; en az *Cd* metalinde ölçülmüştür. Sazan örneklerinde *Fe* ve *Zn* değerleri yüksek çıkmıştır. Elde edilen bulgulara göre, Eğirdir Gölü'nde suda *Zn*, sedimentte *Fe*, Sazan dokularında *Fe* ve *Zn* konsantrasyonu resmî kurumların belirlediği miktarın üzerinde çıkmıştır. Çalışma sonunda gerçekleştirilen arazi çalışmalarında, göl çevresindeki tarım alanlarında kullanılan gübreler ve yerleşmelerden kaynaklanan evsel atıkların akarsular tarafından göle deşarj edilmesi kirlilik kaynağı olarak tespit edilmiştir (Kaptan, 2014).

“Eğirdir Gölü ve Göldeki Bazı Su Ürünleri Türlerinde Ağır Metal Düzeyleri ve Stres Parametrelerinin Araştırılması” başlıklı çalışmada, gölün çeşitli noktalarına bulunan 9 istasyondan örnekler alınarak metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen bulgulara göre, suda *As* dışında diğer metallerin düşük konsantrasyonda bulunduğu, *As* konsantrasyonunun ise içme ve kullanma suyu açısından kirlilik değerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Sediment örneklerinde *Ni* dışındaki tüm metaller kirlilik değerinin altında ölçülmüştür. Balık örneklerinde yapılan değerlendirmede; *Zn* ve *Cu* metallerinin solungaç, kas, karaciğer vb. dokularında diğer metallere göre yüksek miktarda biriktiği görülmüştür. Elde edilen tüm bulgular; mevcut literatür, ulusal ve uluslararası kuruluşların kriterlerine göre değerlendirildiğinde, Eğirdir Gölü'nde ekolojik risk yaratacak düzeyde metal kirliliğinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Bulut, 2015).

“Distribution and Environmental Risk Evaluation of Heavy Metal in Core Sediments From Lake Çıldır (NE Turkey)” başlıklı makalede, Çıldır Gölü'nden alınan sedimentler içerisindeki metallerin dikey dağılımı ve bunların potansiyel ekolojik risk analizi, organik karbon içeriği ile klorofil bozunma ürünleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında, doğu – batı ve kuzey – güney yönlerinde olmak üzere iki hat üzerinde bulunan 6 istasyondan örnek alınmıştır. Örneklerin analiz sonuçlarından elde edilen veriler üzerinde; zenginleşme faktörü, kontaminasyon faktörü, potansiyel ekolojik risk faktörü ve kirlilik yükü indeksi hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre; *Pb*, *As* ve *Cd* için düşük, *Mn* için orta düzeyde kontaminasyon tespit edilmiştir. Yapılan incelemelerde en yüksek kontaminasyon seviyesi *Hg* metalinde ölçülmüştür. Göldeki yüzey sedimentlerinde iki metal (*Hg* ve *Cd*) ekolojik risk faktörü olarak belirlenmiştir (Kükrer, vd., 2015).

“Kovada Gölü’nün Suyunda, Sedimentinde ve Gölde Yetişen Kamış Bitkisinde Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi” başlıklı çalışmada, Kovada Gölü’nde belirlenen istasyonlardan mevsimsel olarak su, sediment ve bitki örnekleri toplanarak metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; *Cu, Mo, Zn, Mn, Pb* metal miktarlarının suda mevsimlere göre değişmekle birlikte diğer metallere göre yüksek konsantrasyon gösterdiği belirlenmiştir. Sediment örnekleri incelendiğinde; *Cd, Cu, Fe, Mo, Mn, Se* ve *Zn* metalleri ilkbahar mevsiminde, *Cr, Ni* ve *Pb* ise kış mevsiminde en yüksek düzeyde tespit edilmiştir. Su ve sedimentte biriken metallerin göldeki bitkilerin kök, gövde ve yapraklarında biriktiğinin tespit edildiği çalışmada Kovada Gölü’nde metal kirliliğine dair önlemler alınması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Sancer, 2015).

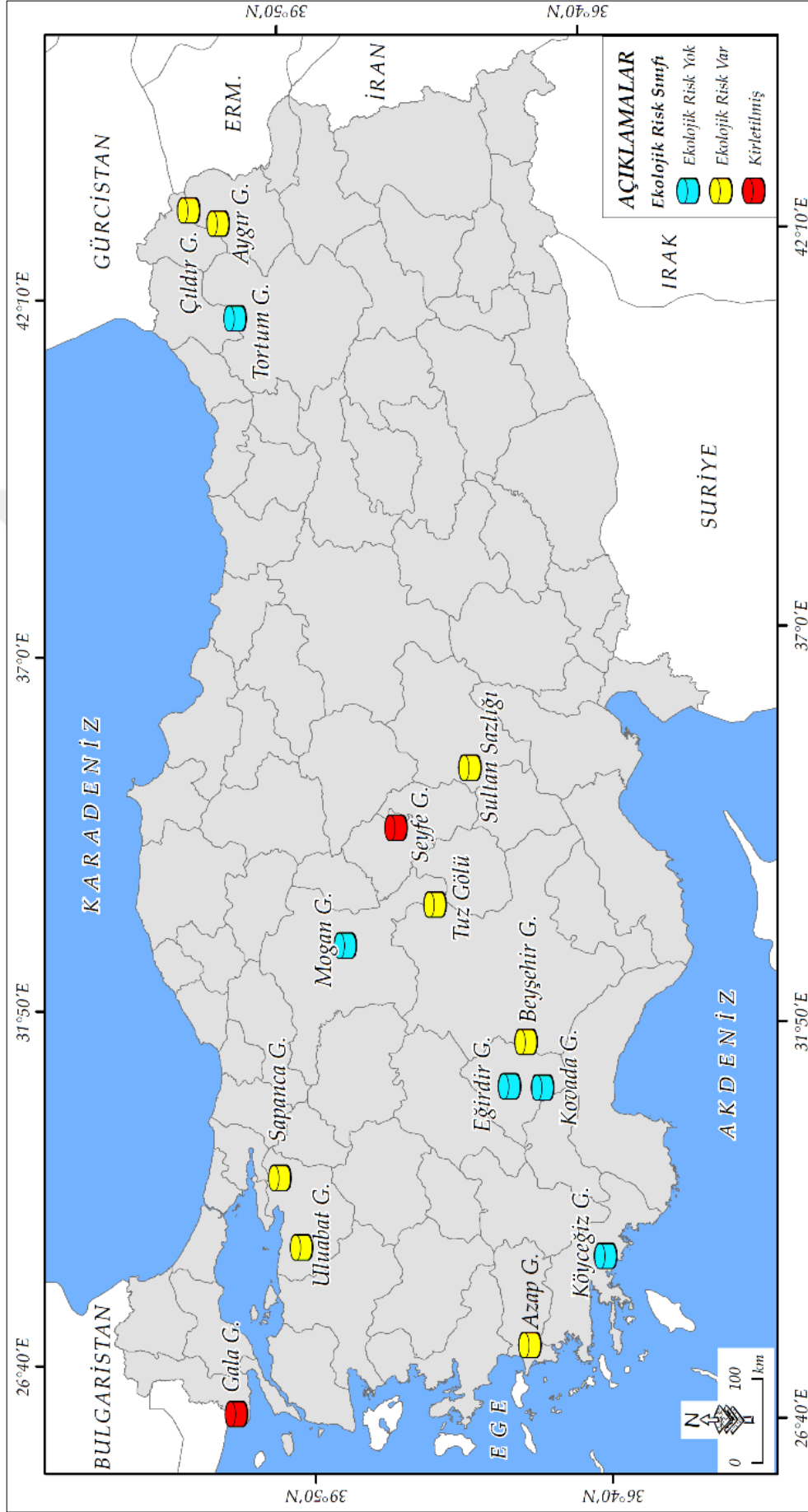
“Beyşehir Gölü’nde Su ve Sedimentte Ağır Metal Birikimi ve Sedimentte Antropojenik Kontaminasyon Değerlendirmesi” başlıklı çalışmada, Beyşehir Gölü’nde belirlenen 3 istasyondan alınan 9 adet su ve sediment örneğinin metal analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, su örneklerinde 3. istasyonda yüksek miktarda metal kirliliği tespit edilmiş, bu durum istasyon çevresinde yapılan tarımsal gübrelemeyle ilişkilendirilmiştir. Sediment örneklerinde ise özellikle *Cr, Zn, Cu, Mn, Ni, As* metallerinin yüksek oranda kirlilik yaratacak düzeyde biriktiği tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda Beyşehir Gölü su ve sedimentlerinde *Ni* ve *As* metalleri potansiyel ekolojik risk faktörü olarak belirlenmiştir (Tunca, 2016).

“Tortum Gölü Yüzey Sedimentlerindeki Metal Birikiminin Ekolojik İndeksler Yolu ile Kapsamlı Risk Değerlendirmesi” başlıklı çalışmada, Tortum Gölü’nde belirlenen 6 istasyondan yüzey çökeli örneği alınarak ekolojik risk analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen verilerle zenginleşme faktörü (EF), kontaminasyon faktörü (CF), kirlilik yük indeksi (PLI), potansiyel ekolojik risk indeksi (PER) hesaplamaları yapılmıştır. Ekolojik risk indekslerinden elde edilen bulgulara göre, gölde en fazla zenginleşme gösteren metalin *Cd* olduğu tespit edilmiştir. *Cd* kaynağının ise göl yakınlarındaki yerleşmelerde kullanılan fosil yakıtlar olduğu belirlenmiştir. Genel bir değerlendirme yapıldığında, Tortum Gölü tabanında biriken metallerin 2016 yılı şartlarına göre ekolojik risk faktörü yaratmadığı ancak önlem alınmaması durumunda *Cd*’nin gelecek yıllarda ekolojik riske neden olabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Kükrer, 2016).

“Sapanca Gölü Havzası’ndan Alınan Toprak ve Sediment Örneklerinde Ağır Metal Kirliliğinin Ardışık Ekstraksiyon Yöntemiyle Araştırılması” başlıklı çalışmada, Sapanca Gölü’nde 10 sediment örnekleme istasyonu, göl çevresinde 10 toprak örnekleme istasyonu seçilerek 20 noktadan 3 aylık periyotlar ile örnekler alınmıştır. Çalışma kapsamında alınan örnekler ICP–OES cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen bulgulara göre; *Al* ve *Fe* bütün istasyonlarda yüksek konsantrasyon değerlerine ulaşmıştır. Havzada yapılan arazi çalışmalarında bu durum doğal ortam şartlarına bağlanmıştır. Ancak, istasyonlarda tespit edilen diğer metallerin (*As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn*) kökeninin antropojenik kaynaklı olduğu ve konsantrasyonun yüksek çıkmasında trafik, endüstri atıkları ve tarım uygulamalarının etkili olduğu tespit edilmiştir. Genel bir değerlendirme yapıldığında, havza içerisinde ve gölde ekolojik riske rastlanmamıştır (Çalışkan, 2017).

“Vertical and Horizontal Distribution, Source Identification, Ecological and Toxic Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Lake Aygır, Kars, Turkey” başlıklı çalışmada, Aygır Gölü’nde belirlenen 5 farklı istasyondan alınan sediment örnekleri üzerinde metal konsantrasyonu, toplam sülfür ve fosfat miktarı, organik karbon miktarının belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen bulgular kullanılarak potansiyel ekolojik risk, zenginleşme faktörü, toksik risk indeksi hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, *Zn*’nin yüzey sedimentinde en yüksek birikime sahip olduğu tespit edilmiştir. Göl sedimentlerinde biriken metaller arasında sadece *Cd* zenginleşmesi kritik eşik değerini aşmakta ve orta derecede potansiyel ekolojik risk yaratmaktadır. TRI’ye göre değerlendirme yapıldığında; Aygır Gölü’nde toksik risk bulunmamaktadır. Göl havzasında tarım, sanayi ve kentleşme gibi antropojenik faktörler etki düzeyinde olmadığı için göl sedimentlerindeki metallerin kaynağı olarak yakındaki yerleşmelerde kullanılan fosil yakıtların sorumlu olduğu düşünülmektedir (Kükrer, 2018).

Genel bir değerlendirme yapıldığında; Türkiye’de ekolojik risk analizleri yapılan göllerin büyük çoğunluğunda ekolojik risk sorunu tespit edilmiştir.



Şekil: Türkiye'deki Bazı Göllerin Ekolojik Risk Durumu (Şakir Fural)

2.1.3. Diğer Ekosistemler Üzerinde Yapılan Başlıca Çalışmalar

Akarsularda yaşanan metal kirliliği, göl ve barajlar kadar önemlidir. Çünkü kapalı havzalara dökülen akarsular taşıdıkları metalleri doğrudan kapalı havza göllerine iletmektedir. Denize ulaşan akarsuların koy ve körfezleri kirlettiği düşünüldüğünde konunun önemi ortaya çıkmaktadır. Türkiye’de akarsular üzerinde yapılan metal kirliliği ve ekolojik risk konulu çalışmalar kısaca değerlendirildiğinde; Seyhan Nehri’nde yapılan çalışmada akarsu sedimentlerinde orta derecede *Pb* ve *Zn*, yüksek derecede *Mn* kirliliği bulunduğu ve akarsuyun orta derece kirlilik düzeyinde olduğu tespit edilmiştir (Kazak, 2012). Büyük Menderes Nehri’nde yapılan çalışmada ise akarsu sedimentlerinde *Mn* ve *Zn*, delta ovasında ise *Hg*’nin ekolojik risk düzeyinde kirlilik yaratmaya başladığı tespit edilmiştir (Yılğör, 2009). Porsuk Çayı’nın yüzey sedimentlerinde *Zn*, *Mn* ve *Pb* konsantrasyonunun ekolojik risk yaratacak düzeyde yüksek olduğu ve metal içeriklerinin gölde yaşayan balık dokularına geçtiği tespit edilmiştir (Köse, 2012). Çoruh Nehri’nde yapılan araştırmada *Zn*, *Sb* ve *Sc* metallerinde düşük seviyede zenginleşme, *As*’de yüksek *Ni*’de çok yüksek düzeyde zenginleşme tespit edilmiştir (Kılıç, 2015). Van Gölü’ne dökülen akarsular olan Bendimahı Çayı, Karasu Çayı, Değirmendere Çayı ve Engil Çayı’nda yapılan analizlerde *Ni*, *Zn*, *Pb* metal konsantrasyonunun artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Bakır, 2016). Görüldüğü gibi Türkiye’de bazı akarsularda yapılan araştırmalarda belirli miktarlarda metal kirliliği ve ekolojik risk tespit edilmiştir.

Türkiye’deki bazı koy, körfez, plaj ve lagünler hakkında yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde; Antalya Körfezi’nde yakalanan balık dokularındaki metal konsantrasyonunun ulusal ve uluslararası ölçeklerin altında olduğu tespit edilmiştir (Pınar, 2014). İskenderun Körfezi’nde su ve sedimentte yapılan bir araştırmada *Cd*, *Cu*, *Pb*, *Zn*, *Cr* ve *Al* metallerinin körfezde orta derecede ekolojik riske neden olabilecek düzeyde kirlilik yarattığı belirlenmiştir (Türkmen ve Aras, 2011). Çanakkale ili sınırlarında bulunan Çardak Lagünü’nde *Hg* ve *Cd*’nin ekolojik risk tehlikesi yarattığı tespit edilmiş, risk kaynağı olarak maden ocakları ve tarımsal faaliyetler belirlenmiştir (Kükrer, Erginal, vd., 2020). Silifke Alanya arasında plaj kumları üzerinde yapılan bir araştırmada; karayolu, akarsu ağızları, turistik tesis ve yerleşme yakınların metallerin zenginleşme faktörlerinde kirliliğe ve ekolojik riske neden olabilecek nitelikte artış tespit edilmiştir (Karakaya, 2011).

Türkiye’de delta ovalarında metal kirliliği ve ekolojik riskin tespitine yönelik bazı çalışmalar yapılmıştır. Büyük Menderes deltasında *Hg*’nin ekolojik risk düzeyinde kirlilik yaratmaya başladığı tespit edilmiştir (Yılgör, 2009). Kızılırmak Deltası’nda Kızılırmak’ın yan kollarının geçtiği bölgelerdeki antropojenik etkiler sonucunda *Fe*, *Ni* ve *Zn* biriktiği ve bu metallerin orta derecede ekolojik risk yarattığı tespit edilmiştir (Engin, 2012). Gediz Deltası’nda *Cd*, *Cu* ve *Fe* kirlilik değerlerini aşarak ekolojik risk yaratmıştır (Yıldırımoglu, 2015). Kocasu Deltası’nın Marmara Denizi tabanındaki devamı niteliğindeki noktalardan alınan sediment örneklerinde *Cr*, *Ni* ve *Pb* orta derecede ekolojik risk yaratmaktadır (Pehlivan, 2017).

Yukarıda yer alan örneklerden anlaşılacağı gibi, metal kirliliği bütün ekosistemleri ve doğal kaynak değerlerini tehdit eden önemli bir potansiyel ekolojik risk tehlikesidir.

2.2. İnceleme Alanı ile İlgili Alanyazın

Çalışmanın bu bölümünde, İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası ile ilgili alanyazın değerlendirilmesi yapılmıştır.

“Kille Çayı Havzası’nın (Balıkesir) Jeomorfoloji ve Uygulamalı Jeomorfoloji” başlıklı çalışmada, inceleme alanının genel coğrafi özellikleri, jeolojik, jeomorfolojik özellikleri ve uygulamalı jeomorfoloji sorunları hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışma kapsamında, sahada Paleozoik’ten Kuvaterner’e kadar geçen süre içerisinde metamorfik, magmatik ve tortul kayaçların olduğu ve baraj gölü havzası içerisinde bu kayaç türlerinin temel litolojik yapıyı oluşturduğu tespit edilmiştir. Havzanın şekillenmesinde litolojik özelliklerin yanında, tektonik hareketler, aşınım-birikim süreçleri ve dış kuvvetlerin etkili olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan değerlendirmede, havzanın ana jeomorfolojik birimlerini; dağlık sahalar, plato yüzeyleri, ova ve vadi tabanı düzlüklerinin oluşturduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın uygulamalı jeomorfoloji bölümünde, sahanın ekolojik dengesini bozan unsurlar üzerinde durulmuştur. Bu kapsamda; Kille Çayı Havzası sınırları içerisinde gerçekleştirilen yanlış arazi kullanımı, yerleşmelerin yanlış yer seçimi, taşkınlar ve çekikler, erozyon ve siltasyon ekolojik dengeyi bozan uygulamalı jeomorfoloji sorunları olarak belirlenmiş ve tespit edilen sorunlar için uygulanabilir çözüm önerileri sunulmuştur (Kızılcıaoğlu, 2002).

“Chemical Characteristics and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Sediments of the İkizcetepeler Dam Lake of Northwestern Turkey” başlıklı çalışmada, İkizcetepeler Baraj Gölü’nden alınan yüzey çökeli örneklerinde organik maddelerin kimyasal bileşimlerinin bozulması sonucu ortaya çıkan toksik ve kanserojen etki yaratan Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) analizleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut literatürde ekosistemde 100 adetten fazla PAH türü tespit edilmiş ve bunların 16 tanesi oldukça zararlı olarak ayırt edilmiştir. Bu çalışmada, bahsi geçen 16 yüksek toksik etkiye sahip PAH analiz edilmiş ve örnekleme noktalarına göre değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma kapsamında, PAH ve istatistiksel analizlerden elde edilen sonuçlara göre, en kirli ve riskli nokta Bağırsak Dere ile yakınında bulunan süreksiz akarsu ağzına karşılık gelen 33. örnekleme noktası olarak tespit edilmiştir. Buradaki kirlilik ve risk kaynağı olarak örnekleme noktası yakınlarından geçen karayolu gösterilmiştir (Topal, vd., 2014).

“İklim Değişikliğinin İkizcetepeler Barajı Akımlarına Etkilerinin Modellenmesi: 2015-2030 Projeksiyonu” başlıklı çalışmada, inceleme alanına 2015 - 2030 yılları arasında düşecek yağış miktarıyla akarsu akım değişimi üzerinde istatistik hesaplamalar yapılarak bir model oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, 1960-1999 yılları arasında havzaya düşen yağış miktarı ve yıllık ortalama sıcaklık değişimleri istatistiksel hesaplamalara tabi tutulmuştur. Havzadaki yağış ve sıcaklık değişimlerinin akım miktarı üzerindeki olası etkilerini değerlendirmek amacıyla indirgenmiş senaryo sonuçları parametrik bir hidrolojik model yardımıyla analiz edilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda, İkizcetepeler Baraj Gölü’nü besleyen Kille Çayı ve yan kollarının (*Koca Çay, Çınarlı Dere, Bağırsak Dere*) akım değerlerinde 2015 – 2030 yılları arasında %23 oranında azalmanın olacağı sonucuna ulaşılmıştır (Okkan ve Karakan, 2016).

3. YÖNTEM

Çalışma kapsamında, öncelikle detaylı bir literatür taraması yapılmıştır. Literatür taramasıyla konu ve alanla ilgili temel bilgiler edinilmiş, mevcut literatürde yer alan eksiklikler tespit edilmiş ve araştırmanın genel çerçevesiyle birlikte, kullanılacak metotlar hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Ekolojik risk analizi konusunda yapılan çalışmalarda genellikle çökel, su, bitki ve balık örnekleri kullanılmaktadır. Metal konsantrasyonu su, balık ve bitki bünyesinde mevsimlik hatta aylık olarak değiştiği için bu örneklerin tercih edildiği çalışmalarda birkaç örnekleme noktası belirlenerek aylık ve mevsimlik örnekleme yapılmaktadır (Hou, He, vd., 2014). Ancak bu çalışmadaki gibi, örnekleme sayısının fazla olduğu ve mekânsal dağılışı haritalarının yapılacağı araştırmalarda çökel örnekleri daha çok tercih edilmektedir. Çünkü metal konsantrasyonu, çökel örneklerinde sedimantasyon hızına bağlı olarak oldukça uzun sürelerde değişmektedir. Bu nedenle, çökeller ekolojik risk faktörlerinin en iyi göstergesi olarak kabul edilmektedir (Luczynska ve Kang, 2018). Bu nedenle çalışmada çökel örneklerinin kullanılması uygun görülmüştür. Çalışmaya başlamadan önce, araştırma izinleri için Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri 25. Bölge Müdürlüğü ve Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'ne başvurular yapılarak gerekli izinler alınmıştır.

3.1. Araştırma Modeli

Araştırma kapsamında, durum çalışması ve eylem araştırması modelleri birlikte kullanılmıştır. Durum çalışması yardımıyla baraj gölündeki sorunlar nicel araştırma yöntemleriyle araştırılmış ve elde edilen veriler birbirini teyit edecek çeşitli ekolojik risk indeksleri kullanılarak çalışmaya aktarılmıştır. Böylece, çalışmadan elde edilen bulguların geçerliliği ve güvenilirliği arttırılmaya çalışılmıştır. Eylem araştırması modeliyle ekolojik risk indeksleri ve mekânsal analizlerle tespit edilen sorunlu noktalar arazi çalışmasıyla incelenmiştir.

3.2. Evren ve Örneklem

Çalışmanın evrenini İkizcetepeler Baraj Gölü, örneklemini ise baraj tabanında sistematik metotla seçilen 32 yüzey çökeli örnekleme noktası ve çalışma sırasında belirlenen 1 adet karot örnekleme noktası oluşturmaktadır. Örnekleme noktalarından alınan çökellerden elde edilen bulgular, çok değişkenli istatistiksel analizler ve mekânsal analizler ile baraj gölünün tamamını kapsayacak şekilde genellenerek çalışmaya aktarılmıştır.

3.3. Veri Toplama Araçları ve Teknikleri

Araştırmada kullanılan veri toplama araçları GPS, Van Veen Grap, Kajak Sediment Örnekleyici aletleridir. Çalışmanın veri setini çökel örneklerinden elde edilen organik karbon, klorofil bozunma ürünleri, CaCO_3 ve metal konsantrasyonları oluşturmaktadır. Bahsi geçen veriler Microsoft Office Excel yazılımı ile ekolojik risk indeksi formüllerine göre işlenmiş ve Arc – Map 10.7 yazılımı ile mekânsal analizler gerçekleştirilerek elde edilen bulgular çalışmaya aktarılmıştır.

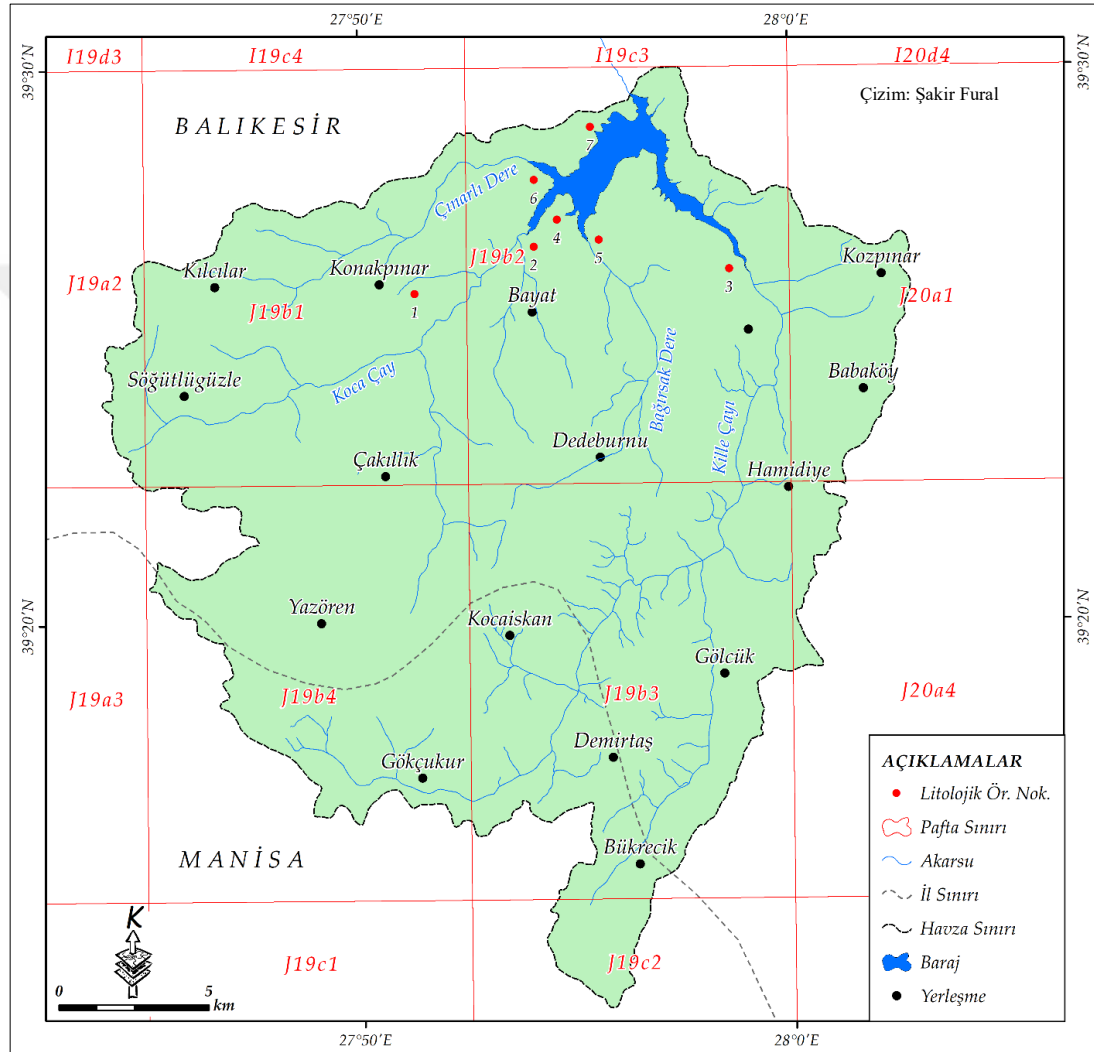
3.4. Verilerin Toplanma Süreci

Çalışmanın bu bölümünde araştırma kapsamında gerçekleştirilen ekolojik risk analizlerinde kullanılan verilerin toplanma süreci detaylı şekilde incelenmiştir.

3.4.1. Haritalama İşlemleri

Haritalama işlemleri öncesinde, İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası sınırlarını kapsayan 1:25.000 ölçekli *J19a2*, *J19b1*, *J19b2*, *J19a3*, *J19b4*, *J19b3*, *J19c2*, *J20a1*, *J20a4* topografya harita paftaları Arc–Map 10.7 yazılımının Georeferencing arayüzü yardımıyla koordinatlandırılmıştır (Şekil 3). Ardından; çalışmada kullanılan lokasyon, pafta anahtarı, örnekleme noktası yerleri, jeoloji, jeomorfoloji, yükselti basamakları, eğim, drenaj ağı, sıcaklık, yağış, arazi kullanımı ve yerleşme haritaları 1:25.000 ölçekli topografya harita paftaları referans alınarak Arc–Map 10.7 yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. İnceleme alanının jeoloji haritasının hazırlanmasında, Maden Tektik ve Arama Genel Müdürlüğü’nden temin edilen *J19* ve *J20* pafta numaralı 1:100.000 ölçekli jeoloji haritaları ve raporlarından yararlanılmıştır.

Haritalarda yer alan veriler, çalışmanın detaylarına uygun olarak sadeleştirilmiş ve ekran sayısallaştırması metodu ile yeniden hazırlanmıştır. Yükselti basamakları haritasının hazırlanmasında, inceleme alanının sayısal yükseklik modeli <http://www.landcover.org> sitesinden indirilerek havza sınırları kesilmiş, sayısal yükselti modeli 100 metrelik eş yükselti sınıflarına ayrılarak haritalama işlemi tamamlanmıştır.



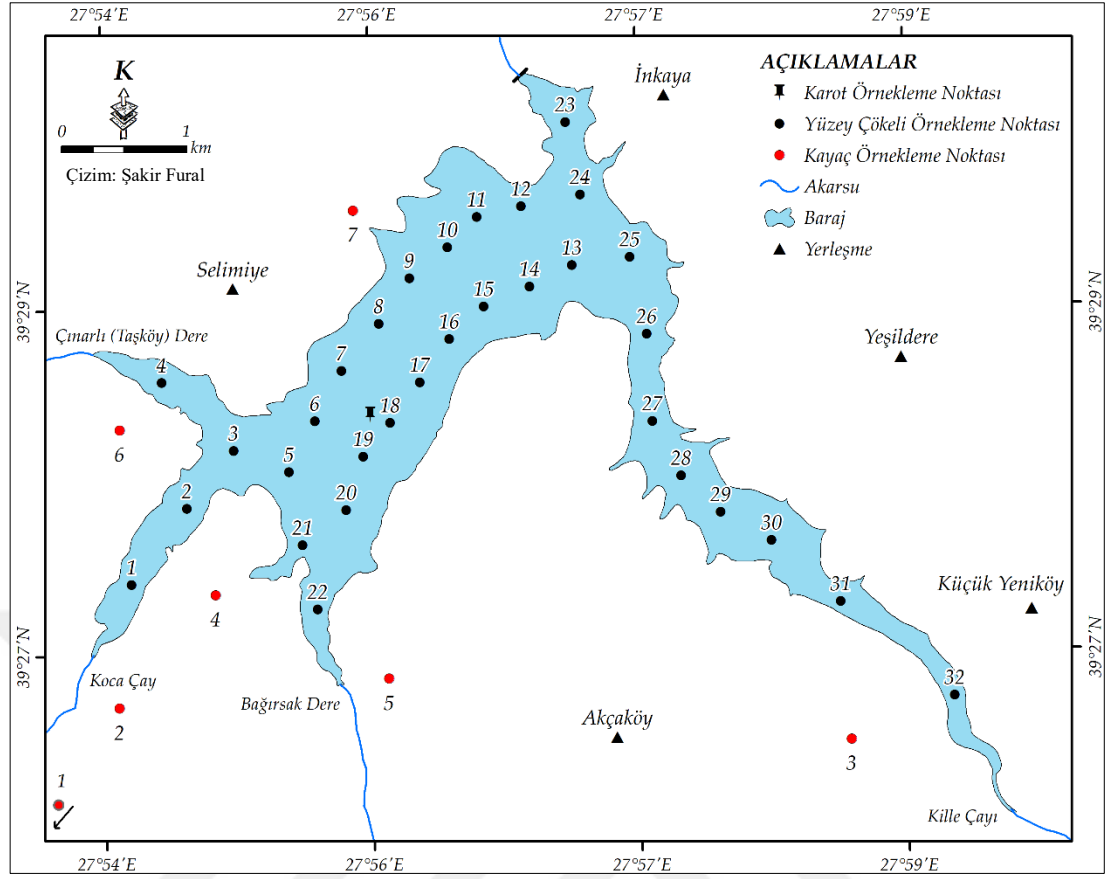
Şekil 3. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın 1:25.000 Ölçekli Topografya Harita Pafta İndeksi ve Litolojik Örnekleme Noktaları Haritası

Eğim haritasının hazırlanmasında, sayısal yükselti modeli kullanılmış, arazi şartları ve çalışma detayına uygun sınıflandırma ile eğim haritası hazırlanmıştır. Sahanın sıcaklık dağılışı haritasının oluşturulmasında Balıkesir Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan veriler kullanılmış, referans olarak alınan noktalardan Kriking Enterpolasyon yöntemi ile sıcaklık haritası hazırlanmıştır. Yağış haritasının hazırlanmasında sayısal yükselti modeli, Balıkesir Meteoroloji İstasyonu verileri

kullanılmış ve Schrieber Formülü yardımıyla yağış dağılışı haritası oluşturulmuştur. Drenaj yoğunluğu haritasının hazırlanmasında havzanın drenaj ağı haritası referans alınarak, Arc-Map 10.7 yazılımı Spatial Analyst arayüzü kullanılarak haritalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Arazi kullanım haritalarının hazırlanmasında, Corine uydusuna ait poligonal veri setleri kullanılmıştır. Bu kapsamda, 1990 ve 2018 yıllarına ait Corine verileri temin edilerek havza sınırları kesilmiş ve arazi kullanım haritaları hazırlanmıştır.

3.4.2.Örnekleme Noktalarının Belirlenmesi

İkizcetepeler Baraj Gölü tabanındaki örnekleme noktaları, Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımı olan Arc-Map 10.7'nin Kriking Enterpolasyon arayüzünün sürekli yüzey oluşturabilme kapasitesine göre belirlenmiştir. Bu kapsamda 7.9 km^2 alan kaplayan baraj gölü 0.25 km^2 'lik eşit parçalara bölünmüştür (Şekil 4). Baraj gölü tabanına ait ekolojik risk haritalarının geçerli ve güvenilir veriler ile oluşturulması amacıyla 0.25 km^2 'lik gridlere bölünen baraj yüzeyinden 32 adet grid elde edilmiş ve her gridin ortası örnekleme noktası olarak seçilmiştir (Çizelge 1). Arazi çalışması sırasında 1. ve 32. örnekleme noktaları dışında kalan tüm noktalardan çökel örneği alınmıştır. Ancak 1. ve 32. örnekleme noktalarından barajın su kotunun mevsimsel nedenlere bağlı olarak düşmesi nedeniyle kara haline geçmiş olması ve çalışma kapsamındaki analizlerin bir bölümü için yaş çökel örneği gerektiği için örnek alınamamıştır. Ayrıca 24. örnekleme noktasının altında barajın yapımı ile yer değiştiren Selimiye kırsal mahallesinin olması nedeniyle örnek alımı planlanan koordinatta gerçekleştirilemeyip aynı grid içerisinde başka noktadan gerçekleştirilmiştir. Baraj gölü tabanının haritalanması sırasında örnek alınamayan 1. ve 32. örnekleme noktalarına komşu istasyonların değerleri referans alınarak Kriking Enterpolasyon metodu ile genelleme yapılmıştır. Ekolojik risk analizlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılacak olan litolojik ardaalan değerlerin tespit edilmesi için havza içerisinde 7 farklı noktadan kayaç örneği alınmıştır. Kayaç örneği alınan noktalar Şekil 3 ve 4'te, koordinatlar ise Çizelge 2'de yer almaktadır.



Şekil 4. İkizcetepeler Baraj Gölü Tabanındaki Örnekleme Noktalarının Konumu

Çizelge 1. İkizcetepeler Baraj Gölü'nde Çökel Alınan Örnekleme Noktalarının Koordinatları

Örnekleme Noktası	X	Y	Örnekleme Noktası	X	Y
1	577619	4367712	17	579955	4369313
2	578081	4368301	18	579725	4368990
3	578459	4368779	19	579502	4368723
4	577895	4369288	20	579372	4368283
5	578912	4368587	21	579005	4368004
6	579111	4369003	22	579130	4367489
7	579322	4369406	23	581115	4371411
8	579626	4369791	24	581252	4370809
9	579874	4370145	25	581637	4370343
10	580185	4370405	26	581792	4369704
11	580408	4370653	27	581829	4369003
12	580762	4370734	28	582052	4368568
13	581169	4370258	29	582375	4368270
14	580461	4369926	30	582779	4368035
15	580461	4369934	31	583343	4367563
16	580182	4369655	32	584249	4366806

Not: Koordinatlar UTM 35. zona göre belirlenmiştir.

Çizelge 2. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzasında Kayaç Örneklemeye Noktaları

Örneklemeye N.	Kayaç Tipi	Dönem *	X	Y
1	Kireçtaşı, Kilitaşı	Orta Miyosen	572586	4365697
2	Andezit	Orta Miyosen	577993	4367840
3	Aglomera	Orta Miyosen	583509	4366528
4	Bazalt	Orta Miyosen	578887	4367150
5	Andezit	Orta Miyosen	579877	4366688
6	Aglomera	Orta Miyosen	578400	4369251
7	Andezit	Orta Miyosen	580387	4371730

**Dönemler Maden Tektik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 1:100.000 ölçekli J19 ve J20 jeoloji haritası paftaları ve raporlardan aktarılmıştır. Koordinatlar UTM 35. zona göre belirlenmiştir.*

3.4.3. Yüzey Çökeli Örnekleri ve Karotun Alınması

İkizcetepeler Baraj Gölü'nde daha önceden belirlenen 32 adet örneklemeye noktasından yüzey çökeli ve karot örneklerinin alınması için 07.09.2018 tarihinde arazi çalışması düzenlenmiştir. Araştırma kapsamında planlanan analizlerin yapılması için baraj tabanında 0 - 5 cm derinlikten yüzey çökeli örnekleri ISO 5667-12 Dip Sedimanlarından Numune Alma Kılavuzu standartlarına uygun şekilde Van Venn Grap kullanılarak alınmıştır (Şekil 6).



Şekil 5. Kajak Sediment Örnekleyici İle Karot Alınması



Şekil 6. Karotun Dilimlenmesi ve Yüzey Çökeli Almak İçin Van Veen Grab'ın Suya Bırakılması



Şekil 7. Yüzey Çökelinin Grab'ten Çıkarılması ve Yaş Halinin Görüntüsü

Karot örneği alınacak olan örnekleme noktasından olabildiğince eski tarihli çökel örneklerinin alınabilmesi için siltasyon hızının düşük olduğu noktaların belirlenmesi gerekmiştir. Bu nedenle, karot örneği alınacak örnekleme noktası önceden belirlenmemiş, arazi çalışması sırasında baraj tabanının topografik yapısının uygunluğu değerlendirilerek arazi çalışması sırasında karar verilmiş ve 18.

örnekleme noktasından karot alınmıştır (Şekil 6). Çeşitli derinliklerden alınan yüzey çökeli ve karot örnekleri, uygun sıcaklıkta ($+4^{\circ}\text{C}$) muhafaza edilerek, laboratuvar analizleri yapılmak üzere Ardahan Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Sedimentoloji ve Hidrobiyoloji Laboratuvarı'na gönderilmiştir.

3.5. Laboratuvar Analizleri

Çalışmanın bu bölümünde Ardahan Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Sedimentoloji ve Hidrobiyoloji Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen analizler detaylı şekilde incelenmiştir.

3.5.1. Organik Karbon Analizi

Organik maddeler, metallerin taşınma süreçlerinde aktif rol almaktadır. Bu nedenle, metallerin kaynak tanımlamalarının doğru yapılması için organik karbon analizlerinin yapılması oldukça önemlidir (Zhang, vd., 2016). Araştırma kapsamında, organik karbon konsantrasyonunun baraj gölü tabanındaki mekânsal ve dikey dağılışının tespit edilmesi için Walkley Black Titrasyon yöntemi kullanılarak, organik karbon analizi gerçekleştirilmiştir (Walkley ve Black, 1934). Organik karbon analizi için, erlenlere yerleştirilen yaş çökel örnekleri 60°C sıcaklıkta 24 saat etüvde kurutulmuştur (Şekil 8 ve 9). Kurutulan çökel örnekleri porselen havan ile dövülerek toz haline getirilmiştir (Şekil 10). Çökel örnekleri analitik hassas terazide $0.2 - 0.5\text{ gr}$ arasında tartılarak önceden numaralandırılmış olan 500 ml'lik erlenlere yerleştirilmiş ve ağırlıklar not alınmıştır. Bu işlemlerin ardından analizlerde kullanılacak kimyasal maddelerin hazırlanması aşamasına geçilmiştir.



Şekil 8. Örneklerin Etüve Yerleştirilmesi ve 24 Saat 60°C 'de Kurutma İşlemi



Şekil 9. Örneklerin 24 Saat Kurutulduktan Sonraki Durumu



Şekil 10. Örneklerin Porselen Havanda Dövülerek Toz Haline Getirilmesi



Şekil 11. Saf $K_2Cr_2O_7$ ile Saf $(NH_4)_2 Fe (SO_4)_2 6H_2O$ 'nun Saf Su İle Distile Edilmesi

Kimyasal maddelerin hazırlanması sırasında, 1 litrelik balon joje içerisine dökülen 49.4 gr $K_2Cr_2O_7$ (potasyum dikromat) distile saf suyla çözülerek, çözelti 1 litreye tamamlanmıştır. Ardından, 196.1 gr $(NH_4)_2 Fe (SO_4)_2 6H_2O$ (demir amonyum sülfat) 1 litrelik balon jojeye dökülmüş ve 20 ml derişik H_2SO_4 (sülfürik asit) içeren çözelti distile saf suda çözülerek 1 litreye tamamlanmıştır (Şekil 11). Böylece, analizlerde kullanılacak olan potasyum dikromat ve demir amonyum sülfat çözeltileri hazırlanmıştır. %85 saflıkta H_3PO_4 (ortofosforik asit) çözeltisinin hazırlanması, analitik hassas terazide darası alınan kaplara 0.2 gr NaF (sodyum florür) eklenerek tartılması ile analize hazırlık evresi tamamlanmıştır.

Ardından, çökel yerleştirilen erlenlere otomatik pipet ile 10 ml $K_2Cr_2O_7$ (potasyum dikromat) eklenmiş ve çözelti 1 dk boyunca karıştırılmıştır (Şekil 12 ve 13).Yapılan işlemler sırasında kullanılan kimyasallar ve çökel tartımı vb. işlemlerde oluşabilecek hataların tespit edilebilmesi için 1 adet kör örnek (blank) hazırlanmıştır. Blank örneği içerisine çökel koyulmadan analiz aşamaları aynı şekilde uygulanmıştır. Daha sonra, çeker ocağa yerleştirilen erlenlere 20 ml H_2SO_4 (sülfürik asit) eklenmiş ve 1 dk boyunca karıştırılmış, bütün örnekler 30 dk boyunca çeker ocakta bekletilmiştir (Şekil 14). Çeker ocaktan çıkartılan örnekler distile saf su ile 200 ml düzeyine seyreltilmiştir (Şekil 16). Ardından, karışıma 10 ml %85 saflıkta H_3PO_4 , ve 0.2 gram NaF (sodyum florür) ile 15 damla difenilamin indikatörü ilave edilmiştir. Titrasyon aşamasına hazır hale gelen çözelti erlen ile birlikte büret düzeneğine yerleştirilmiştir.



Şekil 12. Erlenlere Otomatik Pipetle Potasyum Dikromat Eklenmesi



Şekil 13. Çökel ve $K_2Cr_2O_7$ 'nin Karıştırılmış Hali



Şekil 14. Erlenler İçerisindeki Çökellerin üzerine Çeker Ocakta H_2SO_4 Eklenmesi

Büret içerisine $(NH_4)_2 Fe (SO_4)_2 6H_2O$ (demir amonyum sülfat) koyularak (Şekil 15) büret vanası açılmış ve erlenle bulunan siyah renk çözelti brillant yeşili rengine dönene kadar, demir amonyum sülfat eklenerek sürekli karıştırılmıştır (Şekil 17). Erlenin içerisindeki siyah çözelti brillant yeşili rengine döndüğü an (*geri titre etme*) büretten akıtılan demir amonyum sülfat miktarı örnekleme noktası numarasına göre not edilmiştir (Şekil 18).



Şekil 15. Bürete $(\text{NH}_4)_2 \text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (demir amonyum sülfat) Çözeltisinin Doldurulması



Şekil 16. Erlen İçerisindeki Çözeltinin Saf Su ile 200 ml Seviyesine Seyreltilmesi

Analiz sonucunda elde edilen değerler sarfiyat denklemindeki yerine yerleştirilmiş, organik karbon konsantrasyonu Microsoft Office Excel yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır (Gaudette vd., 1974).

Organik karbon analizi formülü şu şekildedir:

$$\% \text{ Organik Karbon} = 10 (1 - T/S) (1.0 \text{ N } (0003) (100/W)$$

1

T: Sarfiyat

S: Blank için sarfiyat

T/S faktörü demir çözeltisinin normalitesinin etkisini yok edecektir.



Şekil 17.Titrasyon İşleminin Yapılması



Şekil 18.Titrasyon İşlemi Sonrasında Brillant Yeşil Renge Dönen Çözelti

3.5.2. Klorofil Bozunma Ürünleri Analizi

Klorofil bozunma ürünleri, ekolojik risk ve çevre kirliliği araştırmalarında sıkça kullanılan bir indikatördür. Bu nedenle, ekolojik risk analizi çalışmalarında klorofil bozunma ürünleri analizlerinin yapılması önemlidir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizlerde spektrofotometrik yöntem tercih edilmiştir. Klorofil bozunma ürünlerinin spektrofotometrik yöntemler ile ölçülmesi çalışmaları, 1940'lı yıllarda başlamış ve yapılan çalışmalarda petrol türevi bir çözücü içerisinde çözülmüş pigmentlerin maksimum dalga boylarındaki absorpsiyon katsayılarından faydalanılmıştır (Laval ve Martin 1985).

Klorofil bozunma ürünleri analizleri için yeni metotlar geliştirilmiştir. Ancak spektrofotometrik yöntemler 2020 yılında dahi geçerliliğini korumaktadır (Ergün, 2003). Çalışma kapsamında gerçekleştirilen klorofil bozunma ürünleri analizleri için kullanılacak olan yaş çökel örnekleri, 2 gr'dan az olacak şekilde hassas teraziyle tartılarak önceden darası alınıp not edilen ve istasyon numaraları verilmiş pet bardaklara konmuştur. Ardından, pet bardakların içerisindeki yaş çökel örneklerinin üzerine, otomatik pipet yardımıyla 25'er ml %90 saflıkla aseton eklenerek, bardakların üzeri alüminyum folye ile hava almayacak şekilde kapatılmıştır. Gerekli kimyasal tepkimelerin gerçekleşmesi için, 24 saat boyunca karanlık bir ortamda bekletilen örnekler, belirtilen sürenin sonunda açılarak bardakların üzerindeki yeşil renge dönmüş olan aseton çözeltisi, otomatik pipet ile 10'ar ml çekilerek önceden örnekleme noktası numaraları verilmiş olan tüplere yerleştirilmiştir (Şekil 21).



Şekil 19. Pet Bardaktaki Çökel Üzerine Otomatik Pipet İle Aseton Eklenmesi

Ardından, otomatik pipet yardımıyla 3.5 ml %90 saflıkta aseton spektrofotometreye okutularak, sıfırlama işlemi yapılmıştır. Spektrofotometre cihazının sıfırlama işleminin tamamlanmasıyla, tüplerden otomatik pipet ile 3.5 ml çekilen örnekler spektrofotometre cihazına yerleştirilerek 667 nm ve 750 nm (nanometre) dalga boylarında okutulmuştur (Şekil 22 ve 23). Klorofil bozunma ürünleri aşağıdaki formülle tespit edilmiştir (Lorenzen, 1971).

$$\text{Klorofil Bozunma Ürünleri} = 18.7. (ABS_{667} - ABS_{750}). V / G. l$$

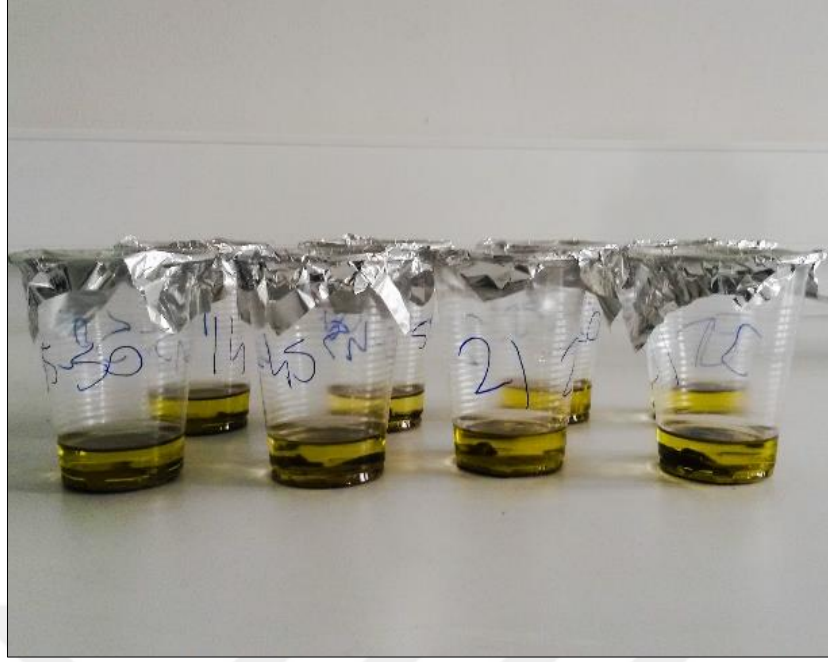
2

ABS: Örneğin spektrofotometrede okunan absorbanısı

V: Aseton Hacmi

G: Çökel Ağırlığı

l: Işık yolu



Şekil 20. Aseton Çözeltilisinin Üzerinin Kapatılarak Beklemeye Alınması



Şekil 21. Aseton Çözeltilisinin Tüplerden Otomatik Pipetle Çekilmesi



Şekil 22. Aseton Çözeltilisinin Spektrofotometre Küvetleri İçerisine Yerleştirilmesi



Şekil 23. Spektrofotometre Küvetlerine Doldurulan Çözeltilinin 667 ve 750 nm’de Okunması

3.5.3. CaCO₃ Analizleri

Metaller, başta CaCO₃, klorofil bozunma ürünleri ve organik karbon olmak üzere, diğer partikül yapılara bağlanıp akarsular tarafından taşınarak göl çökellerinde depolanmaktadır (Liu, Sjen, vd., 2010). Bu nedenle, ekolojik risk araştırmalarında metal kaynaklarının ve taşınma süreçlerinin doğru tanımlanması için CaCO₃ analizlerinin yapılması gerekmektedir. CaCO₃ analizleri Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi Laboratuvarında Schibler Kalsimetresi ile yapılmıştır.

3.5.4. Metal Analizleri

Metal analizleri için porselen havanda dövülerek toz haline getirilen çökel örnekleri BUREAU VERITAS (Kanada) laboratuvarına gönderilerek ICP-MS cihazıyla gerekli analizler yapılmıştır. Analizlerin kalite kontrolü, standart referans element ve duplike ölçümleri kör örnek okuma yoluyla yapılmıştır (Çizelge 3). Metal analizlerinden elde edilen verilerle ekolojik risk indeksleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3. ICP-MS Cihazında Yapılan Ölçümlerin Standart Referans Örnek Kullanılarak Yapılan Kalite Kontrol Sonuçları

Element	Gözlenen Değer	Beklenen Değer	Ölçüm Limitleri
As (ppm)	43.2	42.8	0.1
Al (%)	1.9	1.12	0.01
Cd (ppm)	2.48	2.37	0.01
Cr (ppm)	57.2	61.5	0.5
Cu (ppm)	141.66	149	0.01
Fe (%)	3.9	3.1	0.01
Hg (ppb)	266	260	5
Mn (ppm)	1017	1055	1
Ni (ppm)	80.6	77.7	0.1
Pb (ppm)	153.44	138	0.01
Zn (ppm)	345	345	0.1

3.6. Ekolojik Risk İndekslerinin Hesaplanması

Çalışmanın bu bölümünde, laboratuvar analizlerinden elde edilen veriler ile hesaplanan ekolojik risk indeksleri incelenmiştir.

3.6.1. Zenginleşme Faktörü

Zenginleşme faktörü, metallerin kaynaklarının belirlenmesi ve doğal-antropojenik kökeninin araştırılması için kullanılan bir ekolojik risk indeksidir. Metallerin kaynağının belirlenmesi için, doğada yaygın olarak bulunan ve konservatif olan *Fe* ya da *Al*, referans metal olarak kullanılarak, tane boyu normalizasyonu gerçekleştirilmektedir. Böylece metallerin tane boyundan kaynaklanan hatalar giderilmektedir (Zhang, vd, 2007). Bu çalışmada *Al* metali kullanılarak normalizasyon gerçekleştirilmiştir.

Zenginleşme faktörü şu formül ile hesaplanmaktadır:

$$EF = (\text{Ölçülen Metal}/Al) / (\text{Metal}/Al \text{ Ardalın Değeri})$$

3

Araştırma kapsamında elde edilen zenginleşme faktörü bulguları şu şekilde değerlendirilmiştir: $EF < 2$ zenginleşme yok / minimal düzeyde zenginleşme mevcut, $EF = 2 - 5$ orta düzeyde zenginleşme, $EF = 5 - 20$ önemli seviyede zenginleşme, $EF = 20 - 40$ çok yüksek düzeyde zenginleşme, $EF > 40$ aşırı derecede yüksek düzeyde zenginleşmeyi ifade etmektedir (Sutherland, 2000).

3.6.2. Kontaminasyon Faktörü ve Modifiye Kontaminasyon Faktörü

Metallerin doğal ve antropojenik kaynaklarının tespit edilmesi için kullanılan bir diğer ekolojik risk indeksi kontaminasyon faktörüdür (Hakanson, 1980). Kontaminasyon faktörü formülü şu şekildedir:

$$Cf_i = C_i / C_{ni} \quad 4$$

C_i : Çökeltide ölçülen metal konsantrasyonu

C_{ni} : Metale ait ardalın değeri

Kontaminasyon faktörü; $CF < 1$ düşük derecede kontaminasyon, $1 \leq CF < 3$ orta derecede kontaminasyon, $3 \leq CF < 6$ yüksek derecede kontaminasyon, $CF > 6$ çok yüksek derecede kontaminasyon şeklinde değerlendirilmektedir (Hakanson, 1980).

Kontaminasyon faktörü hesaplamasında metallerin tane boyundan gelen hataların giderilmesi için Al ya da Fe ile normalizasyon yapılmamaktadır. Bu nedenle kontaminasyon faktörü verilerinden entegre bir değer elde etmek için, (Abraham ve Parker, 2008) tarafından aşağıdaki formüle göre hesaplanan Modifiye Kontaminasyon Derecesi (mCd) geliştirilmiştir.

$$mCd = \frac{\sum_{i=1}^n CF}{n} \quad 5$$

Bu formülde, CF kontaminasyon faktörü; n ise analizde kullanılan metal sayısıdır. mCd indeksinden elde edilen veriler şu şekilde değerlendirilmiştir: $mCd < 1.5$ çok düşük, $1.5 mCd < 2$ düşük, $2 mCd < 4$ orta, $4 mCd < 8$ yüksek, $8 mCd < 16$ çok yüksek, $16 mCd < 32$ aşırı derece yüksek ve $mCd < 32$ ultra yüksek (Abraham ve Parker, 2008).

3.6.3. Jeoakümülayon İndeksi

Jeoakümülayon indeksi, metallerin doğal/antropojenik kaynaklarının tespit edilmesinde kullanılan bir diğerk ekolojik risk analizi yöntemidir (Müller, 1996). İndeks şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$I_{geo} = \log 2 C_n 1.5 \times B_n \quad 6$$

C_n : çökelerde ölçülen metal miktarını

B_n : çökelerde ölçülen metalin ardalan değerini

1.5 ise sabit katsayıyı temsil etmektedir.

Jeoakümülayon indeksinden elde edilen veriler; $I_{geo} 0 < \text{kirletilmemiş}$, $I_{geo} 1 < \text{az kirletilmiş}$, $I_{geo} 3 < \text{orta derecede kirletilmiş}$, $I_{geo} 4 < \text{kuvvetli derecede kirletilmiş}$, $I_{geo} 5 < \text{ve } 5 > \text{çok kuvvetli derecede kirletilmiş}$ şeklinde değerlendirilmiştir (Müller, 1969).

3.6.4. Kirlilik Yükk İndeksi

Göl çökellerinin metallere bağlı kalitesini belirlemek amacıyla, kirlilik yükk indeksi (PLI) geliştirilmiştir (Tomlinson, vd., 1980). Kirlilik yükk indeksi şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n)^{1/n} \quad 7$$

Bu formülden, CF kontaminasyon faktörünü, n ise kullanılan element sayısını ifade etmektedir. *Kirlilik yükk indeksi verileri; 0 temiz, kirlilik riskli yok olarak kabul edilmiş ancak 1 değerinin aşılması durumunda gelecekte kirlilik riski ortaya çıkacağı şeklinde değerlendirilmiştir* (Tomlinson, vd., 1980).

3.6.5. Toksik Risk İndeksi

Toksik risk indeksi, metallerin toksik etkilerinin belirlenmesi için kullanılan ekolojik risk analizi yöntemlerinden birisidir (Zhang, vd., 2016). Toksik risk indeksi şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$TRI = \sum_{i=1}^n TRI_i \quad 8$$

Bu formülden; TRI tek bir metalin toksik risk indeksidir, i sediment numunesindeki metal konsantrasyonu, n ise analizde kullanılan metal sayısını göstermektedir. TRI ise analizde tespit edilen toplam toksik risk değerine karşılık gelmektedir.

TRI verileri şu şekilde değerlendirilmektedir: $TRI \leq 5$ toksik risk yok, $5 < TRI \leq 10$ düşük toksik risk, $10 < TRI \leq 15$ orta seviyede risk, $15 < TRI \leq 20$ önemli seviyede toksik risk, $TRI > 20$ (Zhang vd., 2016).

3.6.6. Modifiye Ekolojik Risk Faktörü İndeksi

Metallerin ekolojik risk seviyelerini belirlemek için, modifiye potansiyel ekolojik risk (*mPER*) indeksi kullanılmıştır. Bu kapsamda, her bir metal için ayrı ayrı (*mER*) ve bütünleşik modifiye ekolojik risk analizi (*mPER*) gerçekleştirilmiştir. Ekolojik risk ve potansiyel ekolojik risk hesaplamalarında kontaminasyon faktörü kullanılmaktadır (Hakanson, 1980). Ancak kontaminasyon faktörü hesaplamalarında *Al* ya da *Fe* ile jeokimyasal normalizasyon yapılmadığı için, tane boyundan gelen hatalar minimize edilmemektedir. Bu nedenle, ekolojik risk hesaplamalarında zenginleşme faktörünün kullanıldığı modifiye ekolojik risk indeksi (*mER*) geliştirilmiştir (Brady, vd., 2015). Bu çalışmada, Brady ve arkadaşları (2015) tarafından geliştirilen modifiye ekolojik risk ve modifiye potansiyel ekolojik risk indeksleri kullanılmıştır.

Modifiye ekolojik risk indeksi şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$mER = EF \times Tr^i \quad 9$$

Bu formülde EF zenginleşme faktörü, Tr^i ise metallerin toksik risk katsayısına karşılık gelmektedir. *mER* tespit edilen değere göre risk sınıflarına ayrılmıştır. Bu sınıflandırma şu şekildedir: $mER < 40$ düşük derecede potansiyel ekolojik risk, $40 \leq mER < 80$ orta derecede potansiyel ekolojik risk, $80 \leq mER < 160$ önemli derecede potansiyel ekolojik risk, $160 \leq mER < 320$ yüksek derecede potansiyel ekolojik risk, $mER \geq 320$ çok yüksek derecede potansiyel ekolojik risk (Hakanson, 1980).

3.6.7. Modifiye Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi

Ekolojik risk, her metal için ayrı ayrı hesaplanabilirken, bütünleşik olarak da hesaplanabilmektedir (Hakanson, 1980). Bütünleşik ekolojik risk hesaplaması ile sulak alan ekosistemlerindeki toplam ekolojik risk hesaplanmaktadır. Potansiyel ekolojik risk analizi Brady ve arkadaşları (2015) tarafından modifiye edilmiştir. Modifiye yöntem metallerin tane boyutundan gelen hataların giderilmesi için *Al* ya

da Fe ile jeokimyasal normalizasyon sağladığı için bu çalışmada tercih edilmiştir. Modifiye potansiyel ekolojik risk indeksi şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$mPER = \sum ER \quad 10$$

Modifiye potansiyel ekolojik risk şu şekilde sınıflandırılmıştır; *mPER <150 düşük ekolojik risk, 150 ≤ mPER <300 orta düzeyli ekolojik risk, 300 ≤ mPER <600 önemli ekolojik risk, mPER ≥ 600 çok yüksek ekolojik risk (Hakanson, 1980).*

3.7. Mekânsal Analizler

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen laboratuvar analizleri ve ekolojik risk indeksleri bulgularının mekânsal analizlerinin gerçekleştirilmesi için CBS yazılımlarından faydalanılmıştır. Bu kapsamda Arc-Map 10.7 arayüzü kullanılmış olup; çalışma kapsamında elde edilen organik karbon, klorofil bozunma ürünleri, CaCO₃ ve metal konsantrasyonu ile ekolojik risk analizi bulguları Kriking Enterpolasyon metoduyla mekânsal analiz haritalarına dönüştürülmüştür. Böylece metallerin ve ekolojik risklerin baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı belirlenmiş, kaynak tanımlaması konusunda önemli kolaylıklar sağlanmıştır.

3.8. Çok Değişkenli İstatiksel Analizler ve Arazi Çalışmaları

Metallerin muhtemel kaynaklarını ve taşınma süreçlerini belirlemek için Pearson korelasyon analizi, faktör analizi ve cluster analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen bulgular mekânsal analiz verileri ile karşılaştırılarak metallerin kaynak tanımlaması gerçekleştirilmiştir. Kaynak tanımlaması yapılan noktalara arazi çalışmaları gerçekleştirilerek metallerin ve ekolojik risklerin kaynağı araştırılmıştır. Arazi çalışmalarında tespit edilen muhtemel kaynaklar fotoğraflanarak kayıt altına alınmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen kaynak tanımlama işlemlerinde mekânsal analiz verileri, istatiksel analizler, ekolojik risk indeksleri ve arazi çalışması verilerinin birlikte kullanılmasıyla elde edilen bulguların geçerlilik ve güvenilirliğinin artırılması amaçlanmıştır.

4. EKOLOJİK RİSKİ ETKİLEYEN COĞRAFİ FAKTÖRLER

Çalışmanın bu bölümünde, İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nda metal içerikli ekolojik risklerin ortaya çıkmasına neden olabilecek ve ekolojik riskin seviyesini belirleyebilecek olan coğrafi faktörler incelenmiştir.

4.1. Fiziki Coğrafya Özellikleri

Ekolojik riske neden olabilecek faktörler, doğal ve antropojenik kaynaklı olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nda ekolojik risk faktörlerini etkileyen Fiziki Coğrafya özellikleri incelenmiştir.

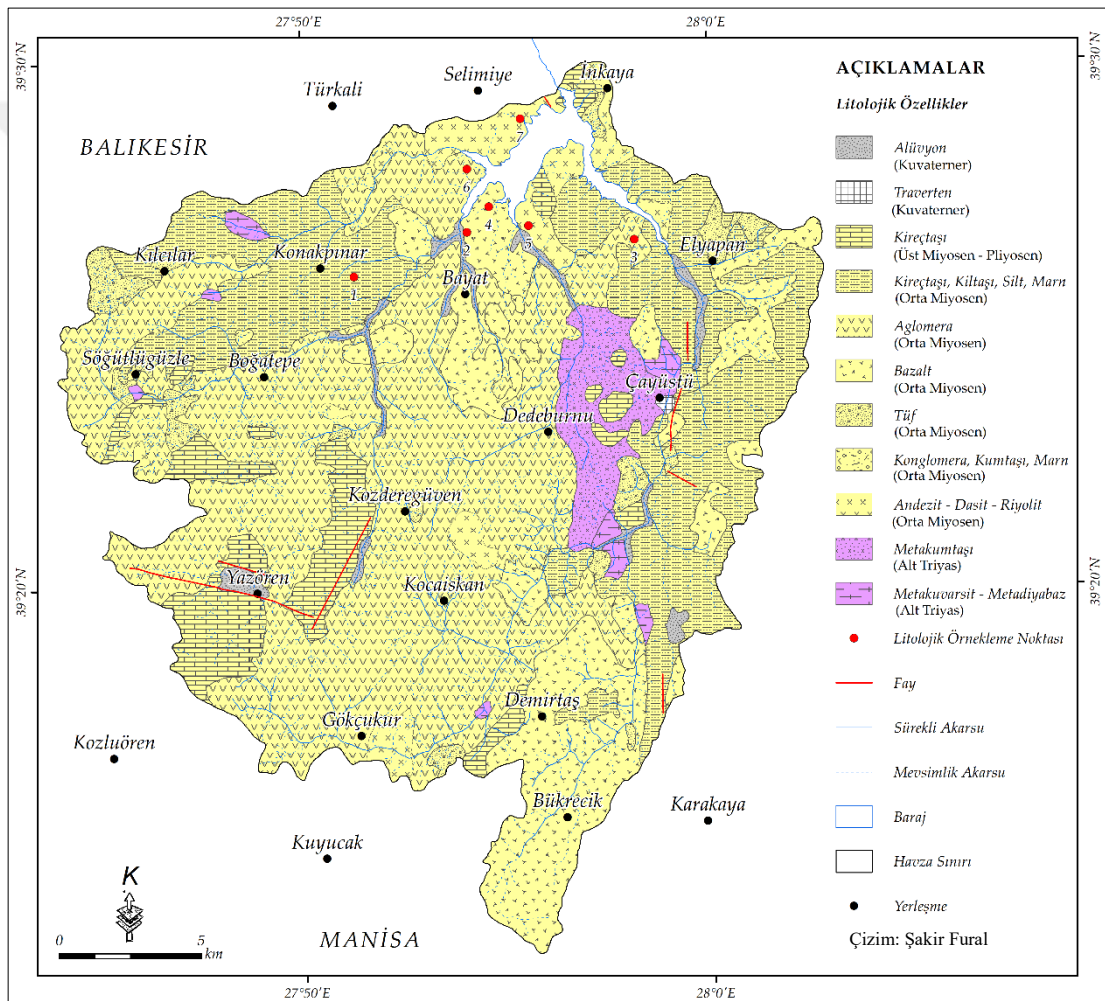
4.1.1. Litoloji – Ana Materyal

Litolojik özellikler metallerin en önemli doğal kaynağıdır. Metaller, yerkürenin yapısında doğal ortam koşullarına bağlı olarak belirli miktarda bulunmaktadır. Metallerin doğal ortam koşullarındaki miktarı kayaç yapısı, kayaç türü ve diğer litolojik özelliklerin denetimi altındadır (Atabey, 2009). Yerkürenin bünyesindeki metal miktarı çoğu zaman ekolojik risk düzeyine ulaşmamaktadır. Ancak doğal metal miktarının ekolojik risk eşiğine yaklaştığı sahalarda ortaya çıkabilecek en küçük düzeyde antropojenik etki ekolojik risk ile sonuçlanabilir. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nda Paleozoyik, Mesozoik, Neojen ve Kuvaterner dönemine ait kayaç toplulukları yer almaktadır (Kızılçaoğlu, 2002).

Havzada Paleozoyik dönemine ait kristalize kireçtaşı ve mermerler Pamukçu Ovası çevresinde yüzeilenmektedir (Akyürek ve Soysal, 1975). Havza sınırları içerisinde küçük adacıklar şeklinde yüzeilen metakuvarsit, metadiyabaz ve metavolkanik kayaçlar ile Orta – Üst Triyas yaşlı kireçtaşları Mesozoyik'e ait kayaç topluluklarını oluşturmaktadır (Şekil 24 ve 26). İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nda en geniş alanı Neojen'e ait andezit, dasit, riolit, tuf, bazalt ve aglomera

gibi volkanik kayalar ile kireçtaşı, silt, marn ve volkanik tüflerden oluşan gölssel birimler kaplamaktadır (Şekil 25).

Baraj gölü havzası içerisinde Yağcılar formasyonu olarak adlandırılan sahada Orta Miyosen'e ait konglomera, kumtaşı ve silttaşı gibi kayalar yer almaktadır (Ercan vd., 1984). Yuntdağ formasyonuna ait volkanik tüfler baraj gölü havzasının Orta Miyosen'e ait diğer önemli litolojik birimlerini oluşturmaktadır. Dededağ bazaltı, Kille Çayı yakınındaki travertenler, Yazören Polyesi tabanı ve İkizcetepeler Baraj Gölü çevresindeki alüvyonlar havzadaki Kuvaterner'e ait kayaları oluşturmaktadır (Akyürek ve Soysal, 1975).



Şekil 24. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Jeoloji ve Litolojik Örnekleme Noktaları Haritası

Baraj tabanından alınan çökel örneklerinde tespit edilen metallerin doğal ve antropojenik kaynaklarının ayırt edilmesinde havzanın çeşitli noktalarından alınan kayaç örneklerinde tespit edilen metal konsantrasyon değerleri ardalardan olarak kullanılmıştır. Havzadan alınan 7 adet kayaç örneğine ait metal konsantrasyonu

baraj yapılmadan önceki dönemden örneklerin alındığı 2019 yılına kadar yaşanan antropojenik etkinin ortaya çıkarılmasında önemli rol oynamıştır.



Şekil 25. Baraj Gölü Çevresindeki Volkanik Kayaçlardan Görüntüler

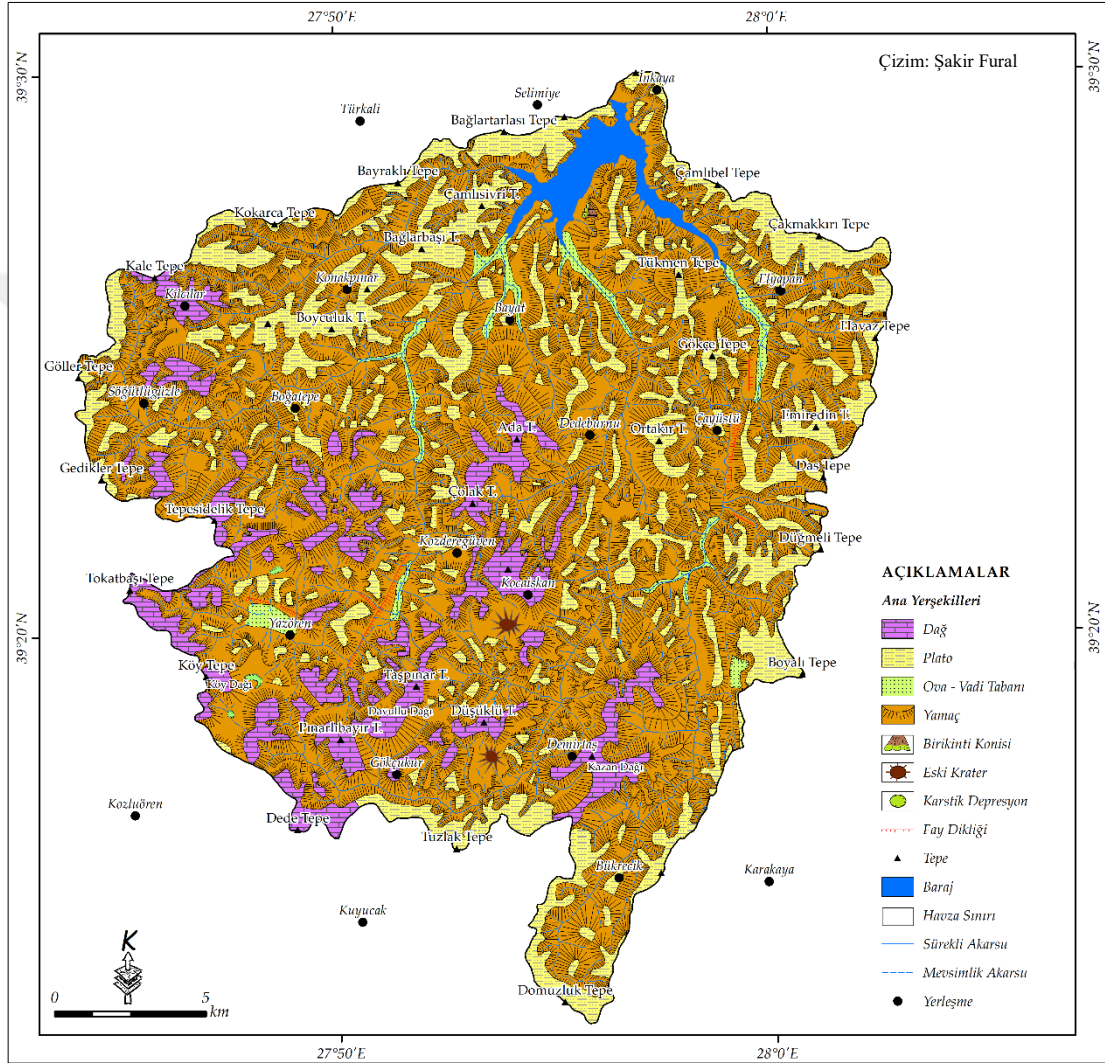


Şekil 26. Konakpınar Yakınlarındaki Kireçtaşı, Marn, Tüf Ardalanmasından Görüntüler

4.1.2. Jeomorfolojik Birimler

İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın ana jeomorfolojik birimlerini; platolar (%75.6), dağlık alanlar (%18.8), ova ve vadi tabanı düzlükleri (%5.8) oluşturmaktadır (Şekil 27). Mancılık Dağı (957m), Davullu Dağı (955m), Kazan Dağı (745m) havzanın belirgin yükselti kuşaklarıdır. Kocakır Tepe (901m), Karakaya Tepe (765m), Türkmendede Tepe (755m), Gürgen Tepe (730 m) havzanın diğer yüksek noktalarıdır (Şekil 28). Güney kesimi dağlık ve tepelik sahalar ile kaplı olan havzanın kuzeyine doğru düz ve dalgalı bir topografya yüzeyine sahip plato sahası bulunmaktadır. Havzanın güneydoğusunda Gölcük, güneybatısında Yazören, batısında Konakpınar, doğusunda Çayüstü ve kuzeyinde Pamukçu Platosu olmak üzere 5 farklı plato yüzeyi yer almaktadır (Kızılçaoğlu, 2002). İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın yüzölçümünün %5.8'lik kısmını oluşturan ova ve vadi tabanı düzlükleri güneyden kuzeye doğru; Yazören Polyesi, Güvem Dere vadi tabanı

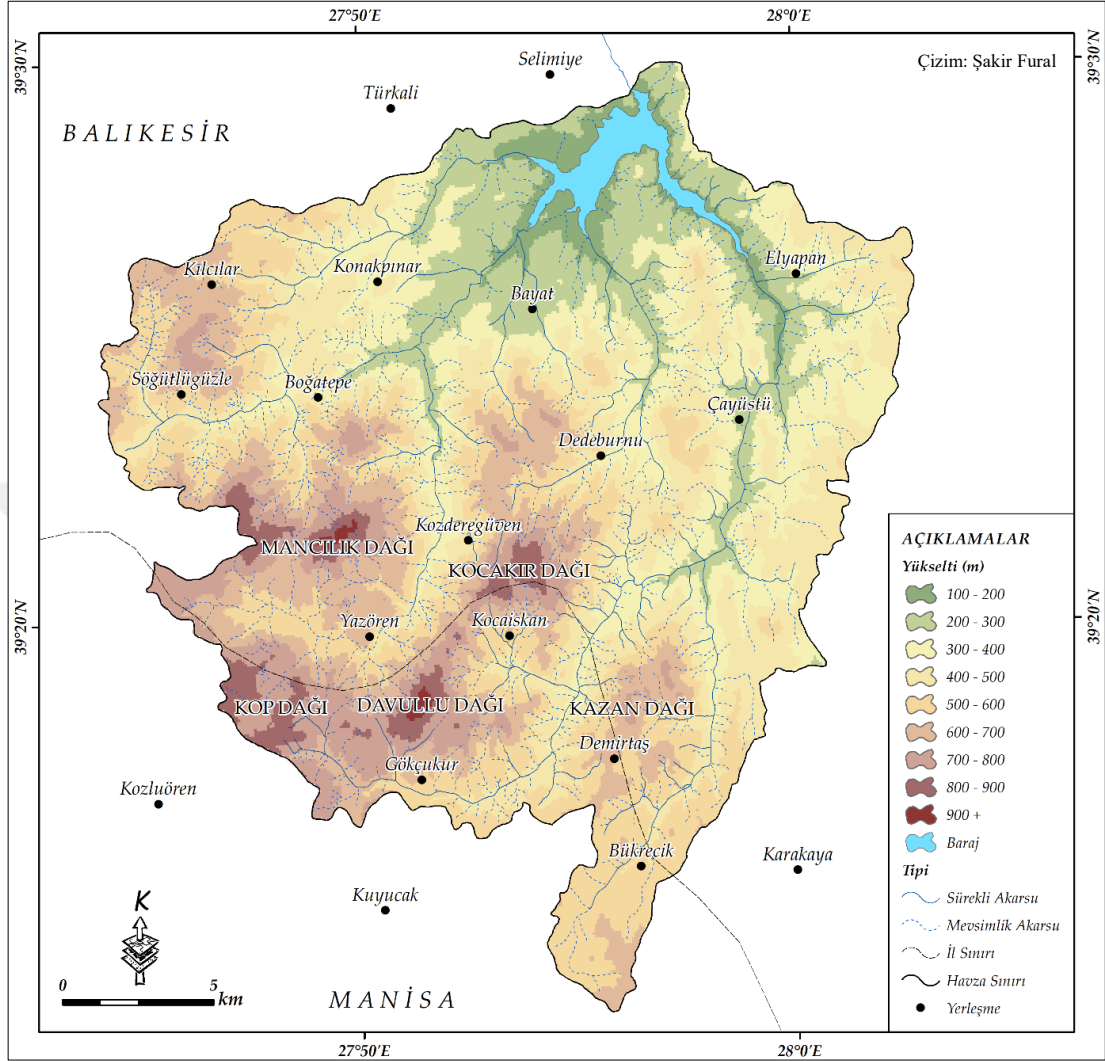
düzlüğü, Asa Dere vadi tabanı düzlüğü, Koca Dere vadi tabanı düzlüğü, Koz Dere vadi tabanı düzlüğü, Bağırsık Dere vadi tabanı düzlüğü, Kızıllar Dere vadi tabanı düzlüğü, Pamukçu Ovası, Gölcük Ovası ve Balıkesir Ovası'nın güneybatı kesimidir (Kızılcıaoğlu, 2002). Neojen'de yaşanan tektonik hareketler ve sahanın litolojik özelliklerine bağlı olarak, akarsular plato yüzeylerini dar ve derin vadiler şeklinde yarmış ve farklı eğim kuşaklarının oluşmasına neden olmuştur (Şekil 27 ve 29).



Şekil 27. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Jeomorfoloji Haritası
(Kızılcıaoğlu, 2002'den değiştirilerek)

Havzanın kuzeybatı ve güneydoğu sınırını belirleyen bölge ile İkizcetepeler Baraj Gölü çevresinde düz ve hafif eğimli sahalar yer almaktadır. Kille Çayı ana ve yan kolları üzerinde yer alan vadi tabanı düzlükleri, Yazören Polyesi ve bazı küçük karstik depresyonlar sahanın diğer düz ve hafif eğimli alanlarını oluşturmaktadır (Şekil 27). Ova ve vadi tabanlarından platoluk sahaya geçişte orta eğimli alanlar yer

alırken, havzanın orta kesiminde yükselen plato yüzeylerinde yer alan akarsu vadileri ile dağlık saha çok dik eğimli ve sarp arazileri oluşturmaktadır (Şekil 28 ve 29).

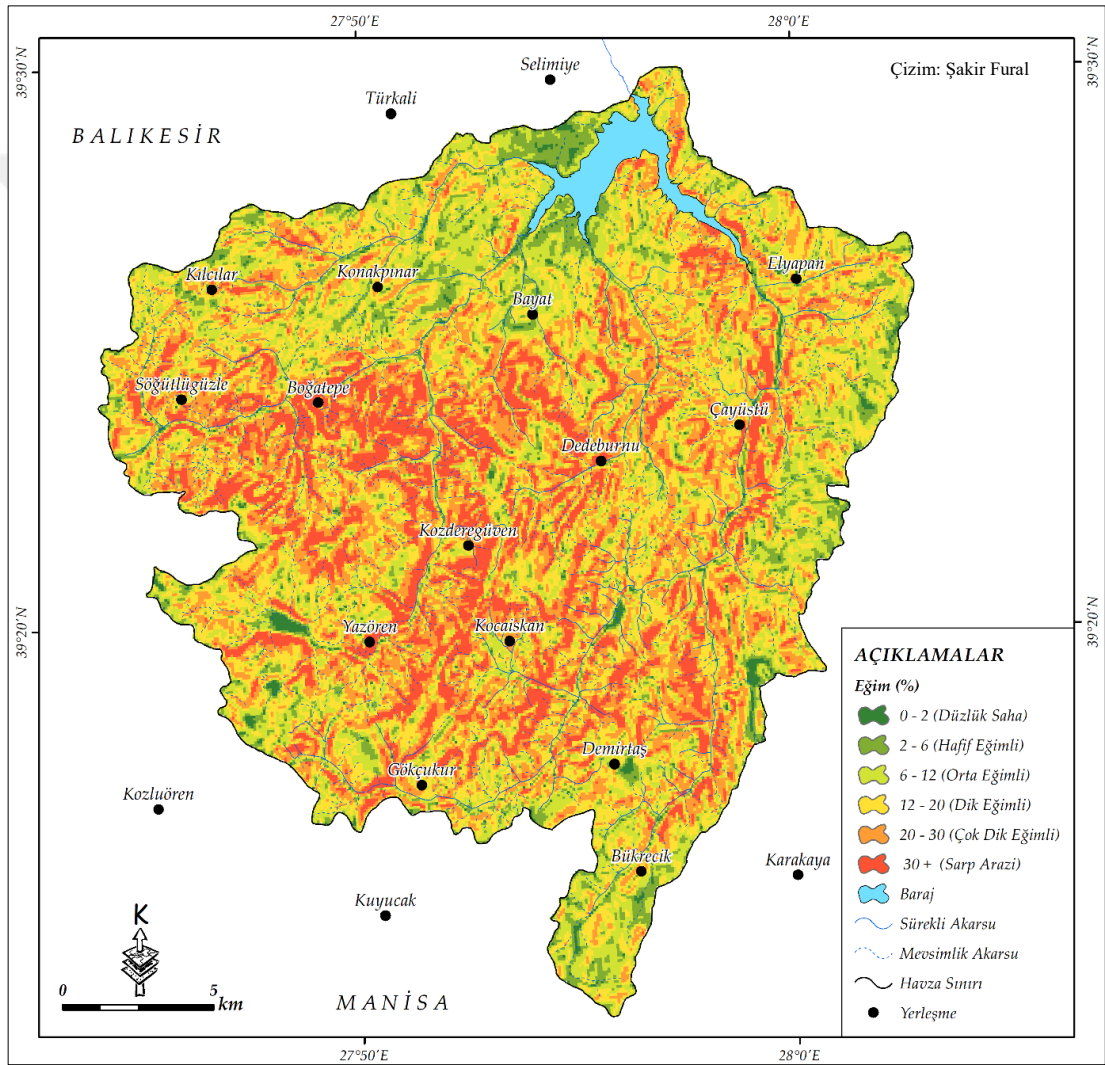


Şekil 28. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Yükselti Basamakları Haritası

Havzanın jeomorfolojik özellikleri ile sahanın arazi kullanımı arasında sıkı bir ilişki söz konusudur. Bu ilişkinin antropojenik etkilerin ortaya çıkması, sahanın doğal ortam özelliklerinin bozulması ve ekolojik riskin ortaya çıkmasına neden olabilecek düzeyde olduğu söylenebilir. Havzada 100–300 metre yükselti basamakları arasında kalan düz ve düze yakın alanlarda tarım yapılmaktadır (Şekil 28 ve 38). Ayrıca 300 – 500 metre yükselti basamakları arasında kalan hafif eğimli sahada bitki örtüsü tahrip edilerek tarım alanları açılmaktadır (Şekil 38 ve 45). Bu arazilerde kullanılan gübre ve kimyasal ilaçların rüzgâr, yeraltı suları ve akarsular tarafından İkizcetepeler Baraj Gölü'ne taşınma ihtimali vardır. Hafif eğimli yamaçlarda bitki örtüsü tahribatı yapılarak tarım alanı açılması sahada erozyonu

hızlandırabilecek önemli bir etkenlerdendir. Erozyonun hızlanması baraj gölünün siltasyon sonucu dolma süresinin kısalmasına, barajda daha az su tutulmasına ve dolayısı ile kirleticilerin daha etkin hale gelmesine neden olabilir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında; jeomorfolojik özellikler ekolojik risk faktörleri ile doğrudan ilişkili değildir. Ancak arazi kullanımı, hidrografik özellikler, iklimatik özellikler gibi ekolojik risk üzerinde doğrudan etkili olan faktörler jeomorfolojik süreçler ile şekillenmektedir. Bu nedenle, jeomorfolojik özellikler ekolojik risk faktörleri üzerinde dolaylı yünden etkilidir.



Şekil 29. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Eğim Haritası

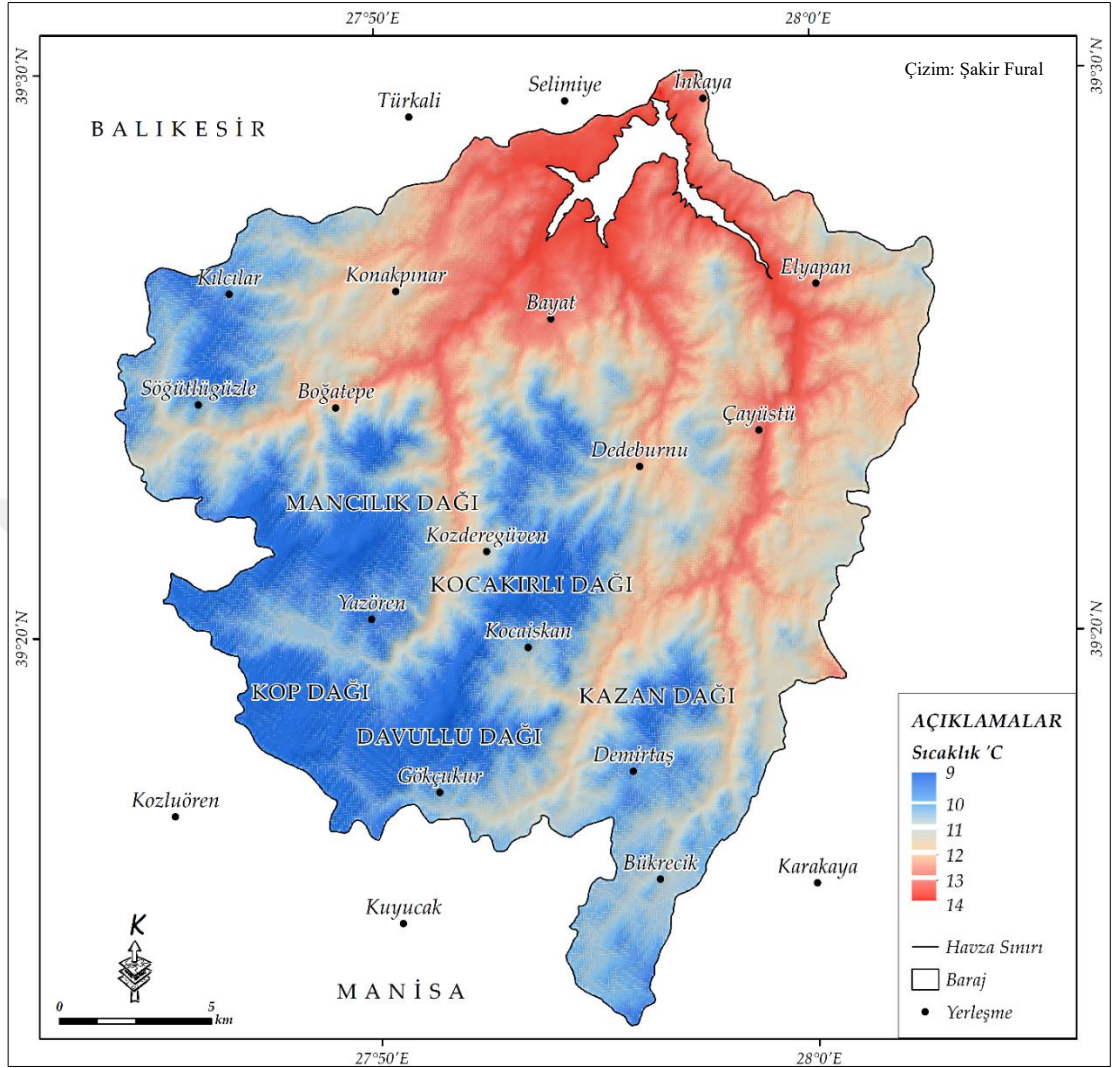
4.1.3. İklim

İklim, ekolojik risk üzerinde etkili olan bir diğer coğrafi özelliktir. Yağış ve sıcaklık değerlerinde ortaya çıkan değişiklikler, ekosistem üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Havza ölçeğinde bir değerlendirme yapmak gerekirse; yağışlarda gerçekleşebilecek muhtemel bir azalma, baraj gölünü besleyen akarsuların debilerini ve baraj gölünün su seviyesini etkileyecektir. Sıcaklıkta yaşanacak artışlarda ise akarsu ve baraj gölü yüzeyinden buharlaşma artacak, yağıştaki değişim kadar etkili olmasa da, baraj gölü su seviyesinde azalmalar meydana gelebilecektir. Baraj gölünde su seviyesinin azalması metal konsantrasyonunun ve dolayısı ile ekolojik risk seviyesinin artmasına neden olabilir. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası üzerinde yapılan iklim modelleme çalışmasında; 2015 – 2030 yılları arasında sıcaklığın 0.8°C artacağı, yağışın ise %10 dolaylarında azalacağı ve bu değişikliğin barajı besleyen akarsu debilerini %23 azaltacağı tahmin edilmiştir (Okkan ve Karakan, 2016) Bu durum, baraj gölünde tutulan su miktarının azalmasına ve kirleticilerin etkisinin artmasına neden olabilir. Rüzgâr ekolojik risk üzerinde etkili olan bir diğer iklim elemanıdır. Rüzgâr yönü kirleticilerin taşınmasında önemli etkilere sahiptir. Çalışmanın bu bölümünde havzanın yağış ve sıcaklık değerleri haritalanarak, rüzgâr verileri ise grafikler ile irdelenmiştir.

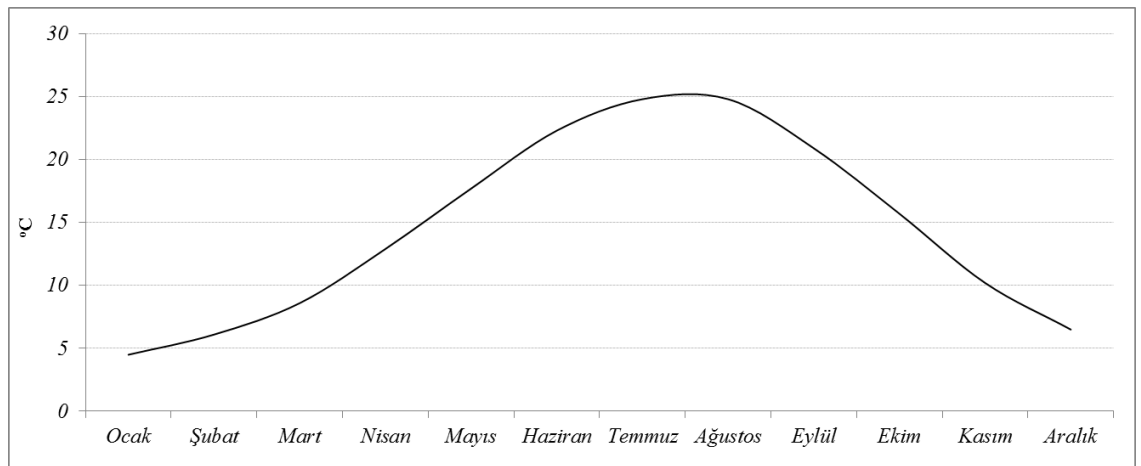
Sıcaklık

Sıcaklık artışı su yüzeyinden buharlaşma ve su kullanımının çoğalmasına neden olarak, barajda su seviyesinin azalmasına yol açmaktadır. Sıcaklığın yüksek olduğu aylarda su kullanımı ve tarımsal sulama artmakta buna bağlı olarak, barajdan çok fazla miktarda su çekilmektedir. Sıcaklık miktarı ve dolayısı ile su ihtiyacının yüksek düzeylere ulaştığı Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında yağış miktarının minimum seviyede olması, bahsi geçen dönemde barajın su seviyesinin en az seviyeye inmesine neden olmaktadır. Barajda su seviyesinin azalması metal, organik karbon ve klorofil bozunma ürünleri konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır. Balıkesir il merkezinde 1938–2018 yılları arasında yapılan ölçüm verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 14.6°C 'dir. Ortalama sıcaklık Temmuz ayında en yüksek, Ocak ayında en düşük değerdedir (Şekil 31). İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nda sıcaklık baraj gölü çevresinden güneye doğru gidildikçe yükseltinin artması ile azalmaktadır. Baraj gölü çevresinde 14°C olan yıllık ortalama sıcaklık havzanın güney keskinde Manisa il sınırı dolaylarında 9°C 'ye düşmektedir

(Şekil 30). Havzanın kuzeyindeki dağlık alanlarda düşen sıcaklık akarsu vadileri boyunca 10 – 11 °C arasında değişmektedir.



Şekil 30. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Yıllık Ortalama Sıcaklık Dağılım Haritası

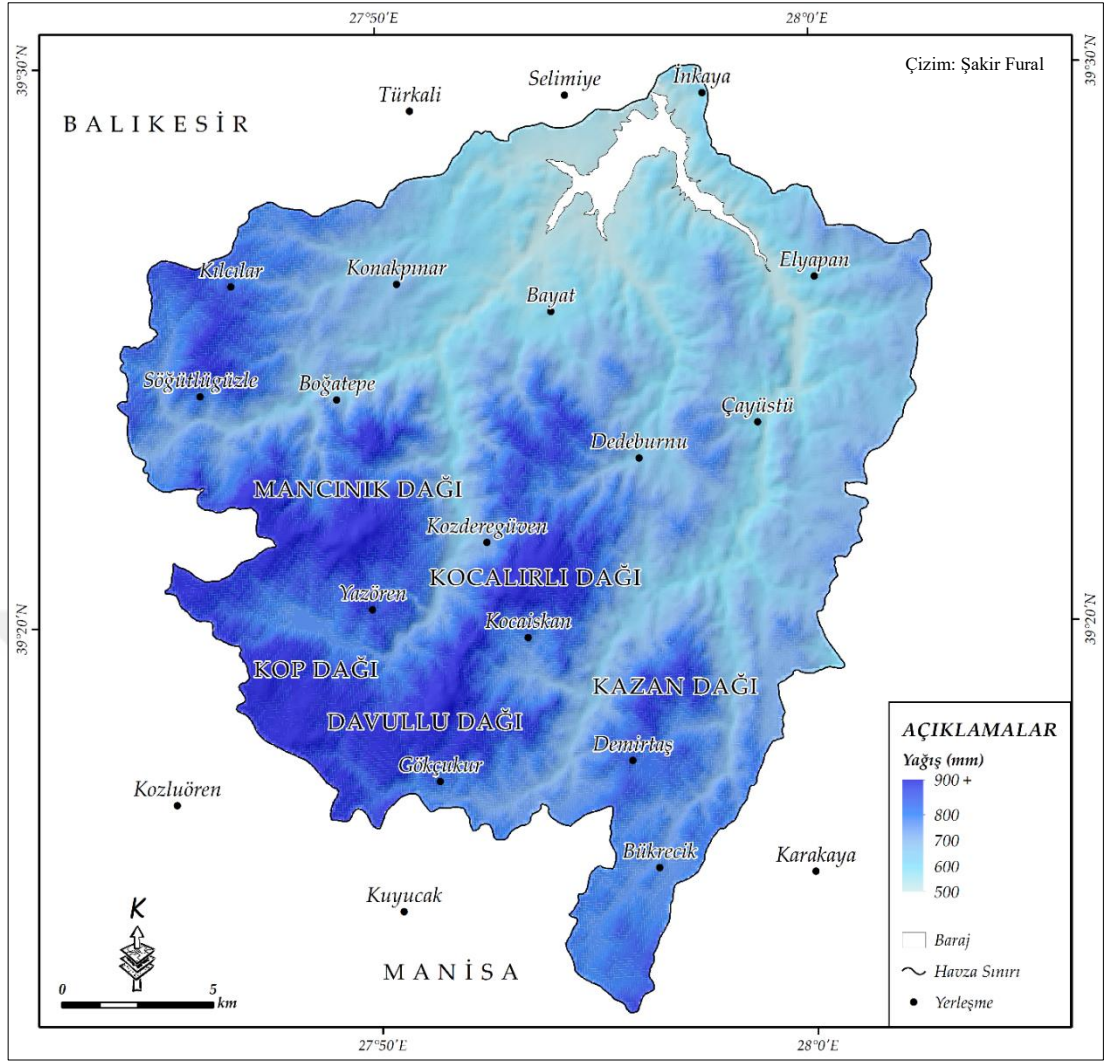


Şekil 31. Balıkesir İl Merkezinin 1938 – 2018 Yılları Arası Ortalama Sıcaklık Değerleri
(Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü)

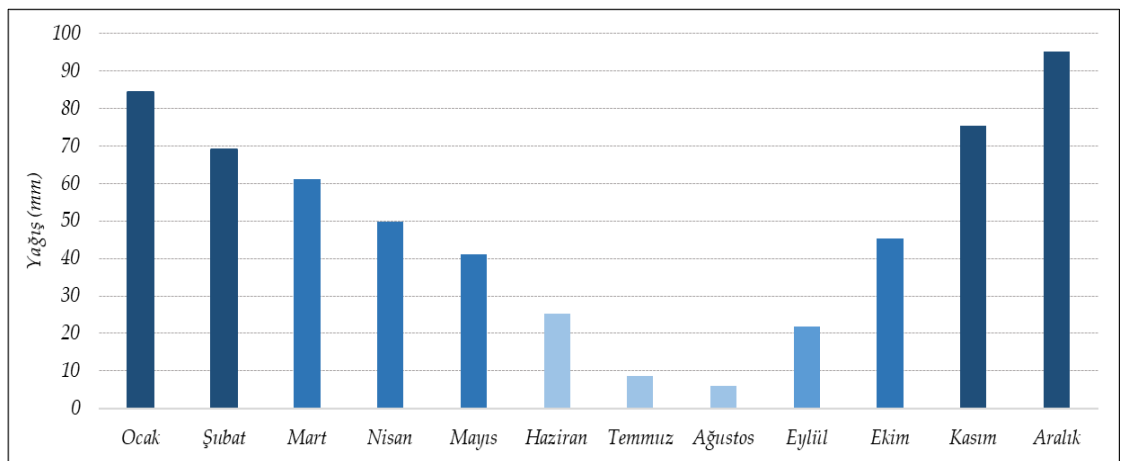
Yağış

Yağış miktarı, akarsu debileri ve baraj gölünün su seviyesi üzerinde etkilidir. Balıkesir’de Ocak, Şubat, Mart, Kasım ve Aralık ayları yağış miktarının yüksek olduğu dönemlerdir (Şekil 33). Yağış miktarının artması, baraj gölünde depolanan su miktarının artmasını sağlayarak sudaki metal, organik karbon ve klorofil bozunma ürünleri konsantrasyonunun değişmesini sağlamaktadır. Değişimin artış ya da azalma şeklinde olmasını akarsular tarafından taşınan su kalitesi belirlemektedir. Çünkü yağışlı dönemlerde, süreksiz akarsu kolları akışa geçerek havzanın büyük bir kısmının drene edilmesini sağlamakta ve birbirinden oldukça farklı özelliklere sahip maddelerin baraja deşarj edilmesine neden olmaktadır. Yağışlı dönemlerde baraj suyundaki metal konsantrasyonu anlık ve mevsimlik olarak değişirken, belirli bir süre sonra metaller çökel bünyesine geçmekte ve burada uzun yıllar kayıt altında kalmaktadır.

Balıkesir il merkezinde yıllık ortalama yağış miktarı 565 mm’dir. İkizcetepeler Baraj Gölü çevresinde 500 mm seviyesinde olan yıllık ortalama yağış miktarı havzanın kuzeyinde yer alan Kop Dağı, Davullu Dağı, Kazancı Dağı, Kocakırlı Dağı çevrelerinde 900 mm seviyesinin üzerine çıkmaktadır (Şekil 32). Dağlık alanlar ve plato yüzeylerinde, yıllık ortalamanın üzerinde seyreden yağış miktarı bahsi geçen sahalardaki süreksiz akarsu kollarını yağışlı dönemlerde sürekli hale getirmektedir. Özellikle plato yüzeylerindeki tarım yapılan alanlardan geçen süreksiz akarsu kollarının yağış ile birlikte sürekli hale gelerek, tarım arazilerini drene etmesi bu arazilerde kullanılan gübrelerde yer alan *Cu*, *Zn*, *Cd*, *Fe* gibi metal içeriklerinin baraja deşarj edilmesine neden olabilecek düzeydedir.



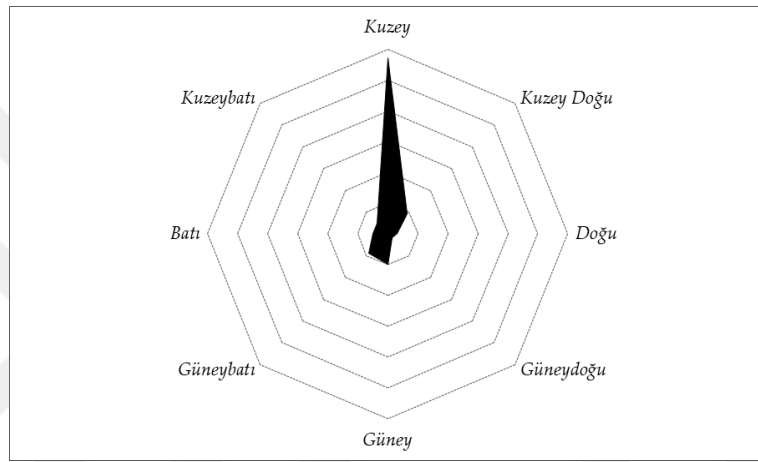
Şekil 32. İKİZCETEPERLER BARAJ GÖLÜ BASIN ALANI Yıllık Ortalama Yağış Dağılım Haritası



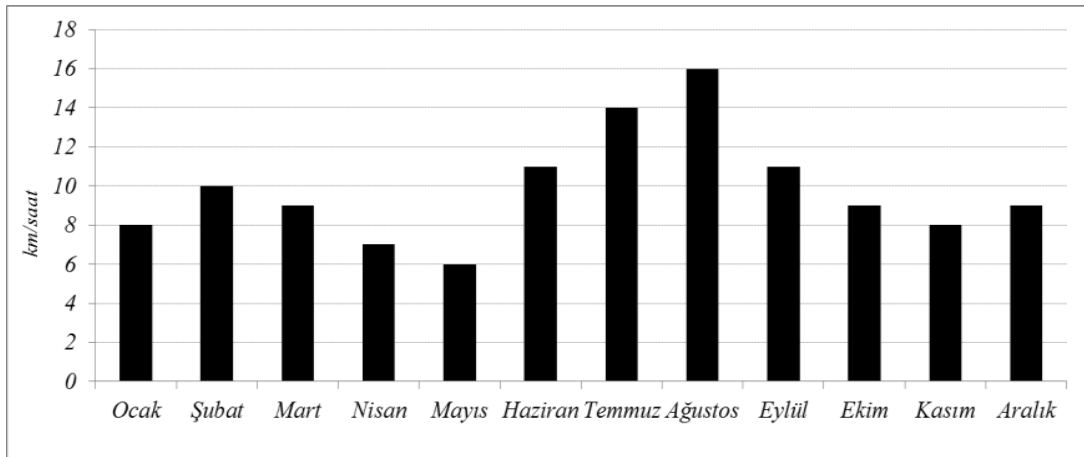
Şekil 33. Balıkesir İl Merkezinin 1938 – 2018 Yılları Arası Ortalama Yağış Değerleri
(Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü)

Rüzgâr

Balıkesir’de hâkim rüzgâr yönü belirgin şekilde kuzeydir. Yılın bütün mevsimlerinde kuzey sektörlü rüzgârlar hâkim durumdadır (Şekil 34). İkizcetepeler Baraj Gölü il merkezinin güneyinde yer almaktadır. Bu durum özellikle kış aylarında il merkezi üzerinde oluşan hava kirliliğinin rüzgâr ile baraj gölü üzerine taşınmasına neden olabilecek düzeydedir. Ancak yıllık ortalama rüzgâr hızının fosil yakıt tüketimi ve hava kirliliğinin en yüksek seviyelere çıktığı Kasım – Nisan ayları arasında minimum seviyelere inmesi baraj gölünün bu durumdan en az düzeyde etkilenmesini sağlamaktadır (Şekil 35).



Şekil 34. Balıkesir Rüzgâr Gülü Diyagramı (1938 – 2019 Yılları Arası)
(Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü)



Şekil 35. Balıkesir Rüzgâr Hızı (1938 – 2019 Yılları Arası)
(Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü)

Rüzgâr hızının mevsimlik değişiminin bu şekilde seyretmesi İkizcetepeler Baraj Gölü’nün şehir merkezi üzerinde biriken hava kirliliğinden en az seviyede etkilenmesine neden olmaktadır. Rüzgâr hızının kış aylarında artması ihtimalinde il merkezi üzerinde hava kirliliğine bağlı biriken partikül maddelerin kuzey sektörlü

rüzgârlar ile baraj gölüne deşarj olması ve ekolojik risk seviyesinin artması beklenen bir durumdu. Ancak rüzgâr hızının hava kirliliğinin yoğun olduğu kış mevsiminde düşük olması, ekolojik risk seviyesinin artmamasında etkili olabilir.

4.1.4. Hidrografya

Baraj göllerini besleyen ana kaynak akarsulardır. Bu nedenle baraj göllerinde yapılan ekolojik risk araştırmalarında deşarj gerçekleştiren bütün akarsuların drenaj özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir. Çünkü baraj gölüne deşarj olan organik ve inorganik maddelerin büyük kısmı akarsular tarafından havza içerisinden taşınmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde, İkizcetepeler Baraj Gölü'ne deşarj olan akarsuların morfometrik özellikleri incelenerek ekolojik risk üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. İkizcetepeler Baraj Gölü, Kille Çayı ve yan kolları üzerinde kurulmuştur. Baraj gölü kurulduktan sonra havza Kille Çayı'nın yan kolları olan Koca Çay, Bağrsak Dere ve Çınarlı Dere'nin (*Taşköy Deresi*) anakol ile birleştiği noktalardan 4 farklı alt havzaya ayrılmıştır. Taşköy Deresi 1976 yılında ait 1:25.000 ölçekli J19b2 paftasına uygun şekilde Çınarlı Dere olarak isimlendirilmiştir. İkizcetepeler Baraj Gölü; Kille Çayı, Koca Çay, Bağrsak Dere ve Çınarlı Dere'nin (*Taşköy Deresi*) sürekli ve süreksiz yan kolları ile beslenmektedir. Havzada 97 adet akarsu kolundan oluşan 240.047 metre sürekli, 1001 adet akarsu kolundan oluşan 708.268 metre süreksiz olmak üzere 948.315 metre akarsu ağı bulunmaktadır. Akarsuyun sürekli ve süreksiz kollarının havza içinde ne sıklıkta yayıldığı tespit edilmesi için drenaj yoğunluğu morfometrik indeksi kullanılmaktadır. Drenaj yoğunluğu akarsu kolunun toplam uzunluğunun havza yüzölçümüne bölünmesiyle hesaplanmaktadır (Strahler, 1957). İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın drenaj yoğunluğu hesaplandığında:

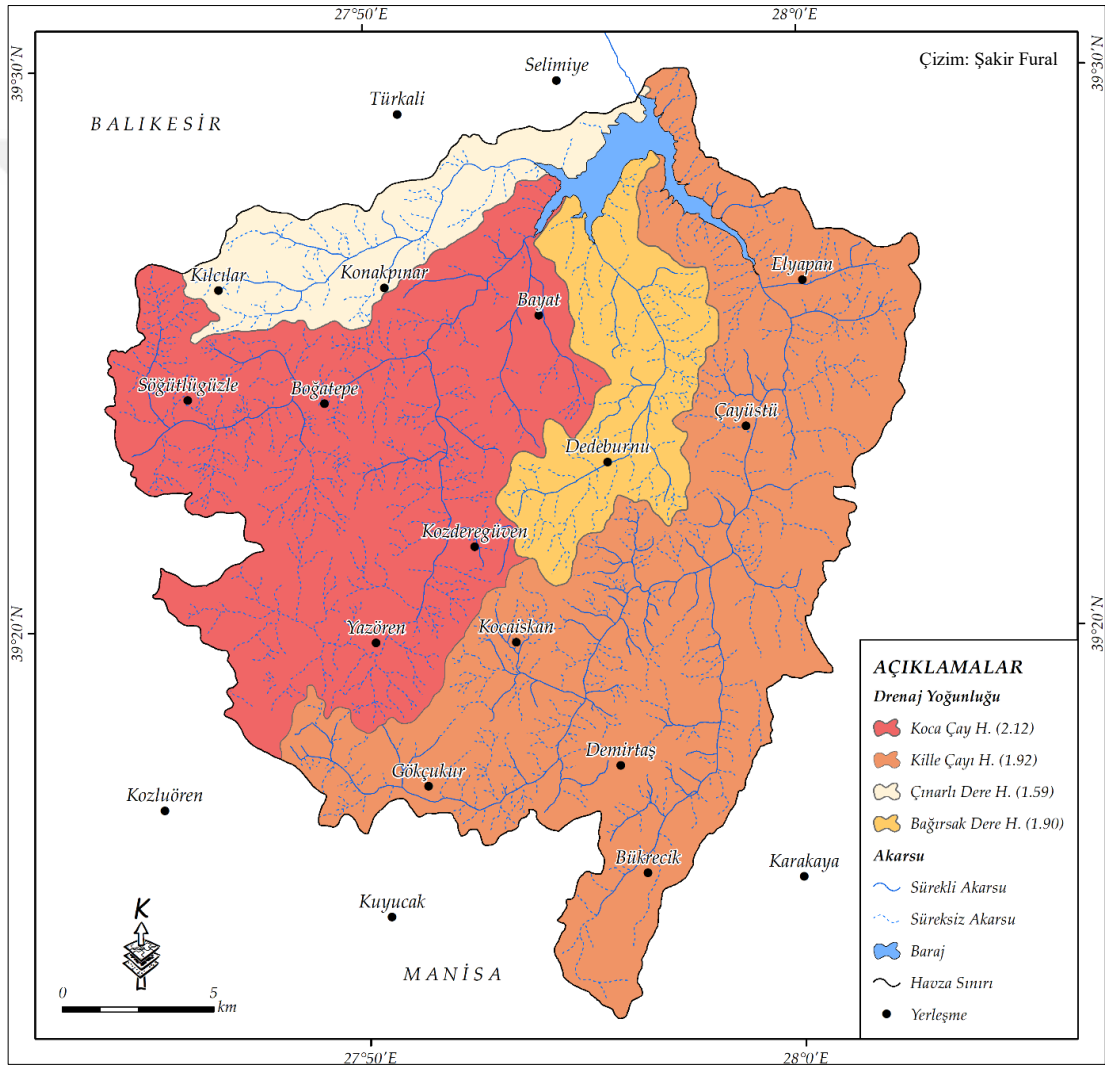
$$DY = Akarsu\ uzunluğu(L) / Havza\ alanı (S) \quad 11$$

$$DY = 948.3 / 478.9 = 1.98\ km / km^2$$

Bu değer, İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın her km^2 'sinde ortalama 1.98 km akarsu ağı bulunduğunu göstermektedir. Akarsuların ekolojik risk üzerindeki etkisinin daha detaylı incelenmesi için alt havzaların drenaj yoğunlukları hesaplanarak haritalanmıştır (Şekil 36).

Kille Çayı Havzası

İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın en büyük alt havzası 217.3 km^2 alan kaplayan Kille Çayı Havzası'dır. Kille Çayı 130.1 km uzunluğunda 70 adet sürekli, 288.2 km uzunluğunda 400 adet süreksiz akarsu kolundan oluşmaktadır. Toplam 418.3 km akarsu ağından oluşan Kille Çayı, İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın akarsu ağının %44.1'ini oluşturmaktadır. Kille Çayı Havzası'nın drenaj yoğunluğu $1.92 \text{ km} / \text{km}^2$ 'dir (Şekil 36). Kille Çayı Havzası'nın drenaj yoğunluğu İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın drenaj yoğunluğundan ($1.98 \text{ km} / \text{km}^2$) düşüktür.



Şekil 36. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Alansal Drenaj Yoğunluğu (km/km²)

Koca Çay Havzası

İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın ikinci büyük alt havzası olan Koca Çay Havzası 169.8 km^2 alan kaplamaktadır. Koca Çay 63.7 km uzunluğunda 18 adet sürekli, 297.6 km uzunluğunda 401 adet süreksiz toplam 361.3 km uzunluğunda ve 419 adet akarsu kolundan oluşmaktadır. Koca Çay, İkizcetepeler Baraj Gölü akarsu ağının %38'ini oluşturmaktadır. Koca Çay Havzası'nın drenaj yoğunluğu 2.12 km/km^2 'dir. Bu değer Koca Çay Havzası'nın her km^2 'sinde ortalama 2.12 km akarsu ağı bulunduğunu göstermektedir (Şekil 36). Elde edilen değer, İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın (1.98 km/km^2) ve Kille Çayı Havzası'nın (1.92 km/km^2) drenaj yoğunluğundan yüksektir.

Bağırsak Dere Havzası

İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın üçüncü büyük alt havzası olan Bağırsak Dere Havzası 53.6 km^2 alan kaplamaktadır. 24.9 km uzunluğundaki 8 adet sürekli, 76.6 km uzunluğundaki 111 adet süreksiz akarsu kolundan oluşan Bağırsak Dere İkizcetepeler Baraj Gölü akarsu ağının %10.7'sini oluşturmaktadır. Bağırsak Dere Havzası'nın drenaj yoğunluğu 1.90 km/km^2 'dir. Bu değer, Bağırsak Dere Havzası'nın her km^2 'sinde ortalama 1.90 km akarsu ağı bulunduğunu göstermektedir (Şekil 36). Elde edilen veriler karşılaştırıldığında, Bağırsak Dere Havzası'nın drenaj yoğunluğu İkizcetepeler Havzası (1.98 km/km^2), Kille Çayı Havzası (1.92 km/km^2) ve Koca Çay Havzası (2.12 km / km^2) drenaj yoğunluğundan düşüktür.

Çınarlı Dere (Taşköy Deresi) Havzası

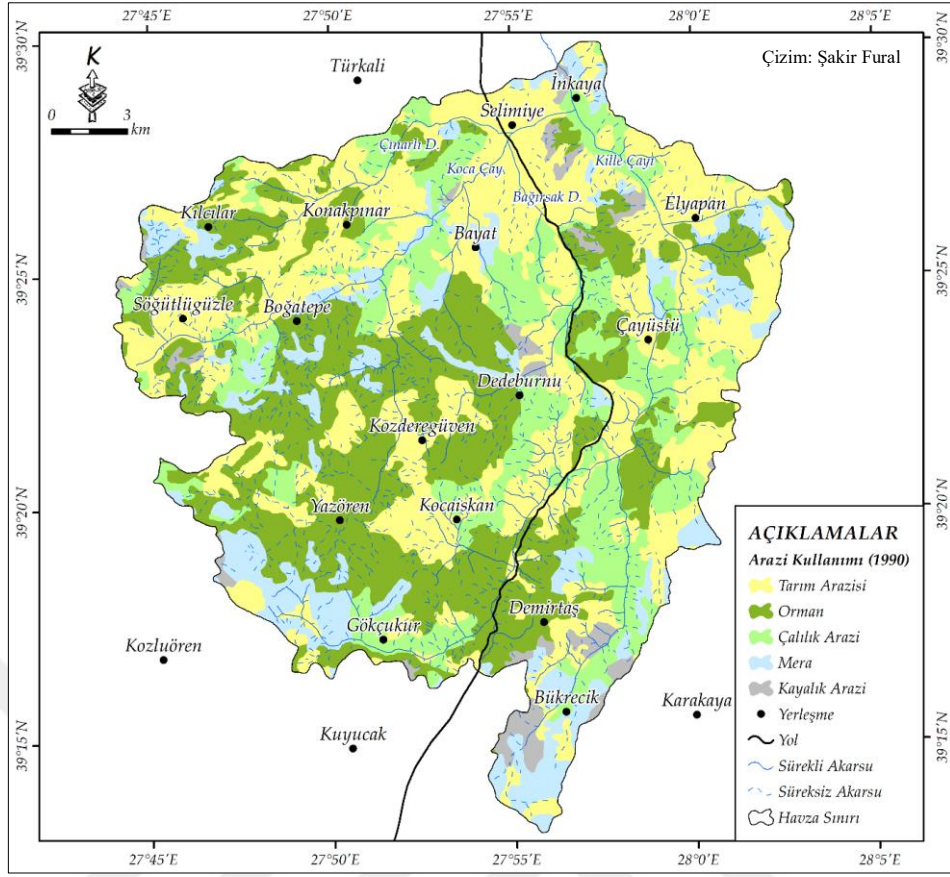
İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın en küçük alt havzası olan Çınarlı Dere Havzası 169.8 km^2 alan kaplamaktadır. Çınarlı Dere 21.1 km uzunluğunda 6 adet sürekli, 45.6 km uzunluğunda 63 adet süreksiz olmak üzere toplam 66.9 km uzunluğunda 69 adet akarsu kolundan oluşmaktadır. Çınarlı Dere, İkizcetepeler Baraj Gölü akarsu ağının %7'sini oluşturmaktadır. Çınarlı Dere Havzası'nın drenaj yoğunluğu 1.59 km/km^2 'dir. Bu değer havza içerisindeki en düşük drenaj yoğunluğunun Çınarlı Dere Havzası'na ait olduğunu göstermektedir (Şekil 36).

Genel bir değerlendirme yapıldığında havzada drenaj yoğunluğu *Koca Çay* > *Kille Çayı* > *Bağırsak Dere* > *Çınarlı Dere (Taşköy Dere)* şeklinde sıralanmaktadır.

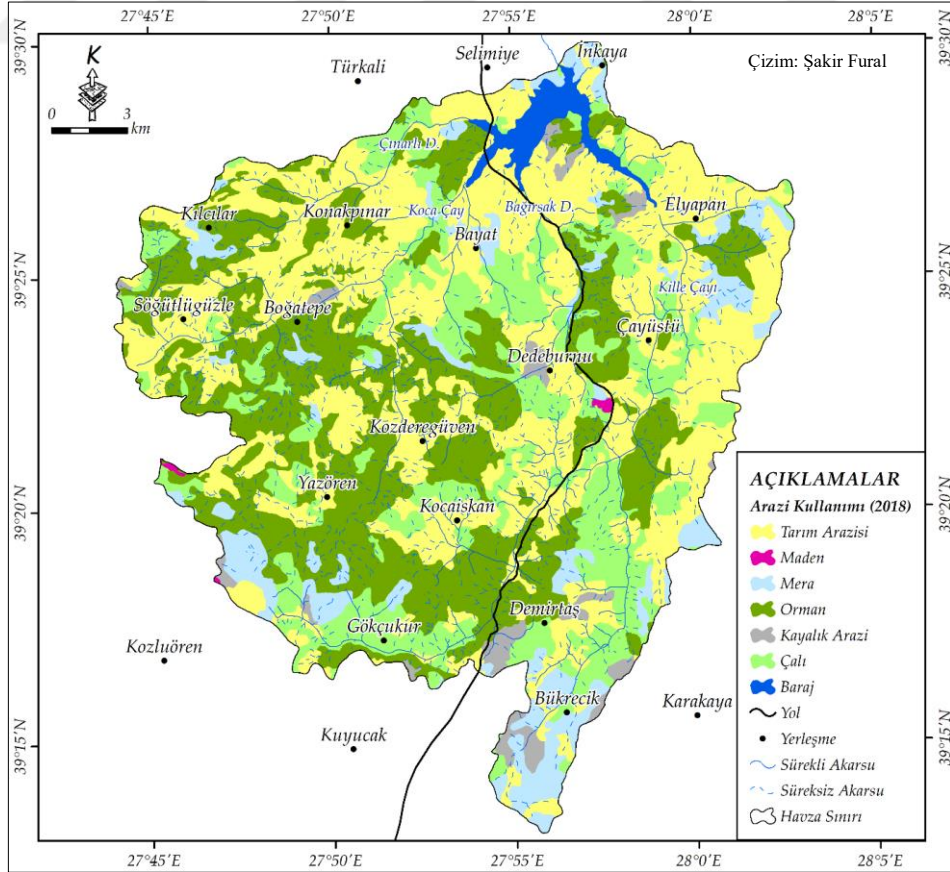
4.1.5. Arazi Kullanımı

Balıkesir ve Manisa ili sınırları içerisinde bulunan İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası 481 km² alan kaplamaktadır. Havza sınırları içerisinde ana arazi kullanım sınıflarını *yerleşme, maden, tarım, mera, orman, kayalık alanlar, çalılık arazi ve su yüzeyleri* oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında, orman alt sınıfları (*maki, otsu bitkiler vb.*) gibi detaylara yer verilmemiştir. Havzanın arazi kullanım değişimi yıllara göre incelendiğinde; 1990 yılında baraj ve maden alanları bulunmamaktadır (Şekil 37). Tarım alanlarının yıllara göre değişimi incelendiğinde; 2000 yılı hariç sürekli bir artış görülmektedir. 2000 yılında tarım alanlarının yaklaşık 7 km² azalması baraj gölünün tarım arazileri üzerine kurulmasından kaynaklanmaktadır. Mera arazileri 1990 yılından 2018 yılına kadar düzenli şekilde azalmaktadır. Bu durumun ortaya çıkmasında hayvancılık faaliyetlerinin azalması ve tarımsal teşvikler ile mera alanlarının bir kısmının tarım arazisine dönüştürülmesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Orman alanlarındaki 1990 – 2000 yılları arasında gerçekleşen artışın nedeninin baraj çevresinin ve havzanın bazı bölümlerinin ağaçlandırılması olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 39). Orman alanlarında 2000 yılından, 2018 yılına kadar düzenli bir azalma görülmektedir. Bunun nedeni; orman arazilerinin tahrip edilerek önce çalılık alanlara, sonra da tarım arazisine dönüştürülmesi olabilir. Sonuç olarak; orman alanlarının azalmasıyla çalılık alanlar ve tarım alanlarının kademeli olarak artması havzadaki antropojenik etkilerle bağlantılı olabilir. Bu durum havzada gerçekleştirilen arazi çalışmalarında gözlemlenmiştir.

Havza içerisindeki kayalık ve boş araziler 1990–2018 arasında sürekli azalırken yerleşme alanında kayda değer değişimler gerçekleşmemiştir. 1991 yılında barajın su tutmaya başlamasıyla 2018 yılına kadar su yüzeylerinde kayda değer değişiklikler olmamıştır. 2018 yılına göre bir değerlendirme yapıldığında; havza alanının %38.60'lık kısmı (182.5 km²) tarım arazisi olarak kullanılmaktadır. Tarım arazilerinin baraj gölünün kıyı kenar çizgisi ile bitişik şekilde ve baraj çevresinde geniş alan kaplaması dikkat çekici bir durumdur (Şekil 38). Bağırsak Dere, Çınarlı Dere ve Koca Çay'ın baraja deşarj olduğu noktalar arazi kullanım kabiliyet sınıflandırmasına göre 1. sınıf arazi kategorisinde yer almaktadır (İnan, 2019). Bu durum ekolojik risk analizleri ve ekolojik riskin mekânsal dağılışının haritalanmasından sonra tekrar değerlendirilecektir.

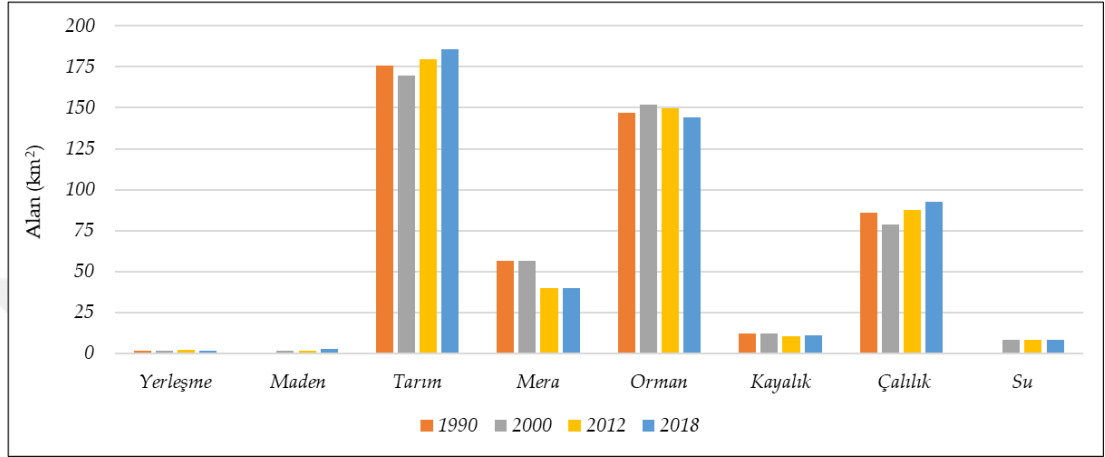


Şekil 37. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın 1990 Yılı Arazi Kullanım Haritası



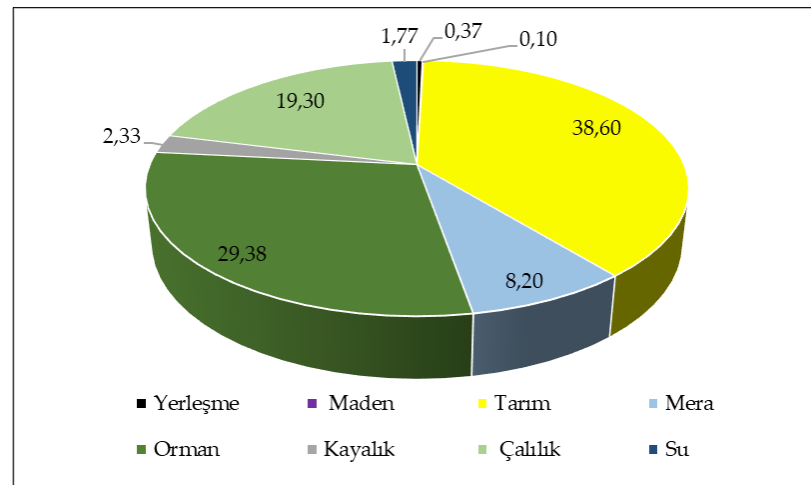
Şekil 38. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın 2018 Yılı Arazi Kullanım Haritası

Ormanlar havzanın %29.8'lik kısmına karşılık gelen (143.28 km²) alan kaplamaktadır. Dağlık alanlar ve baraj çevresindeki ağaçlandırma sahalarından oluşan orman alanları, havzada erozyon seviyesinin azaltılması ve barajdaki siltasyon seviyesinin kontrol altında tutulması için oldukça önemlidir. Ancak, arazi kullanım değişimi haritaları incelendiğinde orman alanlarının 2000–2018 yılları arasında sürekli azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 37 ve 38).



Şekil 39. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Yıllara Göre Arazi Kullanım Değişimi (Orijinal)

Çalılık araziler havzanın %19.90'ını (92.83 km²) kaplamakta ve 2000 – 2018 yılları arasında sürekli artmaktadır. Arazi çalışmalarında çalılıkların genellikle ormanlık sahaların tahrip edilmesi ve uzun süre kullanılmayan tarım arazilerinin çalılar ile kaplanması sonucuna arttığı tespit edilmiştir. Mera alanları havzanın %8.20'lik kısmına karşılık gelen (39.68 km²) alan kaplamakta ve 1990 – 2018 arasında sürekli azalmaktadır. Maden, yerleşme, su yüzeyleri ve kayalık alanlar havzada oldukça küçük alanlar kaplamakta ve yıllara göre önemsiz düzeyde değişiklikler gösterdikleri için detaylı şekilde incelenmemiştir.

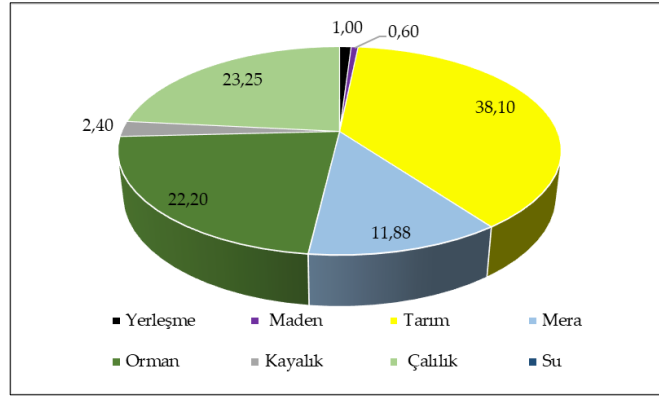


Şekil 40. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nın Arazi Kullanım Türlerinin Alansal Dağılışı (%) (Orijinal)

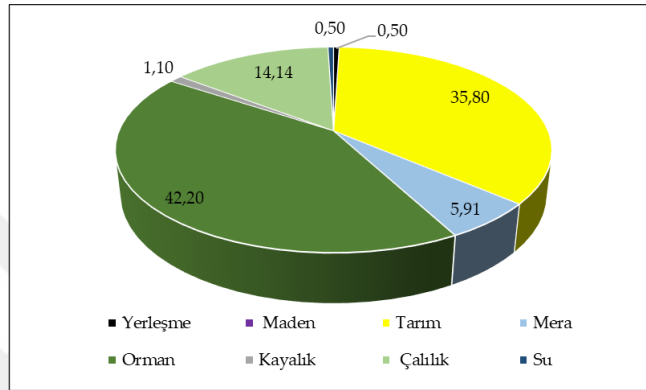
Çalışma kapsamında, ekolojik risk değerlendirmesi alt havza ölçeğinde gerçekleştirildiği için arazi kullanımı 2018 yılı verileri dikkate alınarak alt havza ölçeğinde detaylı şekilde incelenmiştir. Alt havzaların yüzölçümleri birbirinden farklı olduğundan verilerin kolaylıkla karşılaştırılması amacıyla alansal ifadelerde % değerler kullanılmıştır. Alt havzaların 2018 yılı arazi kullanım dağılışı incelendiğinde; tarım alanlarının bütün havzalarda en geniş alanları kapladığı tespit edilmiştir. Çınarlı Dere Havzası'nın %48.75, Bağrsak Dere Havzası'nın %41.10, Kille Çayı Havzası'nın % 38.10, Koca Çay Havzası'nın % 35.80'lik kısmı tarım arazisi olarak kullanılmaktadır (Şekil 40). Bu durumda tarımsal faaliyetlere bağlı en fazla ekolojik risk yaratma potansiyeline sahip olan havza Çınarlı Dere Havzası'dır. Ancak bu durum ekili alanların yüzölçümü ve tarımsal ilaç/gübre kullanımına göre değişkenlik gösterebilir. Baraj havzası içerisinde en fazla ormanlık alan Koca Çay, en az ise Kille Çayı Havzası'nda bulunmaktadır. Çalılık alanlar en fazla Kille Çayı Havzası, en az Çınarlı Dere Havzası'nda yer almaktadır (Şekil 41 ve 44). Kille Çayı'nda çalılık alanların geniş alanlar kaplaması orman tahribatı ile doğrudan ilişkilidir bu durum arazi çalışması sırasında gözlemlenmiştir.

Kille Çayı Havzası'nda ormanlık alanlar tahrip edilerek, öncelikle antropojenik çalılık arazilere sonrasında tarım alanlarına dönüştürülmektedir (Şekil 45). Bu durum gelecek yıllarda alt Kille Çayı Havzası'nda tarım alanlarının genişlemesine ve dolayısı ile tarım kaynaklı ekolojik risk sorunlarına neden olabilecek düzeydedir. Alt havzaların diğer arazi kullanım türlerinin oransal dağılışı ilgili grafiklerde verilmiştir (Şekil 41,42,43,44).

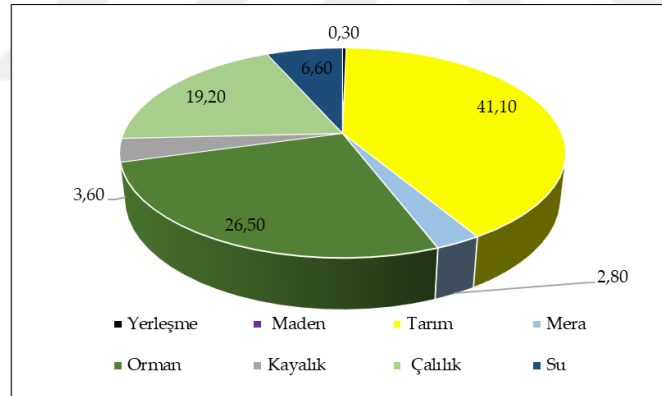
Baraj gölü havzasının arazi kullanımı ile ilgili genel bir değerlendirme yapıldığında; havza içerisinde özellikle baraj gölü yakınlarına alanı sürekli genişleyen tarım arazileri gelecek yıllarda siltasyon ve metal konsantrasyonunun artmasına neden olabilecek düzeydedir (Şekil 46). Baraj gölü yakınlarının ormanlarla kaplı olması su kalitesi, sedimantasyon hızı ve antropojenik baskıların azaltılması için son derece önemlidir. Ancak İkizcetepeler Barajı çevresinde ormanlık alanlar önce çalılık arazilere, sonra tarım alanlarına dönüştürülerek yok edilmektedir (Şekil 45). Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın 28.11.2017 tarih 30224 sayılı İçme ve Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmeliği'nin 9. maddesine göre *“doğal göller ve baraj göllerinin maksimum su kotundan itibaren ilk 300 metrelik alan mutlak koruma alanı olarak”* belirlenmiştir.



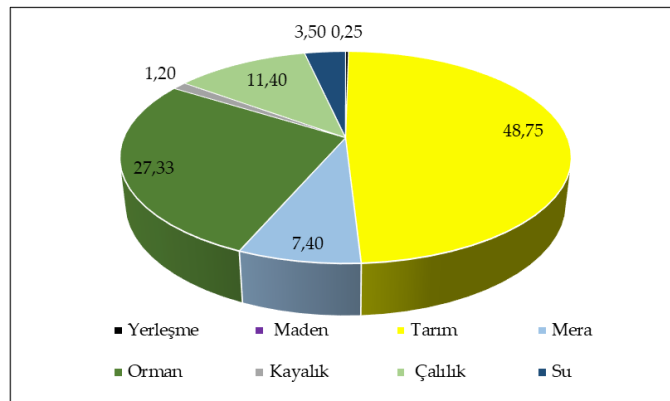
Şekil 41. Kille Çayı Havzası Arazi Kullanımının Dağılışı (%) (Orijinal)



Şekil 42. Koca Çay Havzası Arazi Kullanımının Dağılışı (%) (Orijinal)



Şekil 43. Bağırsak Dere Havzası Arazi Kullanımının Dağılışı (%) (Orijinal)



Şekil 44. Çınarlı Dere Havzası Arazi Kullanımının Dağılışı (%) (Orijinal)



Şekil 45. Baraj Gölü Yakınındaki Ormanlık Alanların Tahrip Edilmesiyle Açılan Tarım Arazileri



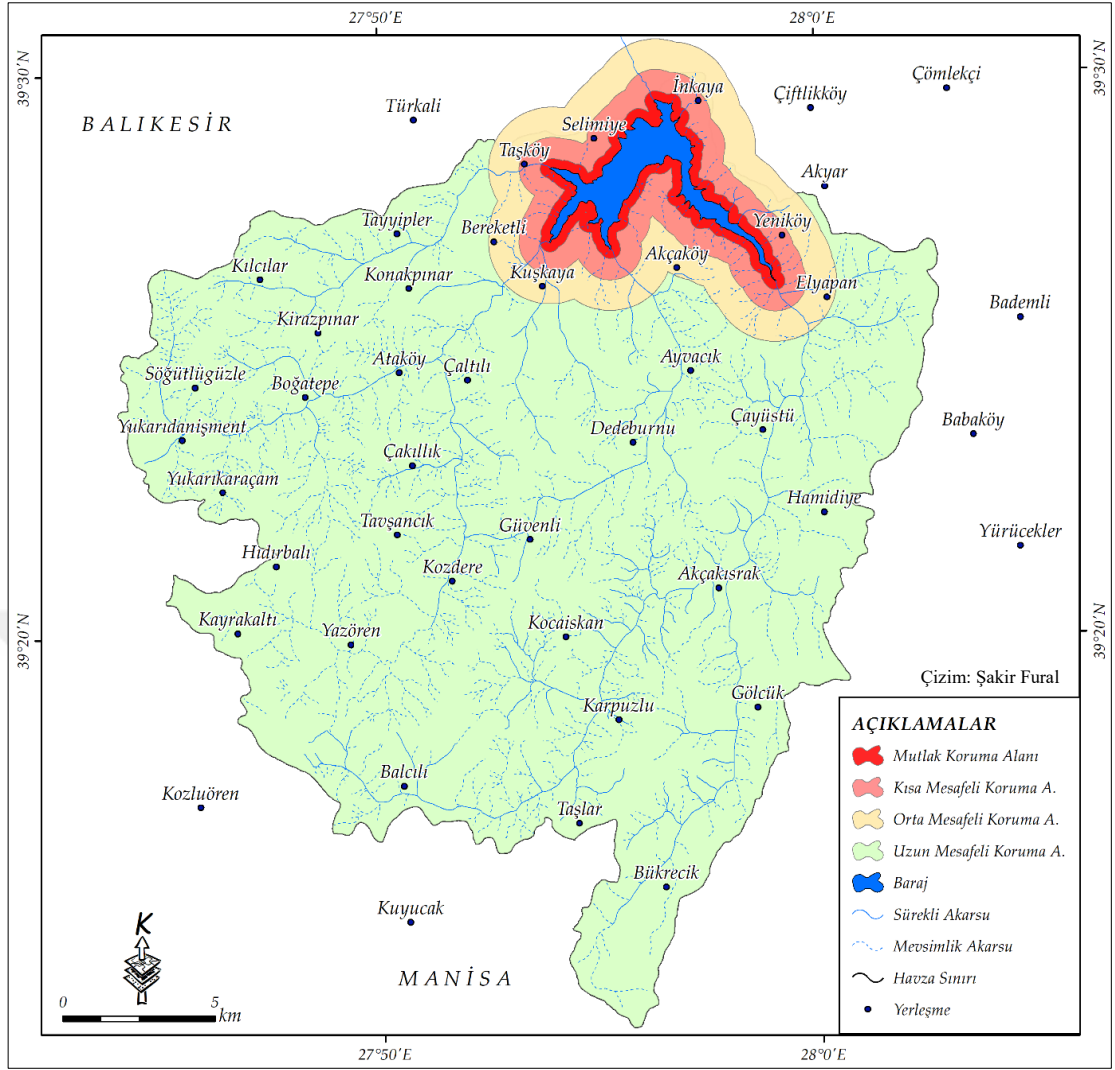
Şekil 46. Baraj Gölü Kıyı-Kenar Çizgisi Sınırında Yer Alan Tarım Arazileri

Yönetmeliğe göre, mutlak koruma alanlarına teknik tesisler ve mecburi güzergâhlı karayolları dışında hiçbir yapının inşa edilmesine izin verilmemektedir. Ancak yönetmeliğin yürürlüğe girdiği tarihten önce inşa edilmiş yapılar yönetmelik kapmasında değerlendirilmemektedir. Mutlak koruma zonunda Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nın kontrolünde mevcutta mutlak koruma alanında yaşayan yerleşik halkın ihtiyacını karşılamak amacı ile hayvancılık faaliyetlerine ve izlenebilir tarım faaliyetlerine izin verilebilir.



Şekil 47. Baraj Gölünün Kıyı Kenar Çizgisi Sınırı Yakınlarına Kurulan Ahır

Yönetmeliğin 10. maddesinde “*mutlak koruma alanından itibaren ilk 700 metre kısa mesafeli koruma alanı olarak*” tanımlanmıştır. Kısa mesafeli koruma alanında, kanalizasyonun havza dışına aktarılması şartı ile kırsal mahalle yerleşmelerinin kurulmasına izin verilmektedir. Ancak arazi çalışmalarında kısa mesafeli koruma alanı içerisinde kalan kırsal mahallelerde kanalizasyonun havza dışına taşınmadığı tespit edilmiştir. Kısa mesafeli koruma alanlarında madencilik, sanayi faaliyetleri, vb. kurulmasına izin verilmezken, organik ve izlenebilir tarım faaliyetleri denetlenmek şartıyla serbesttir. Yönetmeliğin 11. maddesinde “*kısa mesafeli koruma alanından itibaren ilk 1000 metre, orta mesafeli koruma alanı olarak*” tanımlanmıştır. Bu alanlarda; kırsal mahalle yerleşmelerine, mesire alanlarına, rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerine izin verilir. Sanayi ve madencilik işletmelerine izin verilmezken tarım arazilerinde organik tarım uygulamalarının teşviki sağlanmaya çalışılır. Yönetmeliğin 12. maddesinde “*orta mesafeli koruma alanından havza sınırına kadar olan alanlar uzun mesafeli koruma alanı olarak*” tanımlanmıştır (Şekil 48). Uzun mesafeli koruma alanlarında; madencilik, sanayi tesisleri, petrol istasyonları, arıtma tesisleri, hayvancılık tesisleri, otlatma, kerestecilik faaliyetlerine izin verilir. Tarım alanlarında iyi tarım uygulamaları teşvik edilir. İkizcetepeler Baraj Gölü’nün ekolojik riskler ile karşı karşıya kalmaması için baraj gölü havzasında koruma zonlarına uygun arazi kullanımı gerçekleştirilmesi son derece önemlidir. Ancak arazi çalışmalarında mutlak koruma alanı ve kısa mesafeli koruma alanlarında gerekli kurallara uyulmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 48. İkizcetepeler Baraj Gölü Koruma Zonları

Havzada mutlak, kısa ve orta mesafeli koruma alanlarında 8 kırsal mahalle bulunmaktadır. Bahsi geçen kırsal mahallelerde antropojenik etki yaratacak faaliyetler yapılmaması son derece önemlidir.

4.2. Beşeri Coğrafya Özellikleri

Nüfus, yerleşme ve ekonomik faaliyetler ekolojik risk üzerinde doğrudan ve dolaylı şekilde etki yaratabilecek Beşerî Coğrafya özellikleridir. Çalışmanın bu bölümünde bahsi geçen coğrafi özellikler ve ekolojik riske olası etkileri incelenmiştir.

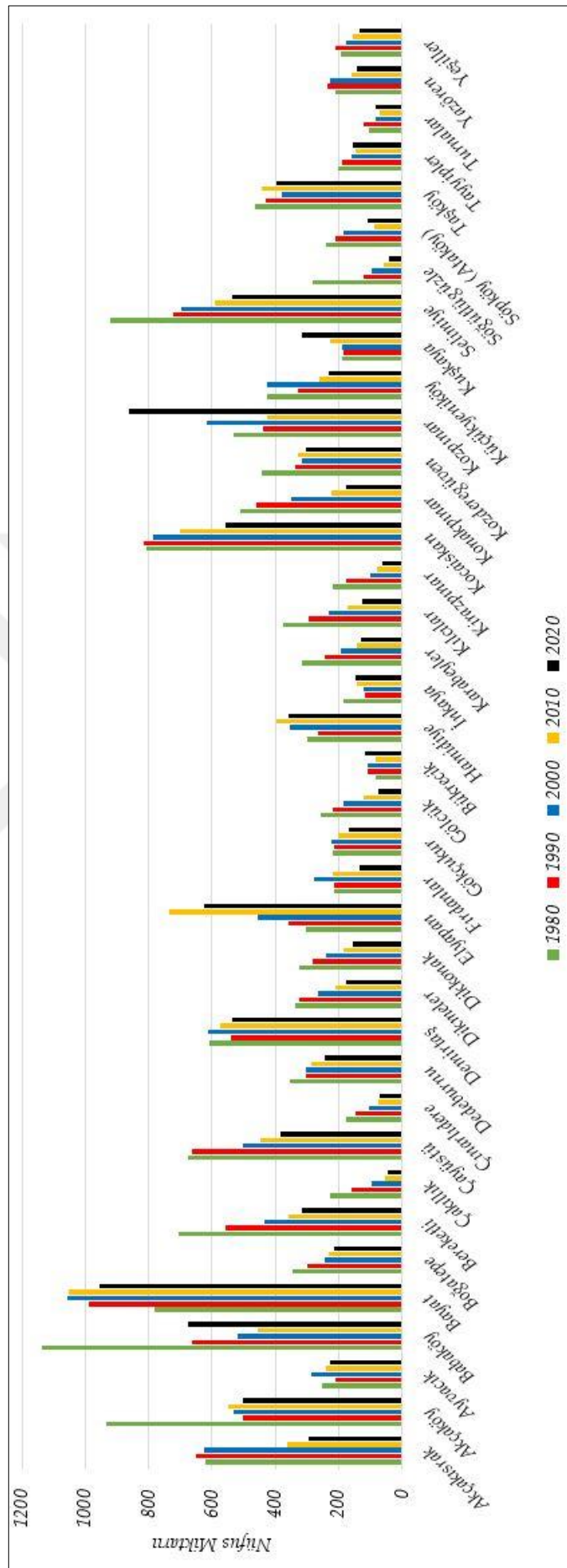
4.2.1. Nüfus

İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası içerisinde TUİK 2020 yılı verilerine göre 10.668 kişi yaşamaktadır (Çizelge 4). Kırsal mahallelerden il merkezine göçün hâkim olduğu havza içerisinde nüfus yıllar geçtikçe azalmaktadır (Şekil 49). Havza nüfusunun azalması, baraj gölü havzasındaki antropojenik baskının azalması açısından önemlidir. Baraj gölü havzasında nüfus yoğunluğunun fazla olması evsel atıklar, tarım, sanayi vb. antropojenik etkilerin artmasına yol açabilecek olan önemli nedenlerdendir. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nda böyle bir problem söz konusu değildir. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nda bulunan 41 kırsal mahallenin 1980 – 2020 yılları arasındaki nüfus değişimi incelendiğinde nüfusun 40 yıl içerisinde %32 azaldığı tespit edilmiştir. Kırsal mahalleden il merkezine göçün devam etmesi, doğum oranlarının azalması gibi faktörlerden dolayı havza nüfusu yıllık ortalama %6.4 azalmaktadır. Arazi çalışmaları sırasında gerçekleştirilen mülakatlardan elde edilen bilgilere göre havza içerisinde yer alan kırsal mahallelerden göç edenler genellikle Balıkesir il merkezine yerleşmektedir. Bu durum, kırsal mahallelerden göç edenlerin baraj üzerindeki antropojenik baskıyı azaltmasını sağlarken, Balıkesir il merkezine yerleşmeleri su ihtiyacının artmasına neden olmaktadır.

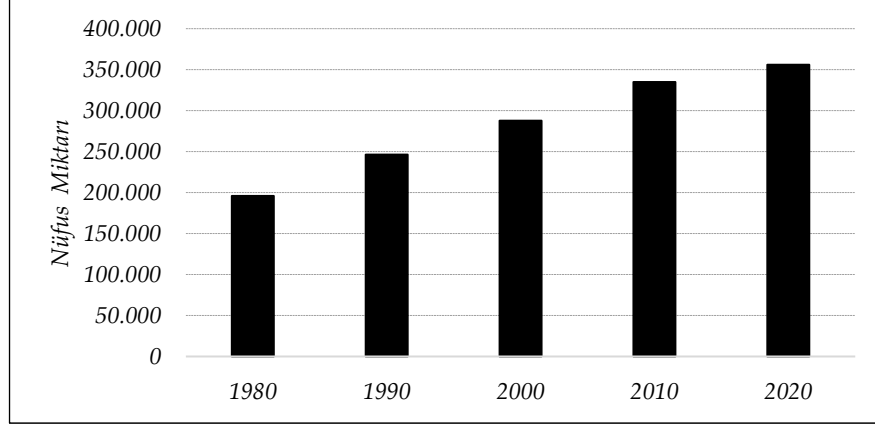
Çizelge 4. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası Kırsal Mahalle Nüfuslarının Yıllara Göre (1980 – 2020) Değişimi

Yerleşme Adı	1980	1990	2000	2010	2020
Akçakısrak	621	652	627	364	294
Akçaköy	934	502	533	550	504
Ayvacık	252	212	285	239	229
Babaköy	1139	663	519	651	676
Bayat	782	991	1058	1053	955
Boğatepe	347	299	244	232	216
Bereketli	704	557	436	360	318
Çakıllık	229	158	94	55	47
Çayüstü	676	662	503	448	383
Çınarlıdere	175	146	104	76	70
Dedeburnu	354	304	305	285	242
Demirtaş	609	540	611	575	534
Dikmeler	336	326	264	211	177
Dikkonak	326	281	240	185	157
Elyapan	303	358	454	734	623
Fırdanlar	213	214	277	220	136
Gökçukur	219	213	221	200	166
Gölcük	256	220	183	121	73
Bükrecik	82	107	110	85	119
Hamidiye	300	267	355	396	360
İnkaya	184	115	121	143	146
Karabeyler	318	245	192	143	128
Kılcılar	374	295	233	170	125
Kirazpınar	218	175	101	80	64
Kocaıskan	807	817	787	702	558
Konakpınar	510	461	351	221	177
Kozderegüven	442	335	314	328	305
Kozpınar	530	438	616	425	468
Küçükyeniköy	424	330	424	263	230
Kuşkaya	187	184	187	228	317
Selimiye	923	724	695	591	535
Söğütlügüzle	282	120	95	58	41
Söpköy (Ataköy)	241	209	183	89	108
Taşköy	465	429	379	442	396
Tayyipler	202	188	158	147	155
Turnalar	104	121	83	69	84
Yazören	211	234	228	160	142
Yeşiller	195	210	177	154	136
Yukarıkaraçam	449	114	92	49	32
Toplam:	15.923	13.416	12.839	11.307	10.668

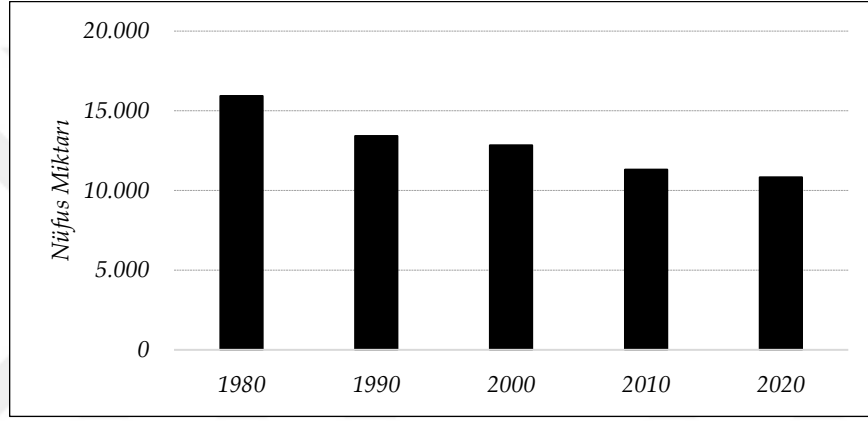
(Kaynak: TÜİK, 2020)



Şekil 49. İkizcepeleler Baraj Gölü Havzasında Yer Alan Kırsal Mahallelerin 1980 – 2020 Yılları Arası Nüfus Değişimi
(Kaynak: TÜİK, 2020)



Şekil 50. Balıkesir İl Merkezi Nüfusunun Yıllara Göre Değişimi
(Kaynak: TÜİK, 2020)



Şekil 51. İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası Nüfusunun Yıllara Göre Değişimi
(Kaynak: TÜİK, 2020)

İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası içerisinde yaşayan nüfus baraj üzerindeki antropojenik baskının şiddetini belirlerken, aynı zamanda bundan etkilenmektedir. Ancak baraj suyundan yararlanan ve il merkezinde yaşayan nüfus bahsi geçen baskı sonucu ortaya çıkabilecek risklerden etkilenen grubu oluşturmaktadır. Balıkesir il merkezi nüfusu 1980 – 2020 yılları arasında sürekli artış eğilimi göstererek %44.9 artmıştır. Belirtilen yıllar arasında yıllık ortalama %8.9 nüfus artışı gerçekleşen Balıkesir il merkezinde sanayi ve hizmet sektörleri ile refah seviyesinde meydana gelen artış ile nüfusun ilerleyen yıllarda daha yüksek hızda artacağı tahmin edilmektedir. Genel bir değerlendirme yapıldığında, İkizcetepeler Baraj Gölü Havzası'nda nüfus ve nüfusun baraj gölü üzerindeki antropojenik baskısı sürekli azalmaktadır. Ancak il merkezi nüfusunun ve dolayısı ile suya olan ihtiyacın sürekli artması baraj gölü üzerindeki kullanım baskısını arttırdığı söylenebilir.



Şekil 53. Baraj Gölü Yakınlarındaki Bayat Kırsal Mahallesi



Şekil 54. Baraj Gölü Çevresindeki Endüstriyel Yem Bitkisi Ekimi Yapılan Tarlalar

Arazi çalışmaları sırasında kırsal mahallelerde gerçekleştirilen mülakatlarda barajın kurulmasından sonra tarım gelirlerinin arttığı ve bazı kırsal mahalleden il merkezine göçün az miktarda azaldığı tespit edilmiştir. Ancak, Selimiye ve İnkaya kırsal mahallelerinin baraj inşaatı nedeniyle yer değiştirmesi halk tarafından olumlu karşılanmamıştır (Şekil 55). Kırsal mahallelerin taşındıkları yere uyum sağlamakta zorlanan halkın bir kısmı il merkezine göç etmiştir. Baraj gölüne yakın kırsal mahallelerde balıkçılık yapılmaktadır. Ancak son yıllarda balıkçılıktan elde edilen

gelirin düşmesi bu faaliyetin kazanç getirmekten çok rekreatif amaçlarla yapılmasına neden olmuştur. Havza içerisinde bir mermer ocağı ve metal endüstrisine bağlı üretim tesisleri dışında antropojenik etki yaratabilecek düzeyde sanayi tesisi bulunmamaktadır. Genel bir değerlendirme yapıldığında; havza içerisinde ekolojik risk yaratabilecek olan en önemli antropojenik faaliyetin tarım olduğu söylenebilir.



Şekil 55. Baraj Yapımı Sırasında 1991 Yılında Yeri Değiştirilen İnkaya Kırsal Mahallesinin 2019 Yılındaki Durumu

5. METALLERİN YARATTIĞI EKOLOJİK RİSK TEHLİKESİ VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Ağır metal terimi, fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 gr/cm^3 ten daha yüksek olan metaller için kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan akademik çalışmalarda ağır metal yerine doğrudan “*metal*” terimi kullanılmaktadır (Brady, vd., 2015; Kükrer, 2018). Doğada başta *Al, As, Cr, Pb, Cd, Cr, Fe, Cu, Ni, Hg ve Zn* olmak üzere 60’tan fazla metal bulunmaktadır (Bakar ve Baba, 2009). Metallerin kaynağı doğal ya da antropojenik olabilir. Doğal kaynaklı metallerin konsantrasyonu genel olarak belirli sınır değerlerini aşmadığı için ekolojik risk ve insan sağlığı üzerinde olumsuzluk yaratacak düzeye ulaşmamaktadır. Ancak antropojenik kaynaklı olan metallerin konsantrasyonu ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenen sınır değerlerini aşmaktadır. Bu duruma mevcut literatürde yer alan bazı çalışmalarda değinilmiştir (Demirezen, 2002; Barlas, Ahabab, vd., 2005; Yılgör, 2009; Bing, Wu, vd., 2013; Kükrer, Erginal, vd., 2015; Kükrer, 2018). Göl havzaları, baraj gölü ve akarsu havzaları, koy ve körfezler, delta ovaları, lagünler, karayolu kenarları vb. alanlarda antropojenik kaynaklı metal birikiminin tespitine yönelik çalışmalar ekolojik risklerin ortaya çıkarılması bakımından önemlidir. Özellikle baraj gölü havzalarında yapılan ekolojik risk çalışmaları insan sağlığı açısından diğer ekosistemlere göre oldukça önem taşımaktadır. Çünkü, metaller 2020 yılı itibarıyla kullanımda olan arıtma teknolojileri ile arıtılamayarak baraj göllerinden su şebekesi ile doğrudan insan bünyesine geçebilecek kadar tehlikelidir. Metallerin insan sağlığına zararlı etkileri tarihte ilk kez maden ocaklarında çalışan işçilerde tespit edilmeye başlanmıştır. Hipokrat tarihte ilk defa *Pb* zehirlenmesine dikkat çekmiştir. Ancak bu rahatsızlık maden ocaklarında ağır şartlarda çalışan kölelerde ortaya çıktığı için toplumsal sınıf ayrımının olduğu dönemlerde çok dikkat çekmemiştir (Kahvecioğlu, vd., 2004). Milattan önceki döneme kadar uzanan Çin belgeleri incelendiğinde *Pb, Ag, Au, Cu* gibi metallerin sağlık sorunlarına yol açtığı ve insan sağlığı ile çevre arasında bir ilişkinin varlığından söz edildiği görülmektedir (Selinus, vd., 2005). Geçmiş çağlarda çevre ve insan sağlığı arasında bir ilişki olduğunun belirlenmesine rağmen, tıbbi bilginin yetersiz olması, elde edilen bulguların öngörü şeklinde kalmasından dolayı metal kaynaklı ortaya çıkan sağlık

sorunlarının çözümüne ilişkin çalışmalar yapılamamıştır. Ancak 16. yüzyıl başlarında hekim Georgius Agricola ve Paracelsus *Ag* ve *Au* metallerine maruz kalan işçilerin akciğer rahatsızlıklarına yakalandıklarını tespit etmiş ve tüm çalışanların metal tozlarına karşı korunması için maske kullanmalarını önermişlerdir (Bilir ve Yıldız, 2004). Kimyager ve hekim olan Paracelsus yaptığı çalışmalarda metallerin toksik özellikli bir zehir olmakla birlikte, aynı zamanda tedavi edici özelliği bulunduğunu tespit etmiştir (Selinus, vd., 2005). Paracelsus tarafından ortaya atılan bu kuram geçerliliğini korumakla birlikte zehir–panzehir kavramlarının ortaya çıkmasında önemli rol oynamıştır.

2000’li yıllarda yapılan tıbbi çalışmalarda metallerin insan vücudunda belirli miktarda bulunmasının çeşitli doku ve organlar için hayati derecede önemli olduğu tespit edilmiştir. Ancak doku ve organlardaki metal miktarında meydana gelen en küçük artış kısa sürede toksik etki yaratmaktadır (Dökmeci, İ. ve Dökmeci A. 2005; Bakar ve Baba, 2009). Metallerin yarattığı sağlık sorunları ileri derecede tanı ve tedavi gerektiren kronik hastalıklar, kanser ya da ölümle sonuçlanan toksikolojik zehirlenme vakaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Metallerden dolayı ortaya çıkan sağlık sorunlarının tedavilerinin zor ve maliyetli olması bu zararlardan korunmaya yönelik çalışmaların tedaviye yönelik çalışmalardan daha başarılı olabileceği fikrini ortaya çıkarmaktadır (Selinus, vd., 2005; Bilir ve Yıldız, 2004).

Sanayi devrimi öncesinde doğal yollarla yayılan metaller sanayi devrimiyle birlikte ortaya çıkan endüstriyel üretim ile öncelikle meslek hastalıklarına neden olarak gündeme gelmiştir (Bakar ve Baba, 2009). Endüstriyel üretim, kentleşme ve nüfusun sürekli artması doğal kaynakların kirlenmesine neden olmuş ve metaller zamanla meslek hastalıklarına yol açan bir zararlı madde olmaktan çok ekolojik risk faktörü haline gelmiştir.

Bakır M.Ö 5.000 yılından bu yana kullanılan bir metal türüdür. Adını ilk bulunduğu yer olan Kıbrıs’ın Latince’sinden alan Bakır ilk kez Mısırlılar tarafından işlenerek M.Ö 3.000 yılında Anadolu’ya getirilmiştir. Bakır otomotiv ve elektrik iletim malzemeleri sanayisi, boru ve vana üretimi, basınçlı sistemler ve her türlü elektronik alet üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sanayi sektörlerinde önemli hammaddeleden birisi olan bakır doğada havaya ve suya karışarak ekolojik sisteme katılmaktadır. Ekolojik sisteme katılan bakırın sadece %1’lik kısmı havada doğal iyon şeklinde kalırken geri kalan kısım su döngüsü yolu ile kara ekosistemlerine dönmekte ve sedimentte depolanmaktadır (Kartal, Güven, vd.,

2009). Bakır doğada çok sayıda bitki ve canlı türünün bünyesinde doğal olarak bulunur ancak eşik değerlerinin geçilmesi durumunda diğer metallerde olduğu gibi toksik etki yaratabilir. Dünya Sağlık Örgütü tarafından açıklanan bakır sınır değeri 2mg/L 'dir (Dökmeci, İ. ve Dökmeci, A. 2005).

Arsenik doğada volkan patlamaları ve litolojik özelliklere bağlı olarak bulunurken cam sanayi, ahşap koruma teknolojileri, pestisit üretimi ve fosil yakıt kullanımına bağlı antropojenik kaynaklar tarafından yayılmaktadır. Arsenik 1980 yılında EPA (*Avrupa Çevre Koruma Ajansı*) tarafından tehlikeli bir hava kirleticisi olarak belirlenerek ekolojik risk sınıfına alınmıştır (Bakar ve Baba, 2009). Arsenik havaya karışarak su döngüsü yolu ile su kaynaklarına girmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) yayınlamış olduğu raporda içme suyunda Arsenik konsantrasyonunun maksimum 10 ug/l düzeyinde olabileceğini açıklamıştır (WHO, 1993). Yüksek konsantrasyona ulaşan Arsenik'in içme suyu şebekesi yolu ile insanlar tarafından tüketilmesi sonucunda böbrek ve karaciğer hasarları, cilt kanseri, görme bozuklukları ve kas felçleri ortaya çıkmaktadır (Dökmeci, İ. ve Dökmeci A. 2005).

Kurşun, kullanılmakta olan en eski metallerden birisidir. Doğada saf halde bulunan kurşun, tarih boyunca su boruları dâhil olmak üzere geniş bir endüstriyel yelpazede kullanılmıştır. Kurşun insan faaliyetleri ile ekolojik sisteme önemli zararlar veren ilk metaldir. Atmosfere metal veya bileşik olarak yayıldığından ve her durumda toksik özellik taşıdığı için çevresel kirlilik ile ekolojik risk yaratma potansiyeli en yüksek metaldir (Kahvecioğlu, vd. 2009). Antik dönemden itibaren özellikle su şebekesi borularında kullanılan kurşunun zararlarının fark edilmesi uzun sürmemiştir. 1920'li yıllarda kurşunun benzine katkı olarak eklenmesi metalin yayılım hızının ve alanının son derece genişlemesine neden olmuştur (Güven, vd. 2009). Birçok ülkede benzine kurşun karıştırılması yasaklanmış ve kurşunsuz benzin kullanımına geçilmiştir. Bu durum, Pb'nin havaya karışarak su döngüsüne katılmasının önüne geçilmesinde önemli katkılar sağlamıştır. Kurşun boya hammaddesi, akü üretimi, böcek ilaçları, kuyumculuk, savunma sanayi ve kozmetik sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır (Bakar ve Baba, 2009). Kurşun en yoğun metallerden birisidir su ve toprağın bünyesine geçerek bezin zinciri yoluyla insanları etkileme potansiyeline sahiptir. Besin zinciri yoluyla kurşun metaline maruz kalan insanlarda anemi, hipertansiyon, böbrek ve bağışıklık sistemi bozuklukları görülmektedir (Kahvecioğlu, vd., 2004).

Civa oda sıcaklığında sıvı halde bulunan, yoğunluğu son derece yüksek bir metaldir. Termometre üretimi, boya ve tarımsal ilaç sanayisi, dış dolgu malzemesi, kâğıt ve pil üretiminde kullanılan civanın suya karışması çok ciddi ekolojik risklerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Civa son derece kolay buharlaşan bir metaldir. Bu nedenle kara ekosistemleri üzerinden kısa sürede buharlaşıp su döngüsüne katılarak uzun mesafelere taşınarak su ekosistemlerine karışabilmektedir. Civa suya karıştığında bakteri ve diğer organizmalar tarafından metil civaya dönüştürülmektedir. Metil civa, normal civaya göre daha yüksek toksik özelliklere sahiptir (Bakar ve Baba, 2009). Civa insan bünyesi üzerinde düzensiz nabız, görme bozukluğu, kas hassasiyeti, halsizlik gibi kronik rahatsızlıklar ortaya çıkarmaktadır. Metil civa doğal ve antropojenik kaynaklı olarak doğada en sık rastlanan civa tipi olmakla birlikte en zararlısı alkilcivadır. Tarım ilacı üretiminde kullanılan alkilciva doğada uzun süre kaybolmayan ve son derece yüksek toksik etkiye sahip bir zehirleyicidir. Bunun en çarpıcı örneği 1970'li yıllarda Irak, Pakistan, Gana ve Guatemala'da ortaya çıkmıştır. Metil ve alkilciva kullanılarak ilaçlanan buğdayları tüketen insanlardan 6.530 kişi hastaneye kaldırılmış, 500 üzerinde insan zehirlenme sonucu hayatını kaybetmiştir (Sienko, 1983; Klaassen, 2009).

Alüminyum yer kabuğunun yaklaşık %8'lik kısmını oluşturmakta ve doğada boksit yatakları şeklinde bulunmaktadır. Boksit'e uygulanan bir dizi kimyasal işlemin ardından saf alüminyum elde edilmektedir (Bakar ve Baba, 2009). Alüminyum boya sanayisi, seramik, kozmetik, inşaat ve tarım ilaçlarında kullanılmaktadır. Doğada boksit yatakları şeklinde yaygın olarak bulunan Alüminyum'un antropojenik kaynaklı yayılmasının engellenmesi diğer metallere göre daha fazla önem taşımaktadır. Çünkü, doğal ortamda zaten risk eşiği değerlerinde bulunan Alüminyum konsantrasyonunun antropojenik etkiler ile artması ekolojik risklerin ortaya çıkmasına neden olacaktır. Alüminyum vucuda genel olarak sindirim sistemi yoluyla girmektedir. Geçmiş dönemlerde sert suların yumşatılması için suya Alüminyum ilave edilmesi söz konusuysa 2000'li yılların başında bu uygulamaya son verilmiştir. Vucutta kemik ve akciğer olmak üzere diğer dokularda depolanan Alüminyum'un saptanan en belirgin etkisi sinir sistemi üzerinde ortaya çıkmıştır. Yapılan tıbbi çalışmalarda Alüminyum ve alzheimer hastalığı arasında anlamlı pozitif ilişkiler tespit edilmiştir (Dökmeci İ, ve Dökmeci A, 2005).

6. BULGULAR VE YORUMLAR

Çalışmanın bu bölümünde; laboratuvarında gerçekleştirilen analiz sonuçları, ekolojik risk indeksleri, mekânsal analizler, arazi çalışmaları ve çok değişkenli istatistiksel analizlerden elde edilen bulgular detaylı şekilde değerlendirilmiştir.

6.1. Organik Karbon'un Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal ve Dikey Dağılışı

Deniz ve tatlı su ekosistemleri dünyadaki en büyük organik madde depolarıdır ve toplam organik karbonun %20'sini depolamaktadır (Siegenthaler ve Sarmiento, 1993). Doğal seviyelerdeki organik karbon konsantrasyonu ekosistem ve canlı yaşamı için zararlı olmazken, evsel ve endüstriyel kaynaklı antropojenik girdiler sulak alan çökellerinde, tarım topraklarında, şehirsal alanlar ve kıyı bölgelerinde ekolojik riske neden olmaktadır (Xue, vd., 2019). Organik kökenli kirleticiler girdikleri sulak alanlardaki çözünmüş oksijeni tüketerek diğer canlıların yaşam imkânlarını kısıtlamakta ve organik madde birikimine neden olmaktadır (Folger, 1974).

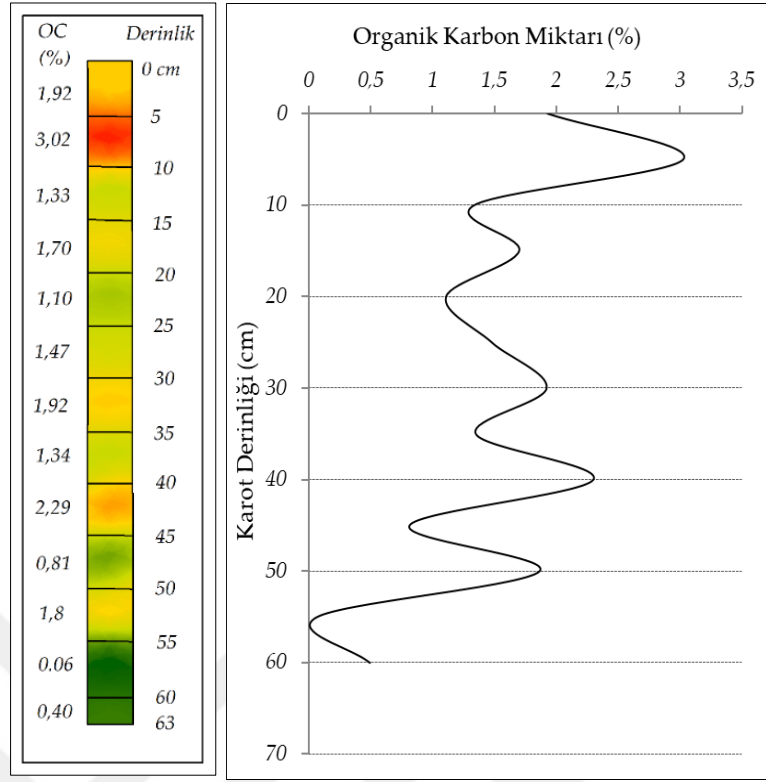
Ekosistemdeki organik madde miktarının tespit edilmesi için kullanılan en önemli metotlardan birisi Walkley Black Titrasyon Yöntemi'dir (Walkley ve Black, 1934; Walkley, 1935; Walkley, 1947). Baraj gölleri yapay sulak alanlar oldukları için yüzölçümleri genel olarak doğal sulak alanlara göre küçüktür. Bu durum baraj gölü çökellerinde organik karbon konsantrasyonunu arttırmaktadır. Büyük göller çoğunlukla oligotrofiktir, bu nedenle organik karbon konsantrasyonu düşüktür. Çünkü, büyük göllerde çökelme hızı küçük göllere göre beş kat daha yavaştır (Turcog, vd., 2002). Sulak alan çökellerinde biriken organik maddeler genellikle otokton ve allohton kaynaklıdır. Otokton kaynaklı organik maddeler sulak alan içerisindeki fitoplanktonlar tarafından üretilirken allohton kaynaklılar havzadaki karasal kökenli bitkiler ve makrofitler tarafından üretilmektedir (Meyers ve Teranes, 2001).

Sulak alanların yakınındaki yerleşmelerden gerçekleştirilen atık su deşarjı organik ve inorganik madde zenginleşmesinin önemli kaynaklarından (Kükrer, vd., 2014). Bunun yanında organik maddeler metal taşınım süreçlerinde etkin rol

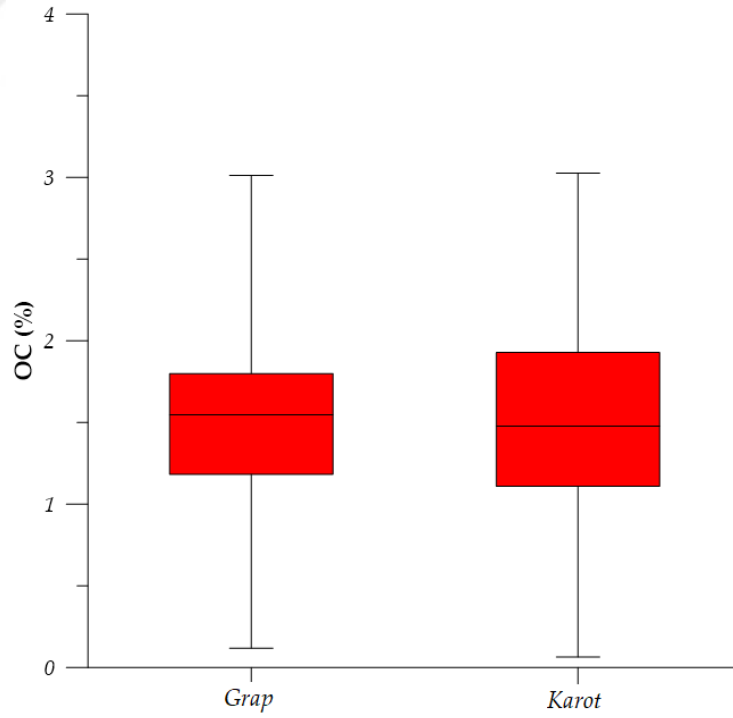
oynamaktadır. Organik maddelere bağlanan metaller havza içerisinden akarsular tarafından taşınarak sulak alanlara deşarj edilmektedir (Zhang, 2016). Doğal su kaynaklarında ortaya çıkan organik kirleticiler ve ekolojik risk tehlikesi ekosistemde yaşayan canlılar ile birlikte besin zinciri yoluyla insanları da tehdit etmektedir. Ancak yapay su kaynakları olan barajlarda yaşanması muhtemel ekolojik risk besin zincirinden çok daha hızlı şekilde su şebekesi yoluyla doğrudan insanları etkileyecek düzeydedir.

Çalışma kapsamında elde edilen bulgulara göre; organik karbon konsantrasyonunun baraj gölü tabanında homojen bir dağılış göstermediği tespit edilmiştir. Organik karbon konsantrasyonunun mekânsal dağılışı incelendiğinde; Çınarlı Dere, Koca Çay ve Kille Çayı ağız ile 11. 13. 24. örnekleme noktalarında en yüksek değer tespit edilmiştir (Şekil 56). Bağırsak Dere ağız ve barajın iç kesimlerinin genelinde düşük organik karbon konsantrasyonu tespit edilmiştir. Mekânsal dağılışa göre organik karbon baraj gölüne havza içerisinden Çınarlı Dere, Koca Çay ve Kille Çayı tarafından taşınmaktadır. Bağırsak Dere'nin düşük seviyede organik karbon deşarj etmesi baraj tabanındaki ortalama organik karbon konsantrasyonunun bir miktar azalmasını etkilemiş olabilir. Organik karbon konsantrasyonunun akarsu ağızlarında yoğunlaşması muhtemel kaynağın karasal kökenli olduğu fikrini desteklemektedir. Akarsu girdisi olmayan örnekleme noktalarındaki yüksek konsantrasyon değerlerinin muhtemel kaynağı bitki ve organizma kalıntılarıdır.

Box Whisker Diyagramı verilerine göre baraj tabanında ortama organik karbon konsantrasyonu %1.5 seviyelerindedir. Akarsu ağızlarında yüksek konsantrasyona ulaşan organik karbon alloktan kökenlidir. Ancak baraj gölünde akarsu girdisi olmayan noktalar olan 11. 13. ve 24. örnekleme noktalarında diğer alanlara göre yüksek organik karbon konsantrasyonu tespit edilmiştir (Şekil 56). Bu durum sahanın eski topografya haritalarının incelenmesi ve arazi çalışmalarında yapılan görüşmeler sonrasında açıklık kazanmıştır. 11. 13. ve 24. örnekleme noktalarının bulunduğu alanda baraj yapılmadan önce Selimiye ve İnkaya kırsal mahalleleri ile kırsal mahallelerin tarım arazisi ve meraları yer almaktadır (Şekil 37). Baraj yapımından sonra sular altında kalan kırsal mahalleler ile bunlara ait mera ve tarım alanlarının organik kalıntılarının bu bölgede organik karbon konsantrasyonunun yüksek çıkmasına neden olduğu tahmin edilmektedir. Akarsu girdisi olmayan noktalardaki organik karbonun muhtemel kaynağının otokton



Şekil 57. Organik Karbon Konsantrasyonunun Karottaki Dikey Dağılışı (Orijinal)



Şekil 58. Organik Karbon (OC) Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

Maksimum organik karbon konsantrasyonuna göre bir karşılaştırma yapıldığında; İkizcetepeler Baraj Gölü'nde tespit edilen organik karbon konsantrasyonu Çıldır ve Tortum Gölü dışındaki bütün göllerden oldukça düşük seviyededir (Fural, Kükrer, vd., 2019). Uzunçayır Barajı 2003 yılında işletmeye açılmış ve 17 yıldır kullanılmaktadır. Buna rağmen Uzunçayır Barajı'nın organik karbon konsantrasyonu İkizcetepeler Baraj Gölünden yüksektir. Bu durum; baraj gölünde ciddi seviyelerde organik madde üretiminin olmadığına, akarsular tarafından havza içerisinden taşınan organik maddelerin kirletici özellik taşımadığını ve baraj gölü genelinde organik kökenli ekolojik risk tehlikesi bulunmadığını göstermektedir.

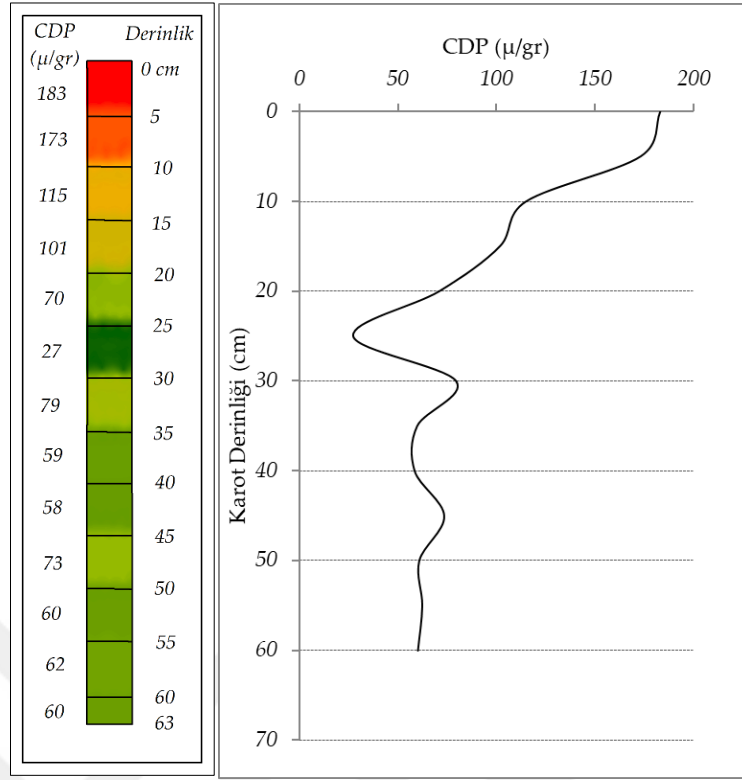
Çizelge 5. Literatürdeki Bazı Çalışmalarda Tespit Edilen Organik Karbon Konsantrasyonu

Lokasyon	OC (%)	Referans
İkizcetepeler B.	0.11 – 3.0	Fural, vd., 2019
Çıldır Gölü	0.15 - 2.5	Kükrer, 2015
Aygır Gölü	0.34 - 13.9	Kükrer, 2018
Aktaş Gölü	0.13 - 9.8	Kükrer, 2017
Tortum Gölü	0.0 - 0.5	Kükrer, 2017
Uzunçayır Barajı	4.2 - 8.3	Kutlu, 2018
Sarbsko Gölü	0.3 -18.5	Wosky, 2011
Caohia Gölü	8 - 25	Jiang vd., 2018
Wujiangdu Gölü	20 - 42	Jiang vd., 2018
Honfong Gölü	15 - 24	Jiang vd., 2018
Biwa Gölü	10.2 – 20	Ishiwatari vd., 2008

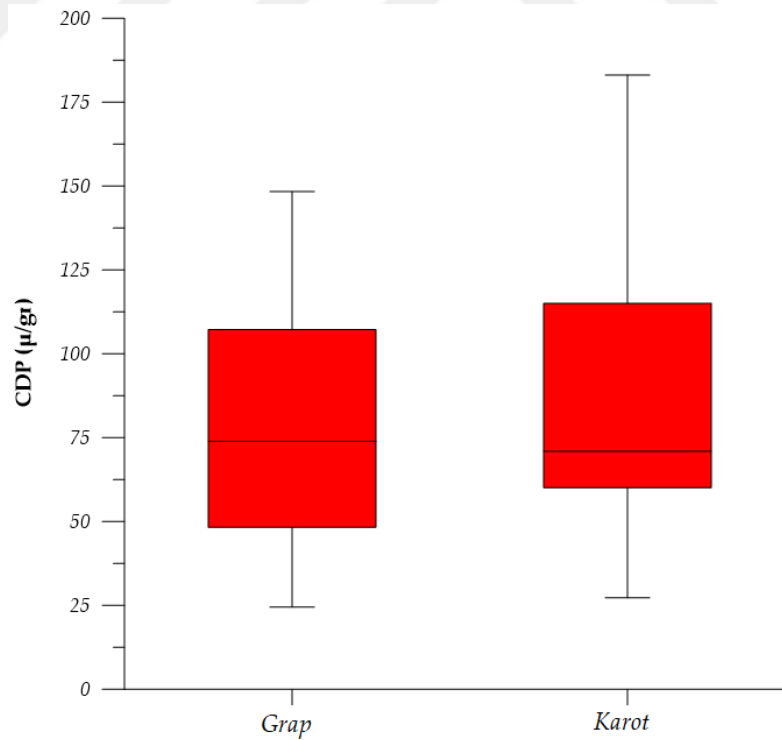
Not: İkizcetepeler Baraj Gölü 1991, Uzunçayır Baraj Gölü 2003 yılında işletilmeye başlanmıştır.

6.2. Klorofil Bozunma Ürünleri'nin Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal ve Dikey Dağılışı

Klorofil bitkilerde bulunan ve fotosentez süreci için son derece gerekli bir pigment olup, bitki hücreesindeki kloroplastın içinde yer almaktadır. Klorofil mürekkep, tıbbi ilaç sanayisi, sabun ve mum üretiminde kullanılan önemli bir hammaddedir (Ergün, 2003). Klorofil pigment özellikleri gereği çevre kirliliği araştırmalarında indikatör olarak kullanıldığı için ekolojik risk araştırmalarında dikkate alınması gereken önemli parametreler arasındadır. Klorofiller metallerin taşınma süreçlerinde etkin rol oynamakla birlikte bazı metaller ile tepkimeye girerek konsantrasyon değişimleri geçirmektedir. CDP konsantrasyonunda en çok azalmaya



Şekil 60. Klorofil Bozunma Ürünlerinin Karottaki Dikey Dağılışı (Orijinal)



Şekil 61. Klorofil Bozunma Ürünlerinin Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

CDP ve Pb konsantrasyonu arasındaki ilişki mekânsal dağılışıta olduğu gibi dikey dağılışıta etkili olmuştur. Çünkü Pb konsantrasyonu karotun 0 – 5 cm diliminde

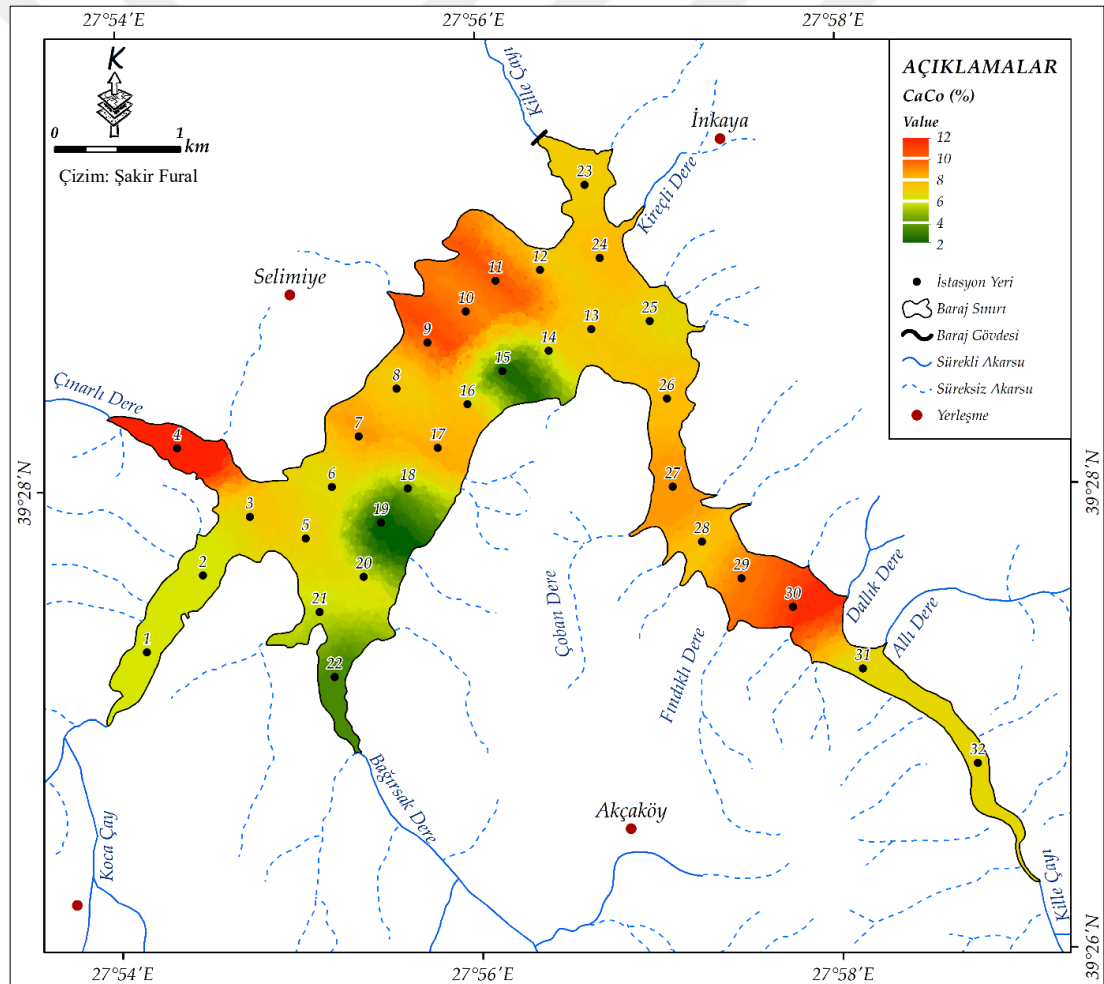
azalma eğilimindedir. CDP yüzey çökellerinde 25 – 150 μg , karot içerisinde 27 – 183 μg arasında değişmiş olup ortalama konsantrasyon seviyesi yüzey çökellerinde 74 μg , karotta 67 μg seviyesindedir (Şekil 61). Organik karbon konsantrasyonunun dikey dağılışı günümüzde azalma eğilimindeyken klorofil bozunma ürünleri konsantrasyonu artış eğilimindedir. Bu durum OC ve CDP'nin muhtemel kaynaklarının zamansal olarak değiştiği ihtimalini ortaya çıkarmaktadır.

6.3. CaCO_3 'ün Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal ve Dikey Dağılışı

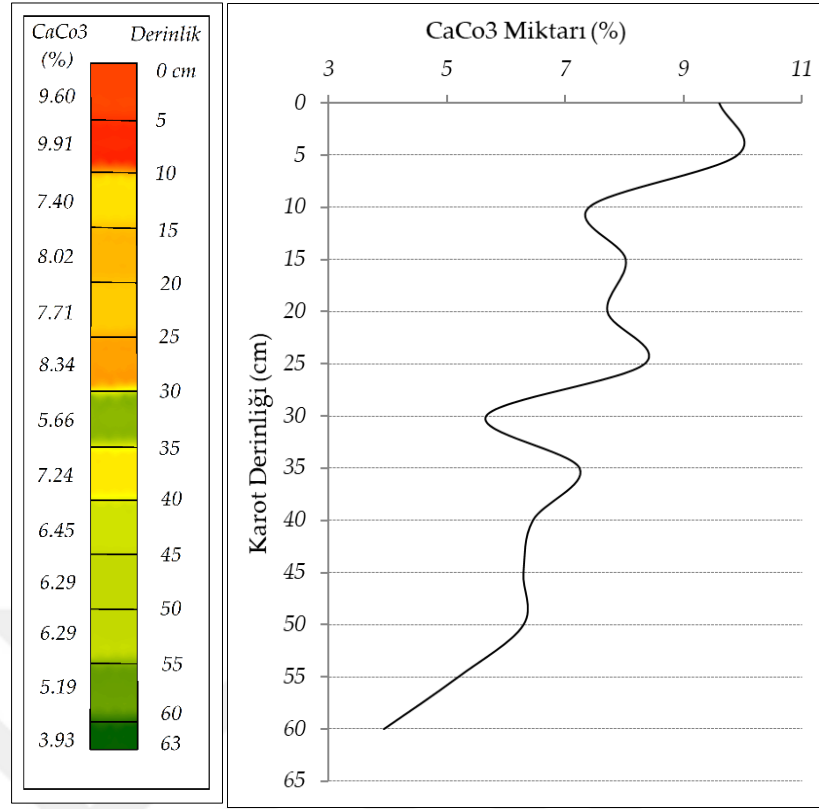
Antropojenik kaynaklı metaller başta CaCO_3 olmak üzere diğer partikül yapıları bağlanıp akarsular tarafından taşınarak sulak alan çökellerinde depolanmaktadır (Liu, vd., 2010). Bu nedenle, metallerin taşınım süreçlerinin tespit edilmesi için kullanılan önemli parametrelerden birisi CaCO_3 konsantrasyonudur. İkizcetepeler Baraj Gölü'nde metal taşınım süreçlerinin belirlenmesi için grap ve karot örneklerinden elde edilen CaCO_3 konsantrasyonunun mekânsal analizi gerçekleştirilmiştir. İkizcetepeler Baraj Gölü tabanında CaCO_3 konsantrasyonu %2 – 12 arasında değişmektedir. En yüksek konsantrasyona (%12) Çınarlı Dere ağzında ulaşan CaCO_3 9. 10. 14. ve 30. örnekleme noktalarında %10 seviyelerine inmektedir. Baraj gölünün orta kesimlerinde %6 – 8 aralığında olan CaCO_3 konsantrasyonu Koca Çay ağzında %4 – 6 aralığında iken, Bağırsak Dere ağzı 19. ve 15. örnekleme noktaları çevresinde %2 – 4 seviyelerine inmektedir (Şekil 62). Mekânsal dağılışı haritaları baraj gölüne Çınarlı Dere ve Kille Çayı tarafından CaCO_3 deşarj edildiğini göstermektedir. Koca Çay ve Bağırsak Dere ağızları ile 19. örnekleme noktası çevresindeki düşük konsantrasyon değerleri bahsi geçen kaynakların çok düşük seviyede CaCO_3 deşarj ettiğini göstermektedir. Havzanın jeoloji haritası incelendiğinde Çınarlı Dere ve Kille Çayı alt havzalarında kireçtaşlarının diğer alt havzalara göre daha geniş alan kapladığı görülmektedir (Şekil 24). Bu nedenle, bahsi geçen akarsuların baraj gölüne deşarj ettiği CaCO_3 'ün önemli kısmı litolojik yani doğal kaynaklıdır.

Karot örneklerinde CaCO_3 konsantrasyonu %3.93 – 9.91 arasında değişmektedir. Karot tabanında en düşük konsantrasyonda olan CaCO_3 küçük dalgalanmalar ile azalma eğilimlerine girmiş ancak genel anlamda kesintilere uğrayarak artmıştır. 5 – 10 cm dilimleri arasında en yüksek konsantrasyona ulaşan CaCO_3 0 – 5 cm dilimlerinde tekrar azalmaya başlamıştır (Şekil 63).

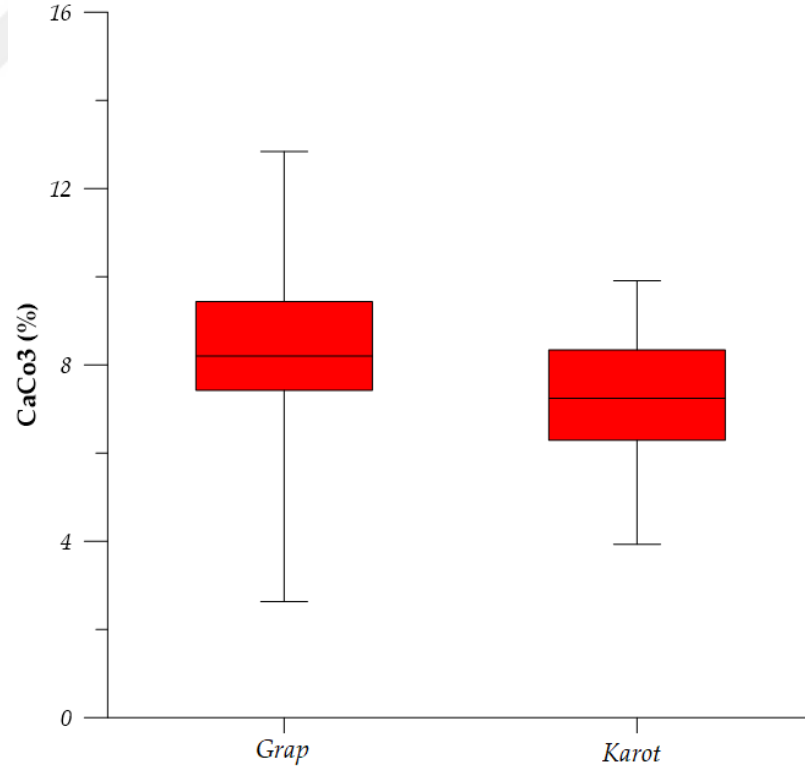
Bu azalma eğiliminde Koca Çay, Bağırsak Dere ve 19. örnekleme noktasında yer alan su kaynağının düşük konsantrasyonda deşarj yapmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Sulak alan çökellerinde organik karbon konsantrasyonu ile CaCO_3 konsantrasyonu arasında ters orantı beklenir. Ancak baraj gölü tabanında organik karbon ve CaCO_3 konsantrasyonunun dikey dağılışı günümüzde paralel olarak azalma eğilimindedir. Bu durum CaCO_3 'ün kaynağının sıcak mevsimlerde baraj gölünde gerçekleşen buharlaşma sonucunda meydana gelen çökeltme değil, havzanın litolojik özelliklerine bağlı olarak akarsular tarafından taşınma olduğu fikrini desteklemektedir. Box Whisker Diyagramı verilerine göre baraj gölü tabanında ortalama CaCO_3 konsantrasyonu yüzey çökellerinde %8, karotta ise %7 seviyelerindedir (Şekil 64).



Şekil 62. CaCO_3 'ün Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı



Şekil 63. CaCO₃'ün Karottaki Dikey Dağılışı (Orijinal)



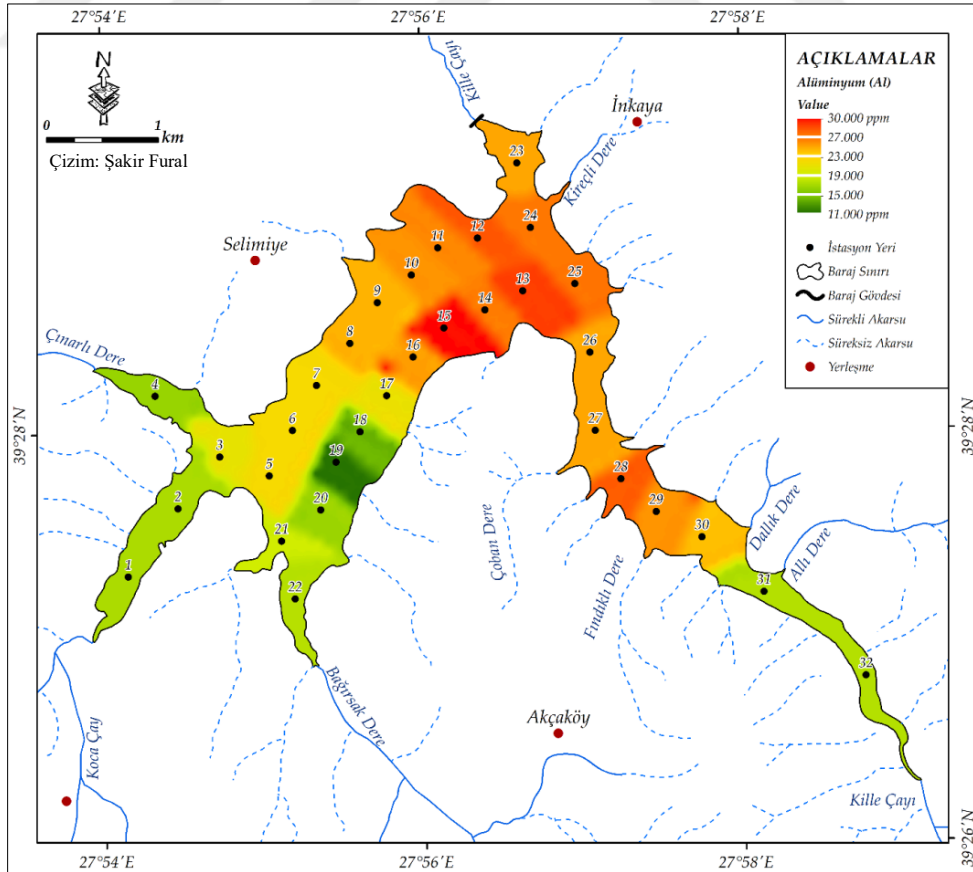
Şekil 64. CaCO₃'ün Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

6.4. Metallerin Mekânsal ve Dikey Dağılışları

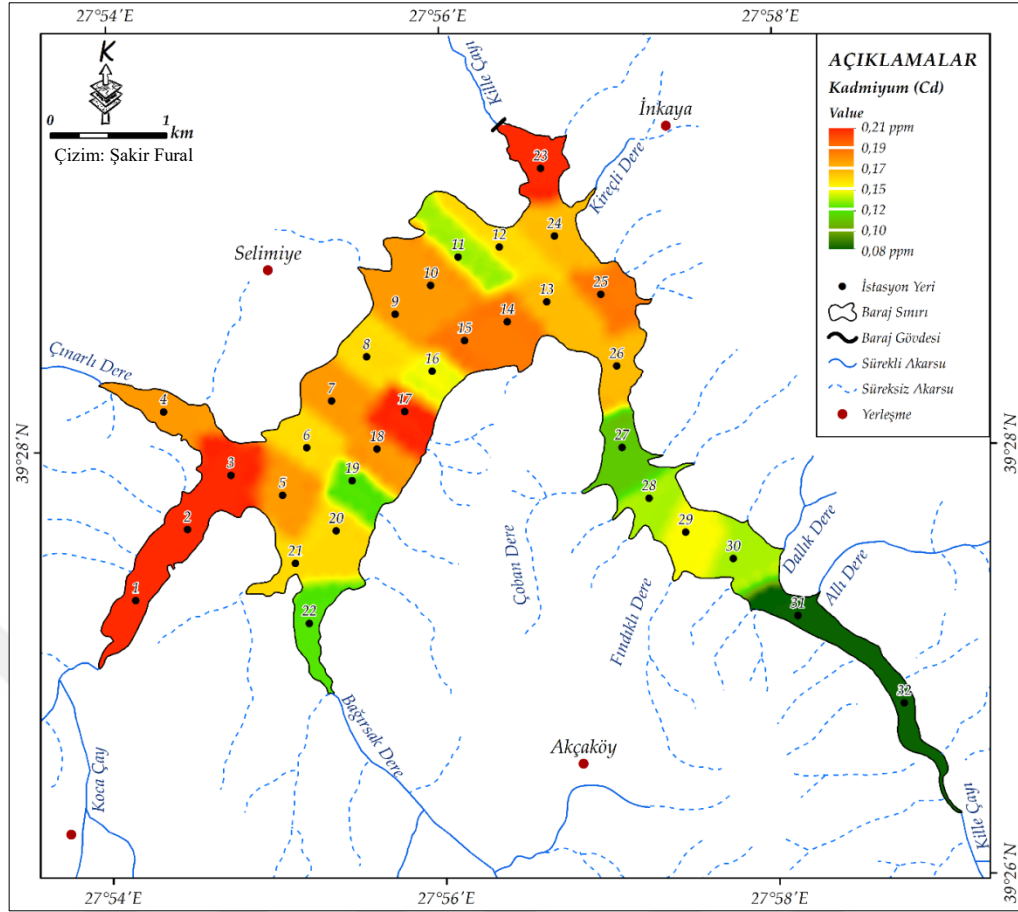
Çalışmanın bu bölümünde, metallerin baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı ve karottaki dikey dağılışı incelenmiştir. Metallerin ham dağılışıları (*ekolojik risk indisi uygulanmamış konsantrasyon değerleri*) tek başına kirlilik ölçütü değildir. Ancak metal kaynaklarının alt havza ölçeğinde araştırılması için mekânsal dağılışı haritaları ve zamansal değişimin tespit edilmesi için karottaki dikey dağılışı incelenmesi önemlidir. Çalışma kapsamında tespit edilen metal konsantrasyonları uluslararası kuruluşlar tarafından kabul edilen sınır değerler ve mevcut literatürdeki diğer barajlar ile karşılaştırılmıştır.

6.4.1. Metallerin Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı

Baraj gölü tabanında *11.000 – 30.000 ppm* aralığında yayılan Al Kille Çayı ağzı ve baraj gövdesi yakınlarındaki örnekleme noktalarında maksimum konsantrasyonda tespit edilmiştir. Çınarlı Dere, Koca Çay ve Bağırsak Dere ağzında düşük konsantrasyon tespit edilmesi Al'nin büyük bir kısmının Kille Çayı tarafından havza içerisindeki karasal kaynaklardan taşındığını göstermektedir (Şekil 65).



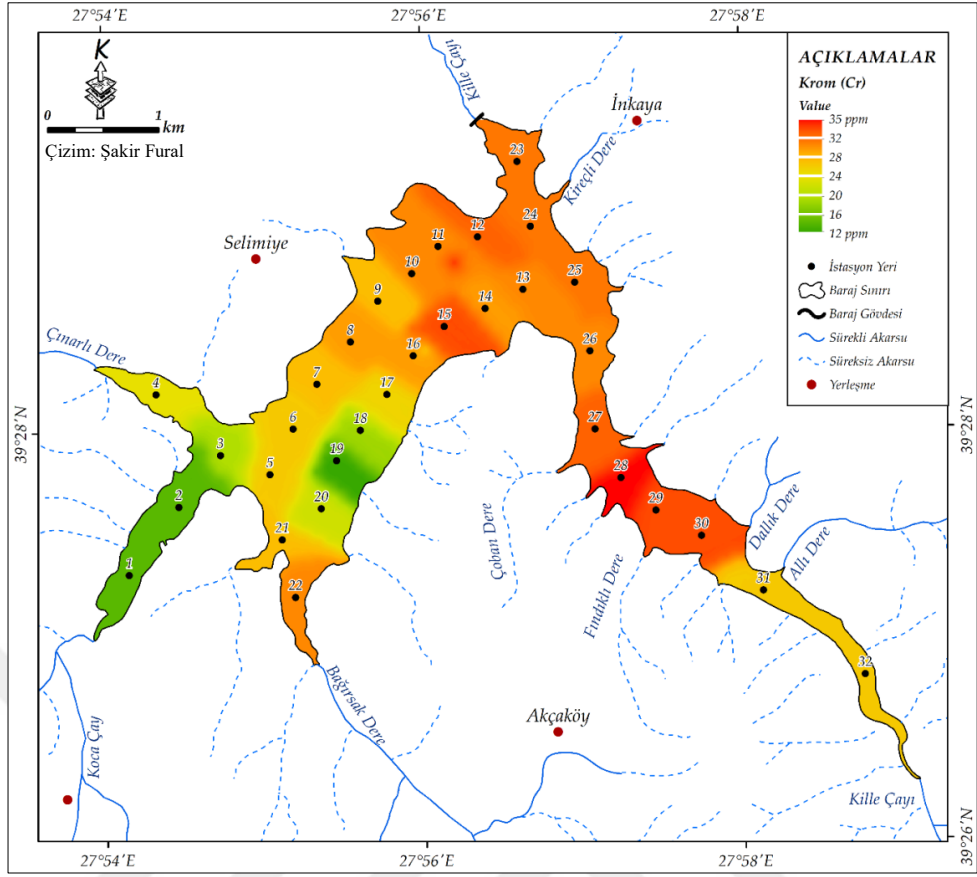
Şekil 65. Alüminyum'un (Al) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı



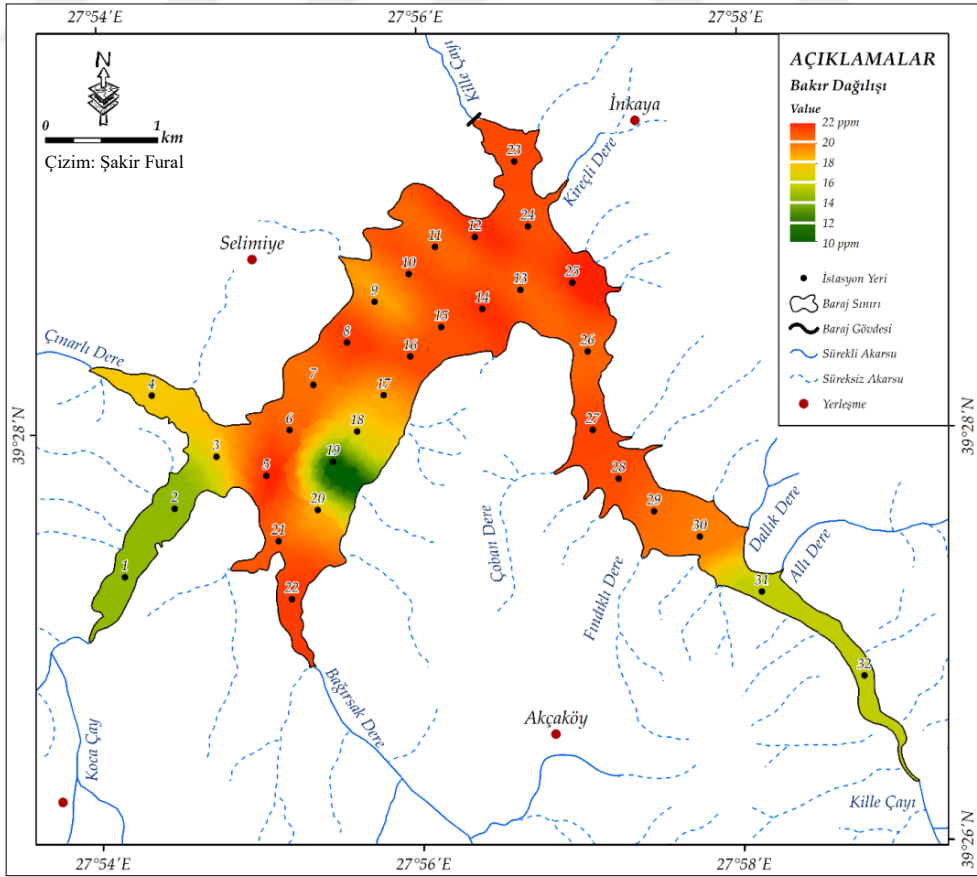
Şekil 67. Kadmiyum'un (Cd) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı

Baraj gölü tabanında 12 – 35 ppm aralığında tespit edilen Cr; en yüksek konsantrasyona Kille Çayı ağzı, baraj gölünün iç kesimleri ve Bağırşak Dere ağzındaki örnekleme noktalarında ulaşmıştır. Çınarlı Dere ağzı ve 17. örnekleme noktası yakınlarında 28 – 32 ppm aralığında olan Cr için en düşük konsantrasyon Koca Çay ağzı ve 19. örnekleme noktasında tespit edilmiştir. Mekânsal dağılışı haritaları incelendiğinde Kille Çayı, Bağırşak Dere ve Çınarlı Dere'nin baraj gölüne Cr deşarj ettiği tespit edilmiştir (Şekil 68).

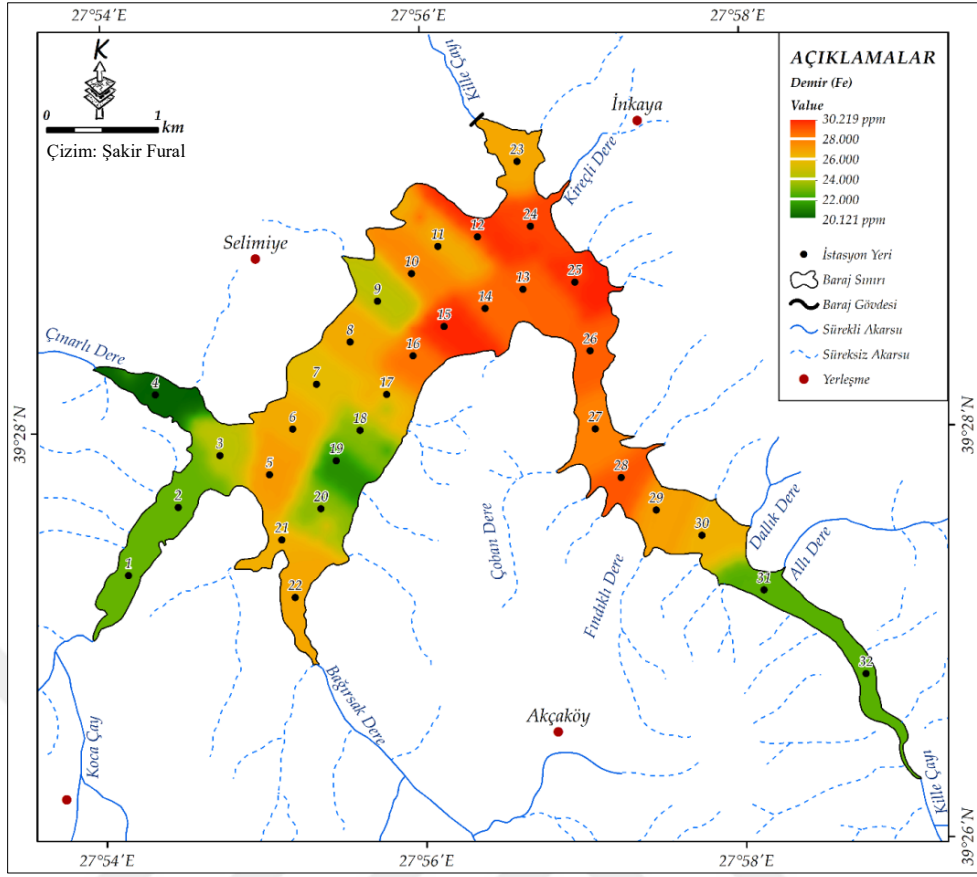
Cu, baraj gölü tabanında 10 – 22 ppm aralığında olup Kille Çayı ve Bağırşak Dere ağzındaki örnekleme noktaları ile baraj gölünün iç kesimlerinde en yüksek konsantrasyona ulaşmaktadır. Çınarlı Dere ağzındaki örnekleme noktalarında azalmaya başlayan Cu konsantrasyonu en düşük değere 19. örnekleme noktasında ve Koca Çay ağzında inmektedir. Bu durum Koca Çay dışında kalan bütün akarsuların baraj gölüne Cu deşarj ettiğini göstermektedir (Şekil 69).



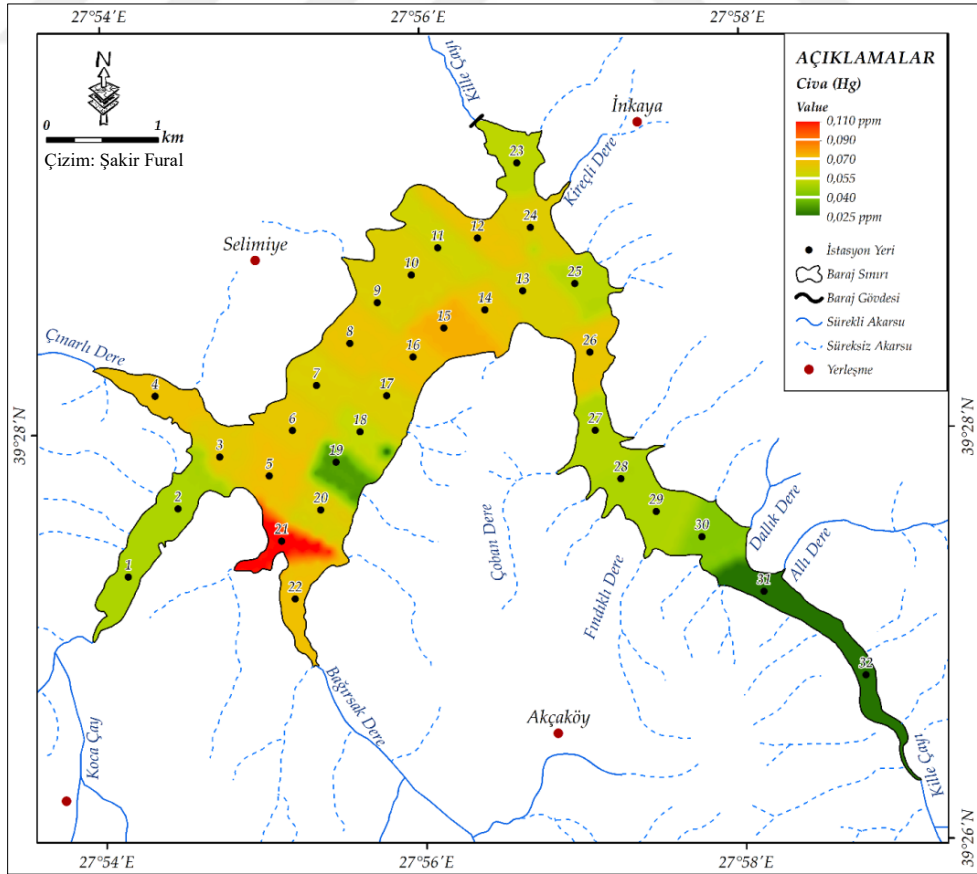
Şekil 68. Krom'un (Cr) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı



Şekil 69. Bakır'ın (Cu) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı



Şekil 70. Demir'in (Fe) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı

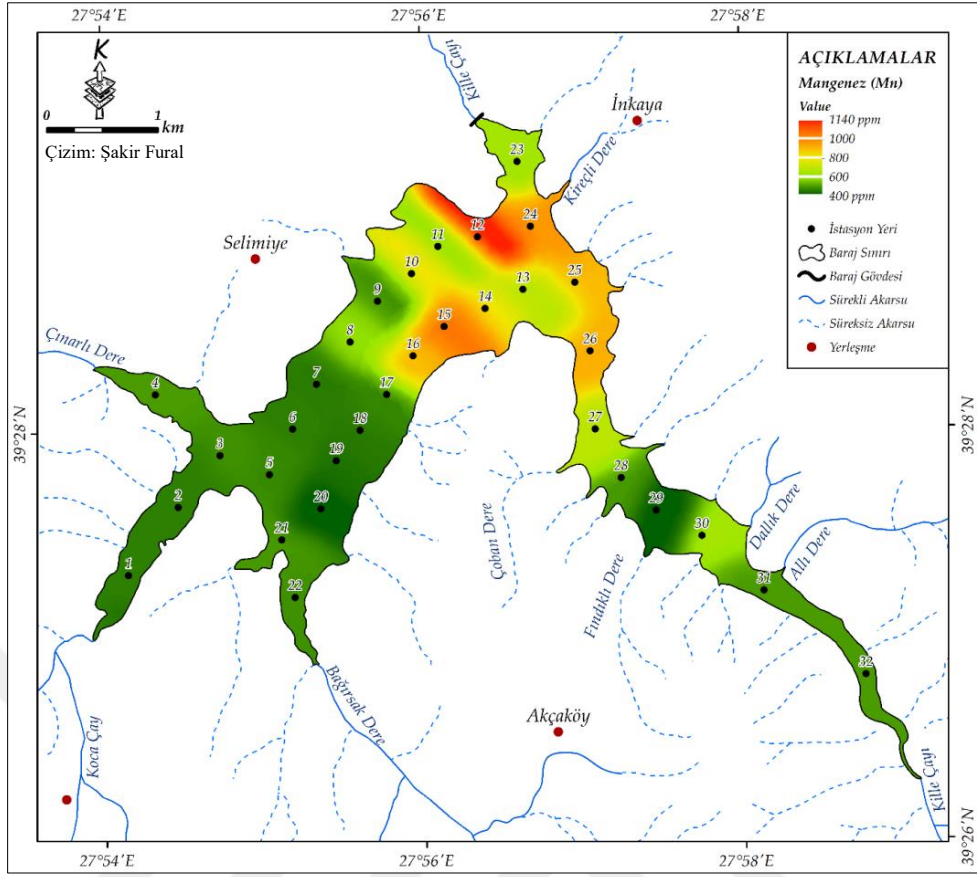


Şekil 71. Cıva'nın (Hg) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı

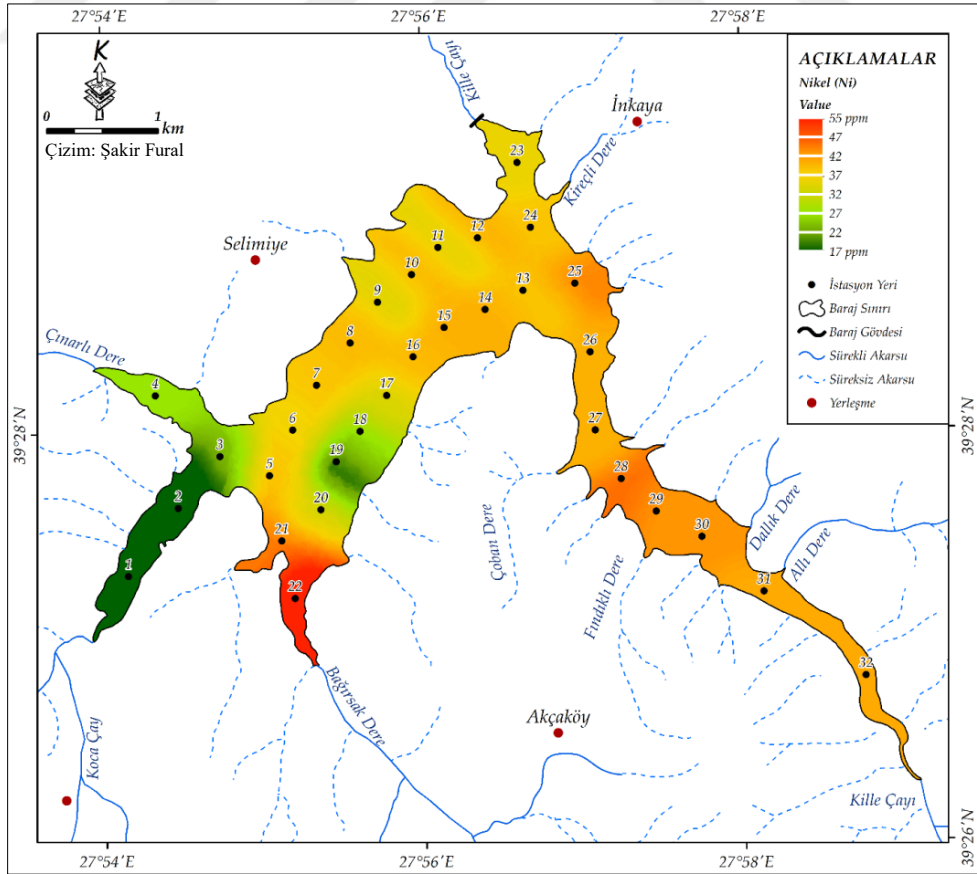
Fe, tıpkı Al gibi yer kabuğunu oluşturan temel elementlerden birisi olduğu için baraj gölü tabanında diğer metallere göre oldukça yüksek konsantrasyonda tespit edilmiştir. Fe, baraj gölü tabanında 20.121 – 30.219 ppm aralığında tespit edilmiş, en yüksek konsantrasyona Kille Çayı ağzında yer alan örnekleme noktalarında ulaşmıştır. Bağırsak Dere ağzı ve baraj gölünün iç kesimlerindeki örnekleme noktalarında 26.000 – 28.000 ppm seviyesinde olan Fe, Çınarlı Dere ve Koca Çay ağzı ile 19. örnekleme noktası çevresinde en düşük konsantrasyona inmektedir. Bu durum Fe'nin baraj gölüne en fazla Kille Çayı ve Bağırsak Dere tarafından deşarj edildiğini göstermektedir (Şekil 70).

Hg, baraj gölü tabanında 0.025 ppm – 0.110 ppm aralığında ölçülmüş olup en yüksek konsantrasyon mevsimlik akarsu ağzında bulunan 21. örnekleme noktasında tespit edilmiştir. Baraj gölünün iç kesimlerinde 0.070 ppm düzeylerinde olan Hg konsantrasyonu en düşük seviyeye Kille Çayı ağzı, 19. örnekleme noktası çevresi ve Koca Çay ağzında inmektedir (Şekil 71). 21. örnekleme noktasında tespit edilen Hg konsantrasyonunun doğrulanması ve ardaan değerlerin teyit edilmesi için örnekleme noktası yakınında karadan anakaya örnekleri alınmıştır. Anakaya örneklerine yapılan metal analizlerinde, Hg konsantrasyonu 0.110 ppm olarak tespit edilmiştir. Çökel ve ana kayada aynı miktarda Hg konsantrasyonu tespit edilmesi bölgenin litolojik özelliklerine bağlanmıştır.

Mn, baraj gölü tabanında 400 – 1.140 ppm aralığında tespit edilmiş olup en yüksek konsantrasyona 12. örnekleme noktasında ulaşmıştır. Diğer metallere göre karmaşık bir mekânsal dağılışa sahip olan Mn, bütün ana akarsu ağızlarında en düşük seviyede ölçülmüştür. Ancak İnkaya kırsal mahallesi yakınlarından kaynağını alan Kireçli Dere ve çevresindeki mevsimlik yan kolların ağız kısımlarındaki örnekleme noktalarında Mn yüksek konsantrasyonda ölçülmüştür (Şekil 72). Bu durum, bahsi geçen akarsuların baraj gölüne Mn deşarj ettiğini göstermektedir. Kısa boylu ve oldukça az yoğunlukta drenaj ağına sahip olan akarsuların bu derece yüksek konsantrasyonda Mn deşarj etmesi bahsi geçen sahada doğal ya da antropojenik kökenli Mn kaynağının varlığına işaret etmektedir. Ancak yapılan arazi çalışmalarında bölgede antropojenik etki yaratabilecek olan Mn kaynağı tespit edilmemiştir. Bu durum Mn'nin litolojik kökenli olma ihtimalini yükseltmektedir. Çünkü Mn, Al ve Fe gibi doğada yüksek konsantrasyona ulaşabilen bir metal olup yer kabuğunun ana bileşenleri arasındadır.



Şekil 72. Manganez'in (Mn) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı

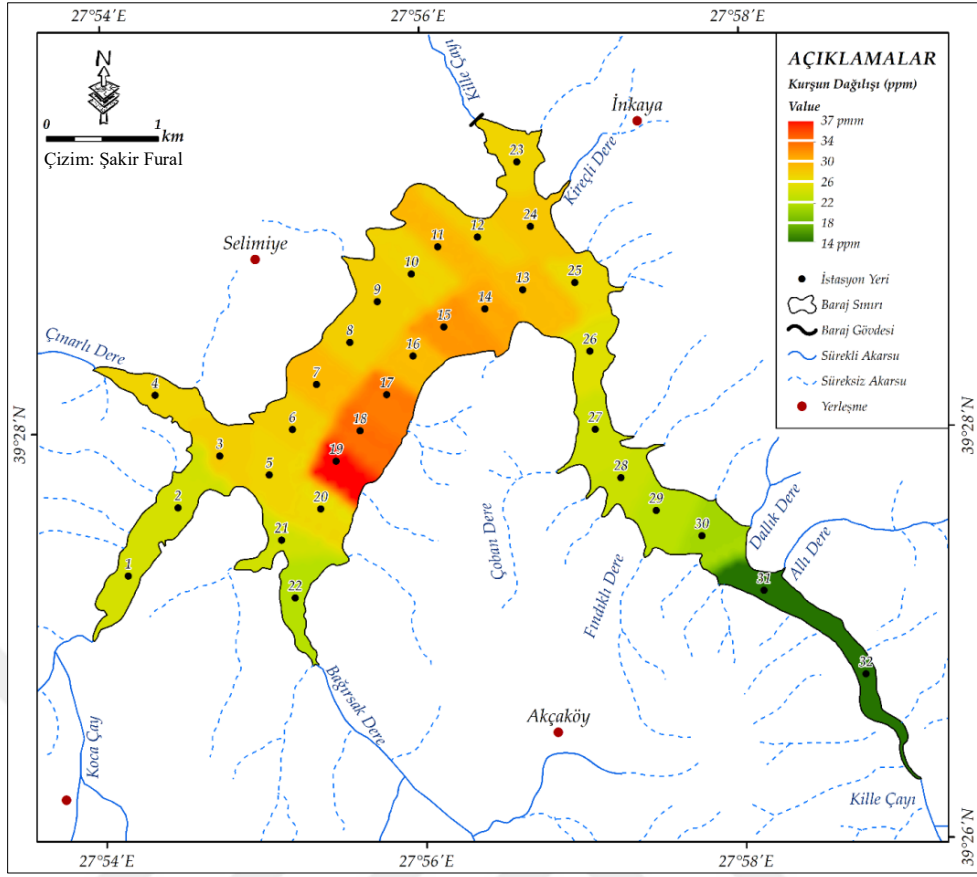


Şekil 73. Nikel 'in (Ni) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı

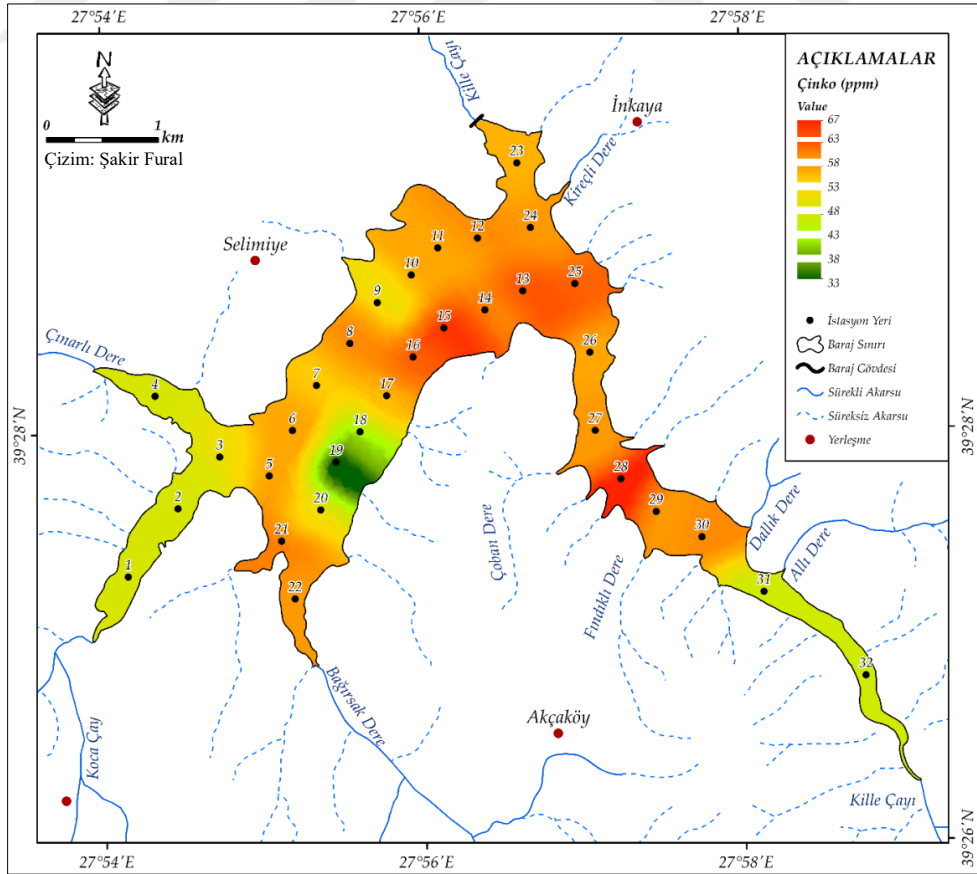
Ni, baraj gölü tabanında 17 – 55 ppm aralığında tespit edilmiştir. En yüksek konsantrasyona Bağırsak Dere ağzında ulaşan Ni, Kille Çayı ağzı ve barajın iç kesimlerinde yer alan örnekleme noktalarında 37 – 47 ppm arasında tespit edilmiştir. Koca Çay ve Çınarlı Dere ağzı ile 19. örnekleme noktasında en düşük konsantrasyon (17 ppm) tespit edilmiştir. Mekânsal dağılış haritaları incelendiğinde Bağırsak Dere ve Kille Çayı'nın baraj gölüne Ni deşarj ettiği görülmektedir. 19. örnekleme noktası ile Koca Çay ve Çınarlı Dere ağzında ölçülen düşük konsantrasyon belirtilen akarsular ve su kaynağının baraja Ni deşarj etmediğini göstermektedir (Şekil 73).

Pb, baraj gölü tabanında 14 – 37 ppm arasında değişmekte olup en yüksek konsantrasyon su kaynağı bulunan 19. örnekleme noktası ve yakın çevresinde tespit edilmiştir. Koca Çay ve Çınarlı Dere ağzı ile iç kesimlerde 22 – 30 ppm arasında konsantrasyona ulaşan Pb için en düşük değer, Kille Çayı ağzı ile Bağırsak Dere ağzında yer alan örnekleme noktalarında tespit edilmiştir. Bu durum; baraj gölü tabanında bulunan su kaynağının Pb deşarj ettiğini, Çınarlı Dere ve Koca Çay'ın su kaynağından daha az konsantrasyonda Pb taşıdığını, Kille Çayı ve Koca Çay'ın Pb deşarj etmediğini göstermektedir (Şekil 74).

Zn, baraj gölü tabanında 33 – 67 ppm aralığında ölçülmüş, en yüksek konsantrasyon Bağırsak Dere ve Kille Çayı ağzındaki örnekleme noktaları ile baraj gölünün iç kesimlerinde tespit edilmiştir. Çınarlı Dere ve Koça Çay ağzında 48 – 53 ppm arasında konsantrasyona ulaşan Zn, en düşük konsantrasyona 19. örnekleme noktasında inmektedir. Mekânsal dağılış haritaları incelendiğinde Kille Çayı ve Bağırsak Dere başta olmak üzere, Koca Çay ve Çınarlı Dere'nin baraj gölüne Zn deşarj ettiği tespit edilmiştir (Şekil 75).



Şekil 74. Kurşun'un (Pb) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı

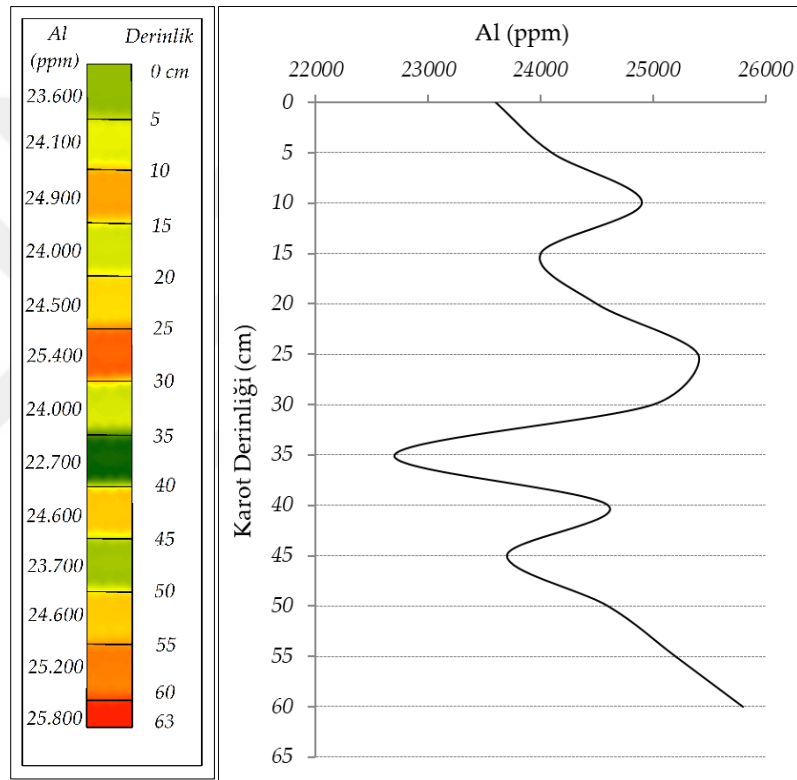


Şekil 75. Çinko'nun (Zn) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı

6.4.2. Metallerin Baraj Gölü Tabanındaki Dikey Dağılışı

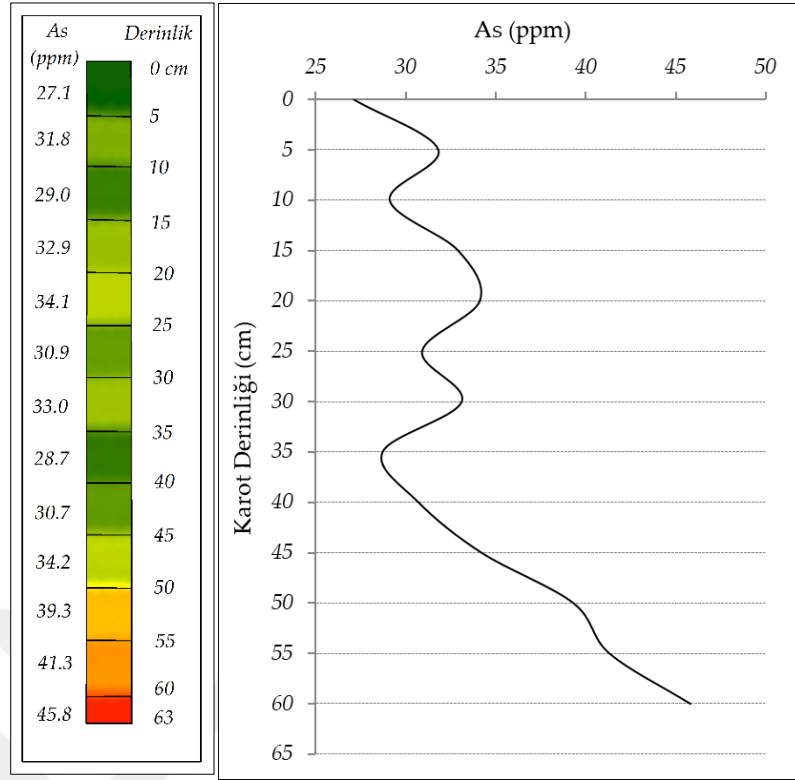
Metallerin karot içerisindeki dikey dağılışı, konsantrasyonun zamansal değişimi ve ekolojik risk indekslerinde kullanılan ardalara değerlerin tespit edilmesi için önemlidir. Çalışmanın bu bölümünde metallerin karot içerisindeki konsantrasyon değişimleri ve dikey dağılışı incelenmiştir.

Al'nin karot içerisindeki dikey dağılışı 22.700 – 25.800 ppm aralığında tespit edilmiştir. Karotun 60 – 63 cm diliminde en yüksek konsantrasyona ulaşan Al 35 – 40 cm aralığında en düşük konsantrasyona inmiştir. Ardından ani bir artış ile 25.000 ppm sınırını geçen Al 0 – 5 cm diliminde azalma eğilimine girmiştir (Şekil 76).



Şekil 76. Al'nin Karottaki Dikey Dağılışı (Orijinal)

Karot içerisinde 45.8 – 27.1 ppm aralığında tespit edilen As, en yüksek konsantrasyona 60 – 63 cm aralığında ulaşmıştır. Karotun en dip noktasından 35 – 40 cm dilimine kadar azalma eğiliminde olan As, belirtilen dilimden sonra dalgalanmalar şeklinde artıp azalarak 0 – 5 cm diliminde en düşük konsantrasyona inmiştir (Şekil 77). Bu durum, As'nin baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı ile uyushmaktadır. Mekansal dağılışı haritasında akarsu ağızlarında As konsantrasyonunun düşük olması, dikey dağılışı azalma eğilimine geçmesinde etkili olan faktörler arasında olabilir. (Şekil 66).

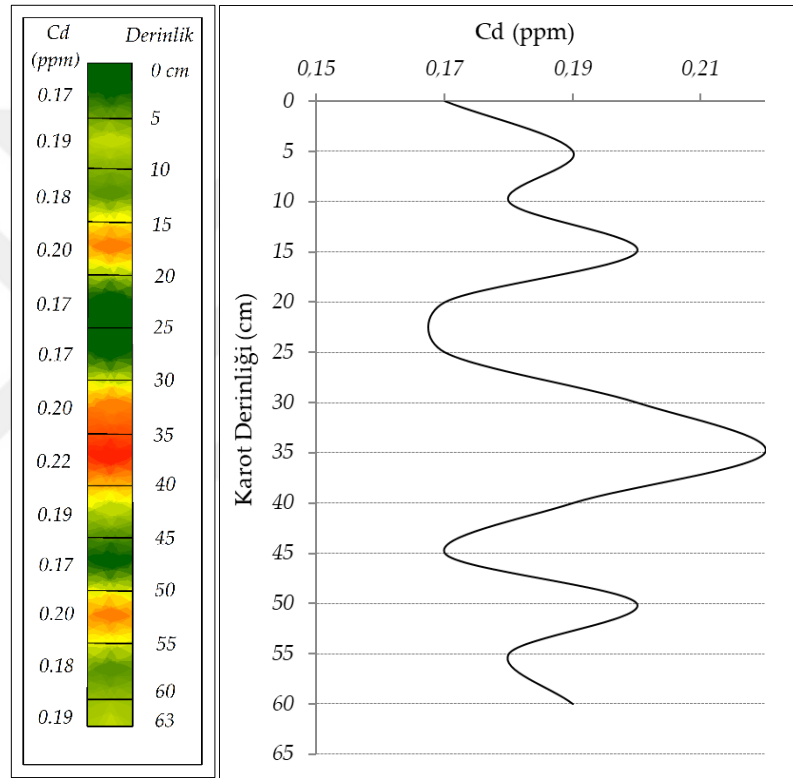


Şekil 77. As'nin Karottaki Dikey Dağılışı (Orijinal)

Karot içerisinde $0.17 - 0.22 \text{ ppm}$ aralığında tespit edilen Cd konsantrasyonu oldukça dalgalı bir dikey dağılışıyla, 35 – 40 cm aralığında hızla artmış ve en yüksek konsantrasyona 25 – 30 cm dilimleri arasında ulaşmıştır. Dalgalanmalar şeklinde artıp azalan Cd konsantrasyonu 0 – 5 cm diliminde azalma eğilimindedir (Şekil 78). Cd'nin baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı incelendiğinde; Koca Çay ve Çınarlı Dere'nin baraj gölüne Cd deşarj ettiği görülmektedir. Ancak, Kille Çayı ve Bağirsak Dere'nin Cd deşarj etmeyerek baraj gölü tabanındaki metal konsantrasyonu düşürdüğü ve 0 – 5 cm dilimindeki azalma eğilimine geçmesinde etkili olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 67).

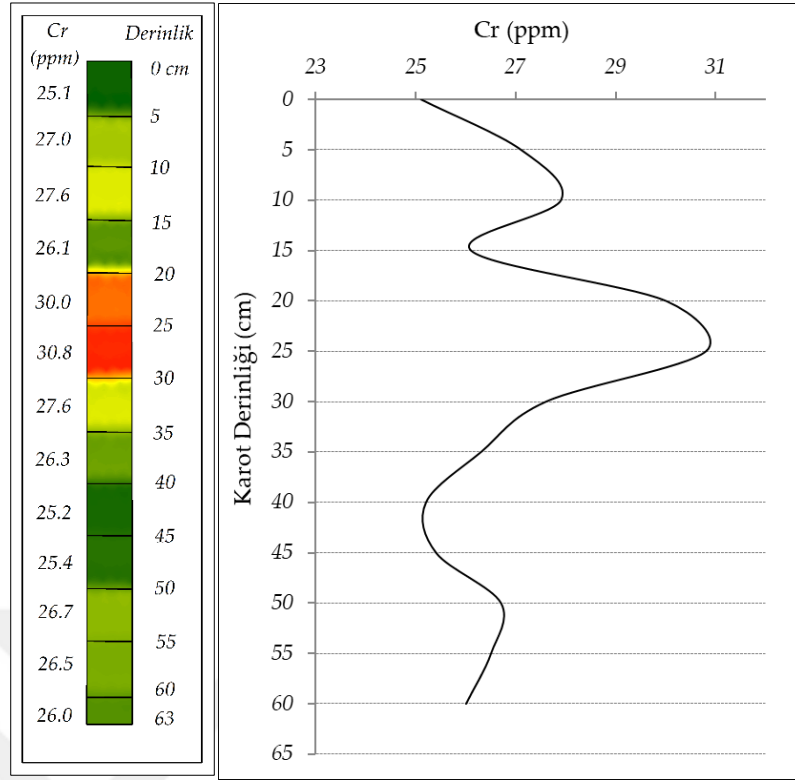
Cr'nin karot içerisindeki dikey dağılışı $25.1 - 30.8 \text{ ppm}$ arasında değişmektedir. Karot tabanında en düşük değere yakın olan Cr konsantrasyonu, 35 – 40 cm dilimlerinde artmaya başlayarak, 20 – 25 cm dilimleri arasında en yüksek konsantrasyona ulaşmıştır. Sonrasında küçük dalgalanmalar ile artıp azalan Cr, 0 – 5 cm diliminde azalma eğilimine girmiştir (Şekil 79). Cr'nin baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı incelendiğinde; dikey dağılıştaki azalma eğiliminin gerçekleşmesinde Koca Çay ve Çınarlı Dere ile 19. örnekleme noktasındaki kaynağın baraj gölüne Cr deşarj etmeyerek genel konsantrasyonun azalmasına neden olduğu düşünülmektedir (Şekil 68).

Cu konsantrasyonu karot içerisinde 17.7 – 21.1 ppm aralığında değişmekte olup, karotun taban seviyesinde düşük konsantrasyondayken 35 – 40 cm dilimine kadar dalgalanmalar şeklinde artıp azalmıştır. Karotun 30 – 35 cm diliminden itibaren aniden artan Cu konsantrasyonu, 15 – 20 cm dilimine kadar artışa devam etmiştir. Sonrasında küçük bir azalma gösteren Cu konsantrasyonu, 0 – 5 cm diliminde tekrar artış eğilimine geçmiştir (Şekil 80). Mekânsal dağılış haritaları incelendiğinde; Koca Çay ve 19. örnekleme noktasındaki su kaynağı dışındaki bütün akarsuların baraj gölüne Cu deşarj ettiği tespit edilmiştir. Bu durum Cu konsantrasyonunun artış eğilimine geçmesine neden olmuş olabilir (Şekil 69).

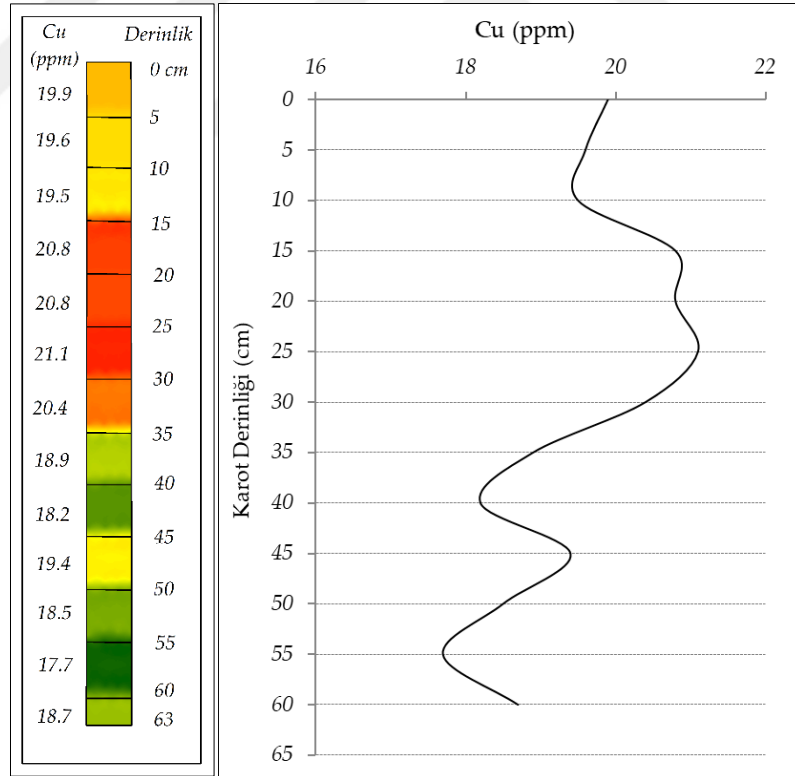


Şekil 78. Cd'nin Karottaki Dikey Dağılışı (Orijinal)

Fe, karot içerisinde 26.900 – 30.100 ppm aralığında ölçülmüştür. Fe konsantrasyonunun diğer metallere göre oldukça yüksek konsantrasyona çıkmasının sebebi, daha önce belirtildiği gibi yer kabuğunun ana bileşenlerinden birisinin Fe olmasından kaynaklanmaktadır. Karotun tabanında en yüksek konsantrasyonda olan Fe 0–5 cm dilimine kadar küçük dalgalanmalar ile artış azalışlar göstermiş, sonrasında tekrar artış eğilimine geçmiştir (Şekil 81). Fe'nin baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı incelendiğinde; Kille Çayı ve Bağırsak Dere'nin baraj gölüne Fe deşarj ettiği ve 0–5 cm dilimindeki artış eğiliminin bundan kaynaklandığı görülmektedir (Şekil 70).



Şekil 79. Cr'nin Karottaki Dikey Dağılışı (Orijinal)



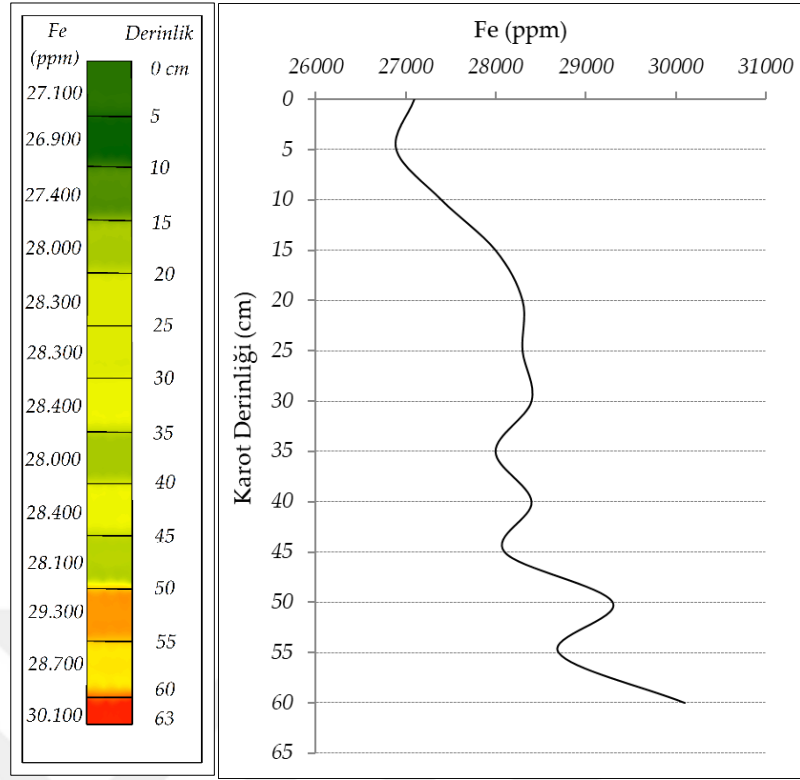
Şekil 80. Cu'nun Karottaki Dikey Dağılışı (Orijinal)

Hg, karotta $0.064 - 0.087$ ppm aralığında ölçülmüştür. Karot tabanından 20–25 cm dilimlerine kadar dalgalanmalar şeklinde artıp azalan Hg konsantrasyonu 10 – 15 cm diliminde hızlı şekilde artmıştır. 5–10 cm diliminde azalan Hg konsantrasyonu, 0 - 5 cm diliminde tekrar artış eğilimine girmiştir (Şekil 82). Mekânsal dağılış haritaları incelendiğinde; Çınarlı Dere ve Bağırsak Dere'nin baraja Hg deşarjı gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Bağırsak Dere'nin yanındaki mevsimlik akarsular tarafından litolojik kaynaklardan deşarj edilen Hg barajdaki ortalama konsantrasyonun artmasında etkili olmuştur (Şekil 71).

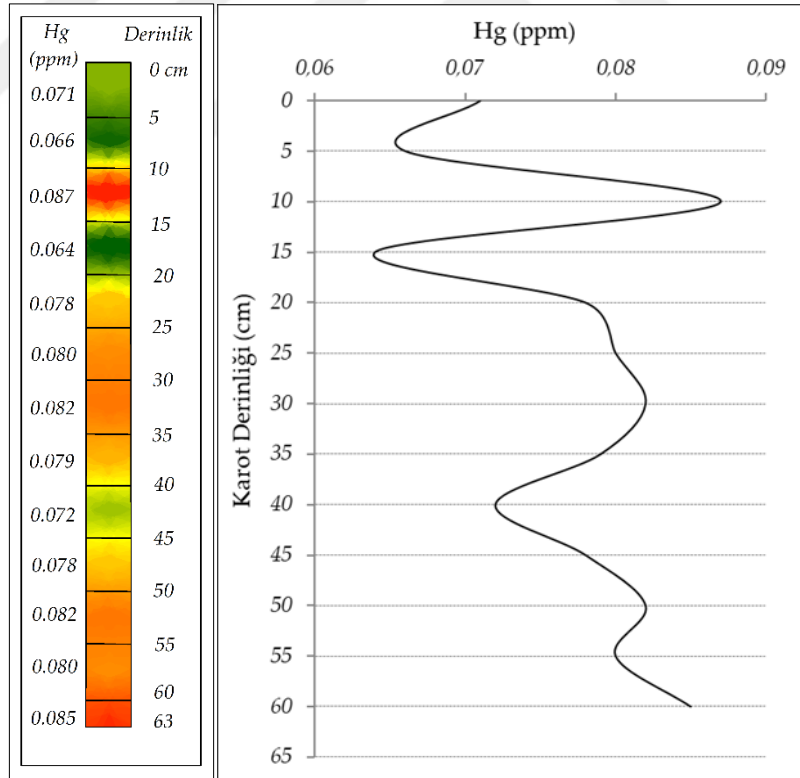
Mn, karotta $560 - 981$ ppm aralığında tespit edilmiş ve en yüksek konsantrasyona taban seviyesinde ulaşmıştır. Karot tabanından 20 – 25 cm dilimlerine kadar dalgalanmalar şeklinde artıp azalan Mn konsantrasyonu, 5 – 10 cm dilimleri arasında azalmış ancak karot yüzeyinde tekrar artış eğilimine girmiştir (Şekil 83). Mn konsantrasyonunun 0 - 5 cm diliminde artış eğilimine girmesi mekânsal dağılış haritalarında görüldüğü gibi, İnkaya kırsal mahallesi yakınlarından kaynağını alan Kireçli Dere'nin baraj gölüne metal deşarj etmesi ile açıklanmaktadır (Şekil 72).

Ni, karot içerisinde $34.6 - 40.4$ ppm aralığında tespit edilmiştir. Karotun taban seviyesinden 25 – 30 cm dilimine kadar küçük miktarlarda artıp azalan Ni konsantrasyonu, 20 – 25 cm dilimleri arasında en yüksek değere ulaşmıştır. Bahsi geçen seviyeden 5 – 10 cm dilimlerine kadar düzenli bir azalma gösteren Ni konsantrasyonu, 0 - 5 cm diliminde tekrar artışa geçmiştir (Şekil 84). Ni'nin baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı incelendiğinde; Kille Çayı ve Bağırsak Dere'nin baraj gölüne Ni deşarj ettiği ve bu durumun 0 - 5 cm diliminde konsantrasyon artışına neden olduğu düşünülmektedir (Şekil 73).

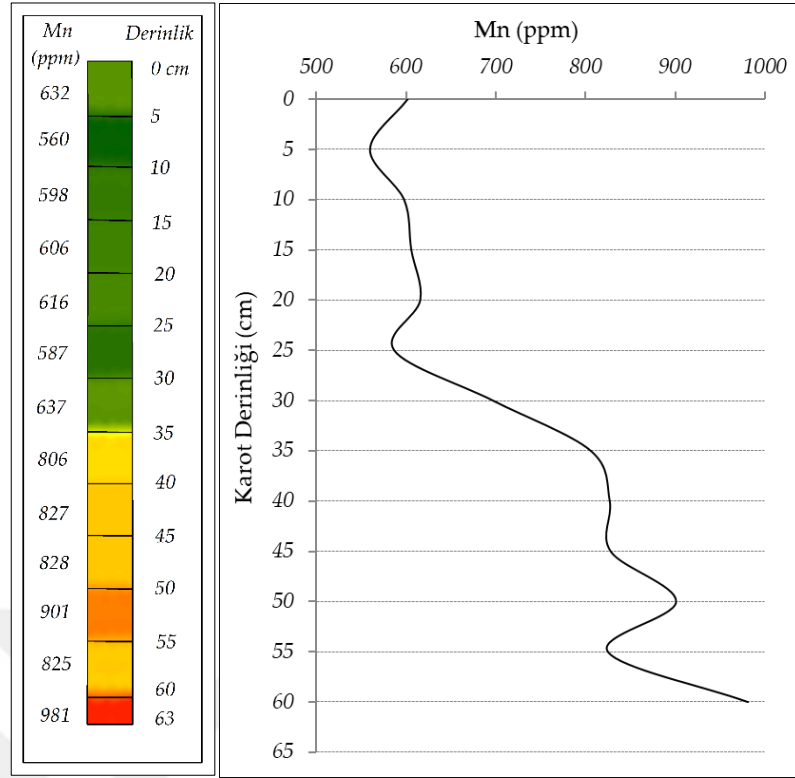
Pb, karot içerisinde $27.7 - 32.5$ ppm aralığında tespit edilmiştir. Karotun taban seviyesinden 30 – 35 cm dilimlerine kadar küçük artış azalışlar gösteren Pb konsantrasyonu 20 – 25 cm dilimlerine kadar düzenli şekilde azalmıştır. Ardından 15 – 20 cm diliminde az bir artış gösteren Pb, 0 - 5 cm diliminde azalma eğilimindedir (Şekil 85). Bu durum, Pb'nin baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışıyla kaynaklanmaktadır. Pb'nin baraj tabanındaki en önemli girdisi 19. örnekleme noktasındaki su kaynağıdır. Ancak Kille Çayı ve Bağırsak Dere'nin Pb deşarjı yapmaması 0 - 5 cm dilimindeki azalma eğilimine katkı sağlamaktadır (Şekil 74).



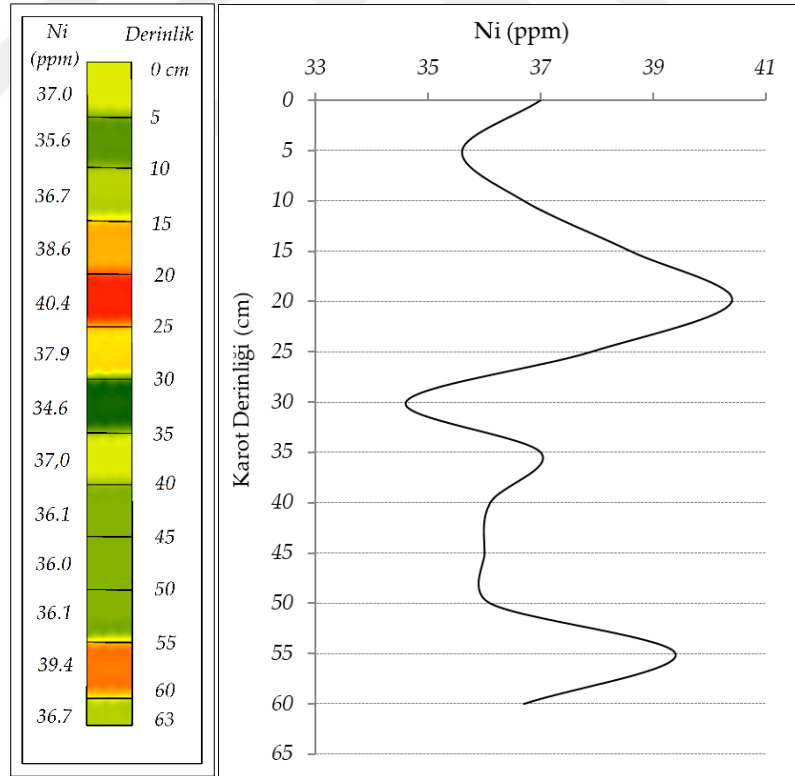
Şekil 81. Fe'nin Karottaki Dikey Dağılışı (Orijinal)



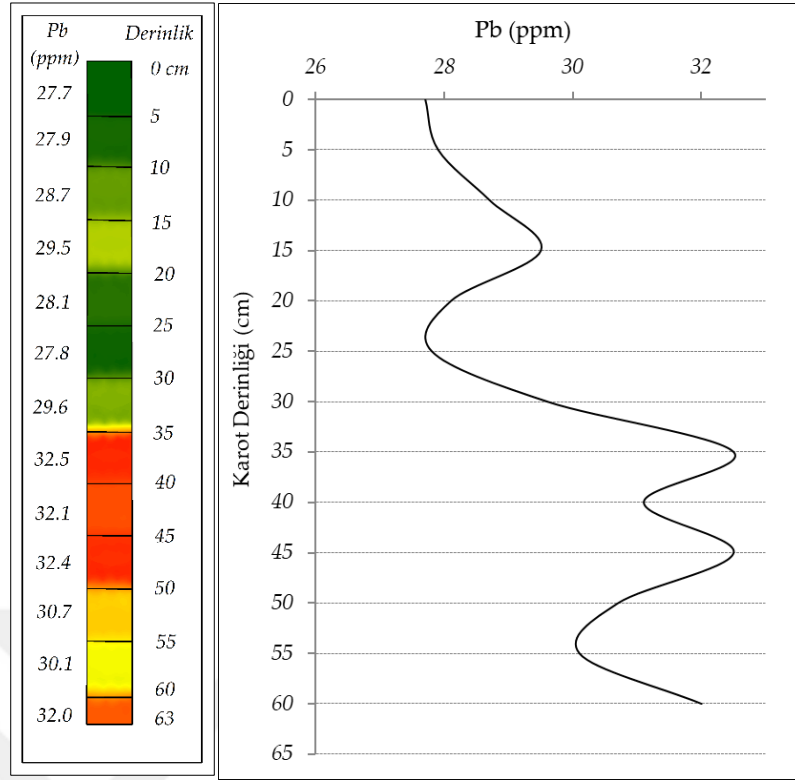
Şekil 82. Hg'nin Karottaki Dikey Dağılışı (Orijinal)



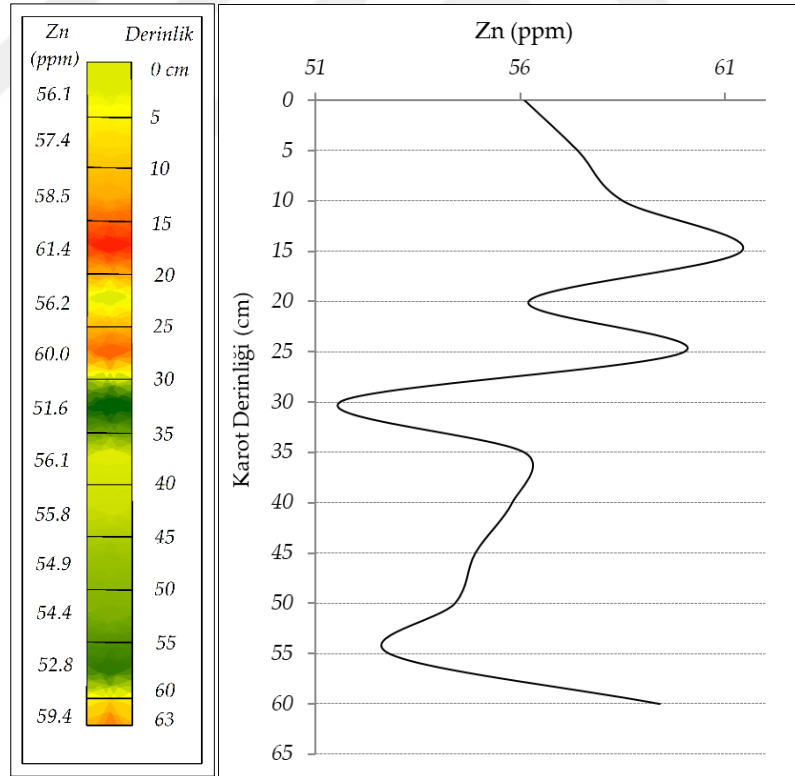
Şekil 83. Mn'nin Karottaki Dikey Dağılışı (Orijinal)



Şekil 84. Ni'nin Karottaki Dikey Dağılışı (Orijinal)



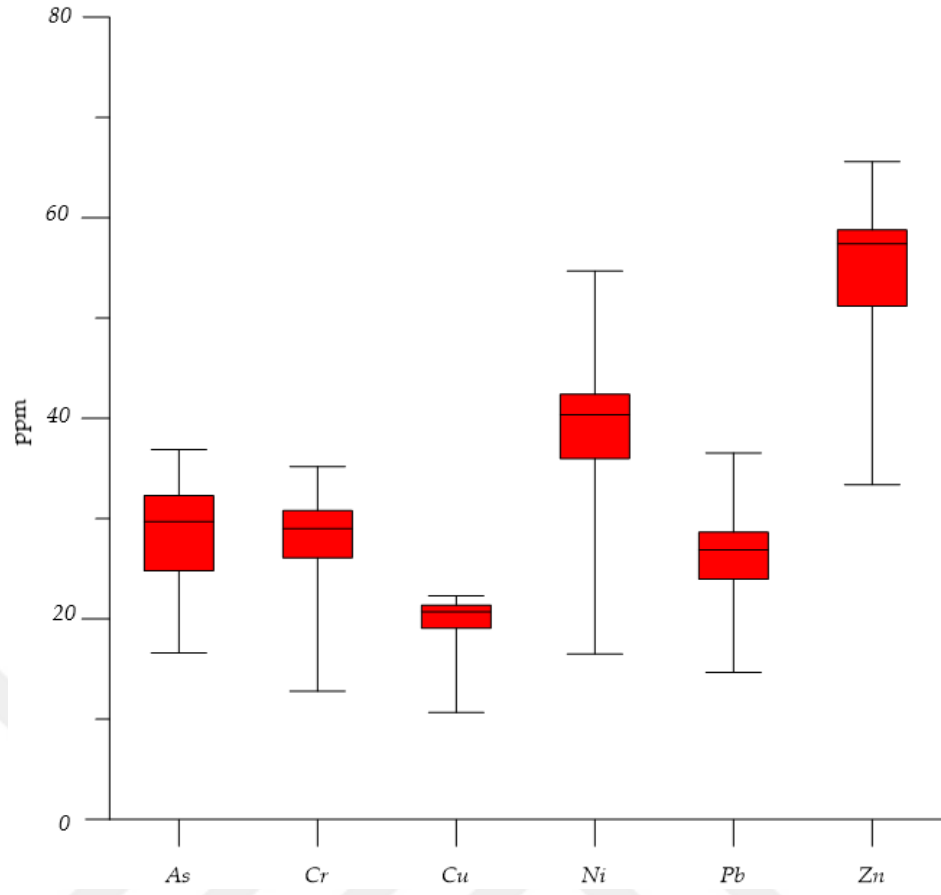
Şekil 85. Pb'nin Karottaki Dikey Dağılışı (Orijinal)



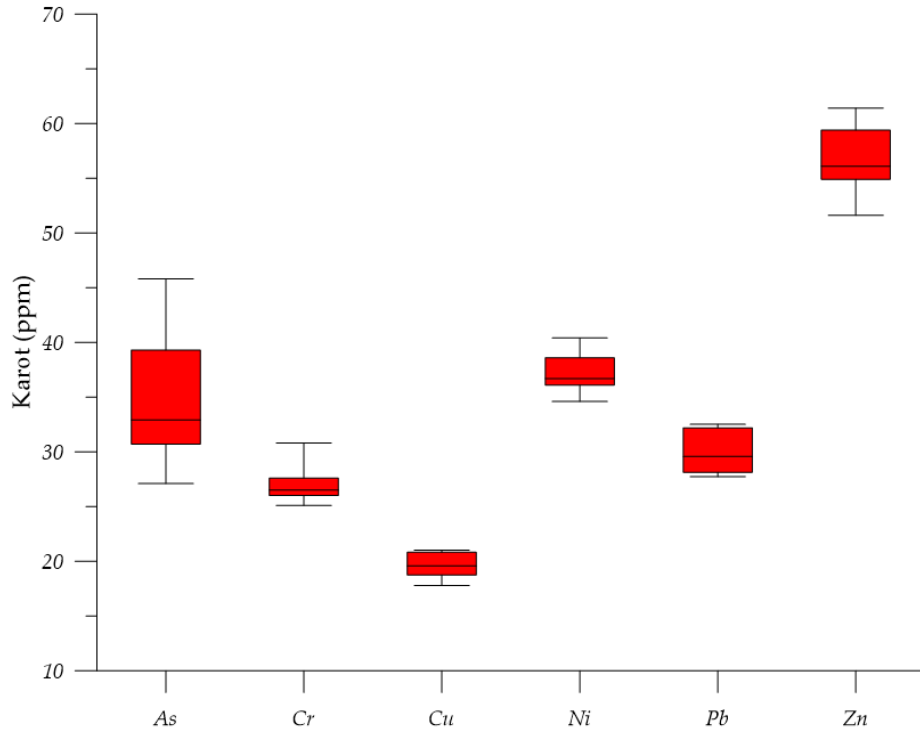
Şekil 86. Zn'nin Karottaki Dikey Dağılışı (Orijinal)

Zn, karot içerisinde 51.6 – 61.4 ppm aralığında tespit edilmiştir. En yüksek konsantrasyona 15 – 20 cm seviyesinde ulaşan Zn, en düşük konsantrasyona 25 – 30 cm dilimleri arasında inmiştir. Karot içerisinde oldukça dalgalı değerler gösteren Zn konsantrasyonu, 0 - 5 cm diliminde azalma eğilimindedir (Şekil 86). Zn'nin azalma eğilimine girmesinin nedeni Koca Çay ve Çınarlı Dere ile 19. örnekleme noktasındaki kaynağın Zn deşarjı yapmamasıdır (Şekil 75).

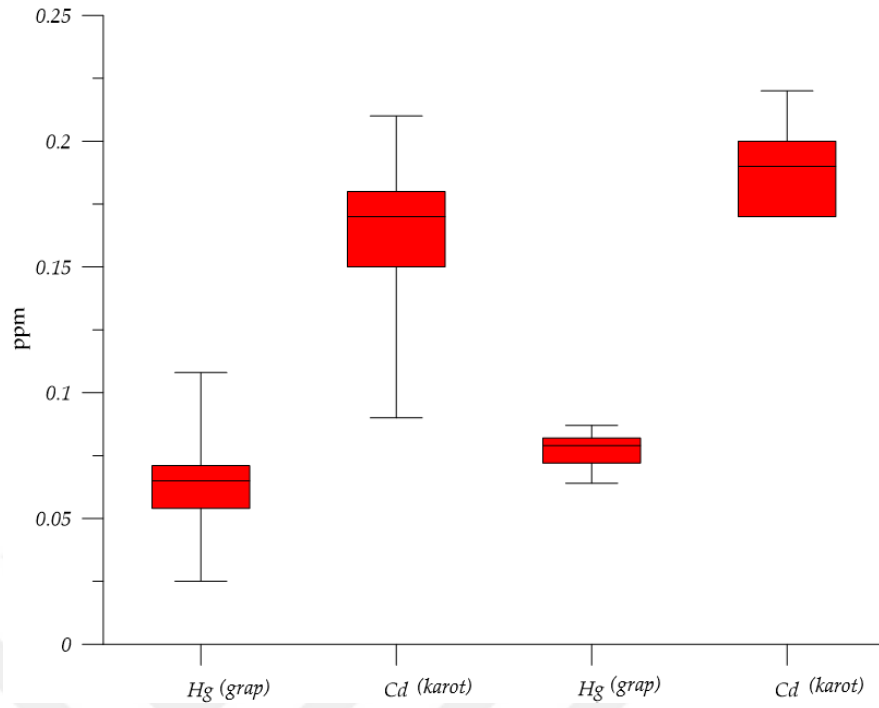
Metal konsantrasyonunun daha iyi yorumlanabilmesi için Box Whisker diyagramları hazırlanmıştır. Diyagram verilerinin iki uç noktası verilerin minimum ve maksimum değerlerini vermektedir. Kırmızı kutucuk içerisindeki orta çizgi medyan değerlerine karşılık gelirken kutucuğu oluşturan alt ve üst çizgiler medyanın altında ve üstünde kalan değerlerin ortalamasını göstermektedir. Diyagramlar çalışma kapsamında incelenen metal konsantrasyonları arasındaki farkın oldukça fazla olması nedeniyle yakın değerlerde olan metallerin kümelenmesi şeklinde hazırlanmıştır. Box Whisker Diyagram verilerine göre; As'nin yüzey çökeli konsantrasyonu 16.6 - 36.9 ppm, karot konsantrasyonu ise 27.1 – 45.8 ppm arasında değişmekte olup medyan yüzey çökeli 30, karotta 34 ppm'dir. Cr yüzey çökellerinde; 12.8 – 35.2 ppm, karotta 25.1 – 26.0 ppm arasında değişmekte ve medyan yüzey çökellerinde 28 ppm, karotta 26 ppm düzeylerindedir. Cu konsantrasyonu yüzey çökellerinde; 10.6 – 22.2 ppm, karotta 17.7 – 21.1 ppm aralığında, medyan yüzey çökellerinde 20, karotta ise 18 ppm'dir. Ni konsantrasyonu yüzey çökellerinde; 16.5 – 54.7 ppm, karotta 34.6 – 40.4 ppm arasında, medyan yüzey çökellerinde 42, karotta 37 ppm seviyelerindedir. Pb konsantrasyonu yüzey çökellerinde; 14.6 – 36.5 ppm, karotta 27.7 – 32.5 ppm aralığında, medyan yüzey çökellerinde 27, karotta 30 ppm'dir. Zn konsantrasyonu yüzey çökellerinde; 33.5 – 63.6 ppm, karotta 51.6 – 61.4 ppm arasında değişmekte, medyan yüzey çökellerinde 58, karotta ise 55 ppm seviyelerindedir (Şekil 87 ve 88). Hg konsantrasyonu yüzey çökellerinde; 0.025 – 0.108 ppm, karotta 0.064 – 0.087 ppm, medyan yüzey çökellerinde 0.060, karotta ise 0.070 ppm seviyelerindedir. Cd yüzey çökellerinde; 0.09 – 0.21 ppm, karotta 0.17 – 0.22 ppm aralığında değişmekte, medyan yüzey çökellerinde 0.16, karotta 0.17 ppm'dir (Şekil 89). Fe konsantrasyonu yüzey çökellerinde; 20.200 – 30.200 ppm, karotta 26.900 – 30.100 ppm arasında değişmekte, medyan yüzey çökellerinde 26.500 ppm karotta ise 28.000 ppm seviyelerindedir.



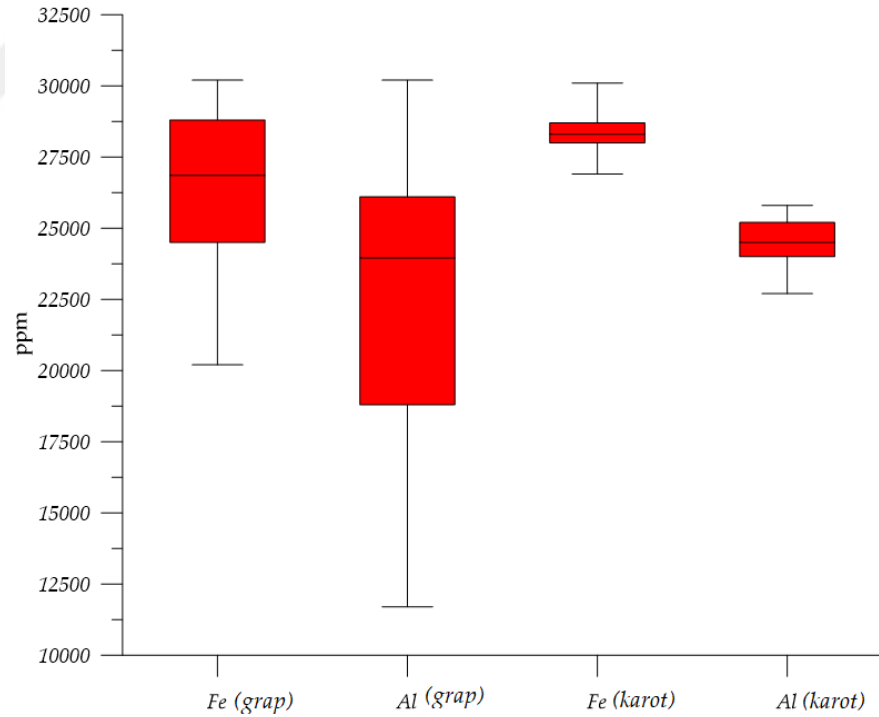
Şekil 87. Yüzey Çökeli Örnekleri Ham Metal Konsantrasyonunun Box Whisker Diyagramı (Orijinal)



Şekil 88. Karot Dilimi Örnekleri Ham Metal Konsantrasyonunun Box Whisker Diyagramı (Orijinal)



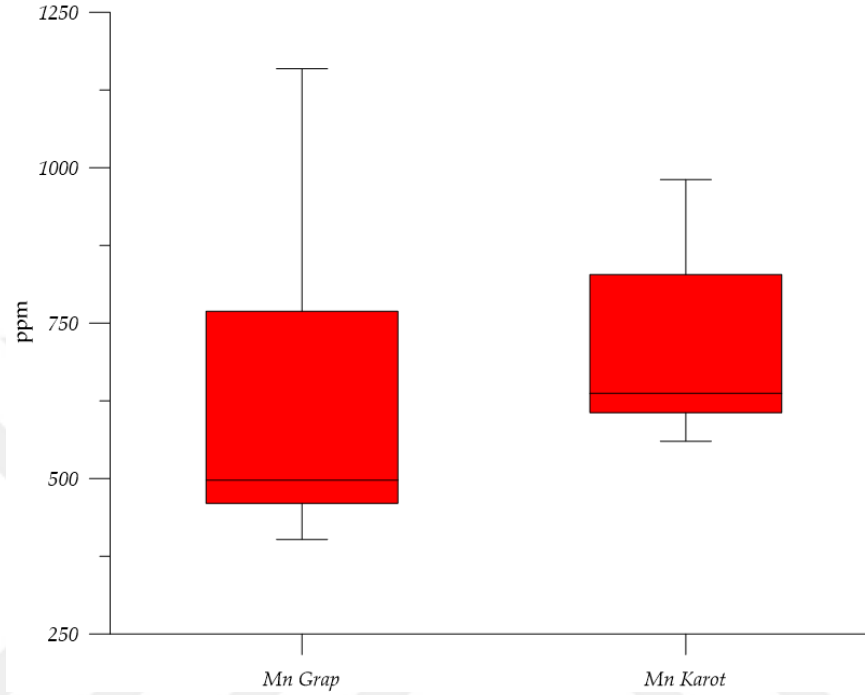
Şekil 89. Hg ve Cd Ham Metal Konsantrasyonunun Box Whisker Diyagramı (Orijinal)



Şekil 90. Fe ve Al Ham Metal Konsantrasyonunun Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

Al konsantrasyonu yüzey çökellerinde; 11.700 – 30.200 ppm, karotta 22.700 – 25.800 ppm medyan yüzey çökellerinde 23.750, karotta ise 25.000 ppm'dir (Şekil 90). Mn konsantrasyonu yüzey çökellerinde; 402 – 1.159 ppm, karotta 560 – 981

ppm arasında değişmekte, medyan yüzey çökellerinde 500 ppm karotta ise 625 ppm'dir (Şekil 91). Genel bir değerlendirme yapıldığında medyan yani metal konsantrasyonu ortalaması Cr, Cu, Ni, Zn, metalleri için yüzey çökellerinde; As, Pb, Hg, Fe, Al, Mn metalleri için karotta yüksektir.



Şekil 91. Mn Ham Metal Konsantrasyonunun Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

Mevcut literatürde yer alan bazı baraj ve doğal göllerde ölçülen ortalama metal konsantrasyonu Çizelge 6'da verilmiştir. Ortalama değerler üzerinden bir karşılaştırma yapıldığında; İkizcetepeler Baraj Gölü'nde As Cr Cu Ni Pb Zn konsantrasyonu Uzunçayır, Atatürk, Gökçekaya, Kapulukaya, Karacaören I, Borçka, Aguamilpa, Brody ve Al Sadr Baraj Gölleri'nden düşük diğer baraj göllerinden yüksektir (Şekil 92). Barajların yapım tarihleri dikkate alınarak değerlendirme yapıldığında İkizcetepeler Baraj Gölü bahsi geçen metal konsantrasyonları bakımından iyi durumda sayılabilir. Baraj gölünde tespit edilen As konsantrasyonu bütün doğal göllerden yüksektir. Cd konsantrasyonu Abant, Sapanca, Çıldır ve Aygır Gölleri'nden düşük Korina ve Volvi Gölleri'nden yüksektir. Cr konsantrasyonu Korina Gölü'nden düşük, diğer göllerden yüksektir. Cu konsantrasyonu; Çıldır Gölü ile eşit, Korina Volvi ve Aygır Gölüne göre yüksek, Sapanca ve Abant Gölleri'ne göre düşüktür. Fe konsantrasyonu bütün doğal göllerden yüksek, Hg konsantrasyonu; Çıldır Gölü'ne göre düşük, Aygır Gölü'nden yüksektir (Şekil 93 ve 94). Mn konsantrasyonu Korina Gölü hariç bütün göllerden yüksektir. Ni ve Pb

konsantrasyonu bütün göllerden yüksektir. Zn konsantrasyonu Çıldır ve Aygır Gölü'ne göre yüksek diğer göllerden düşüktür.

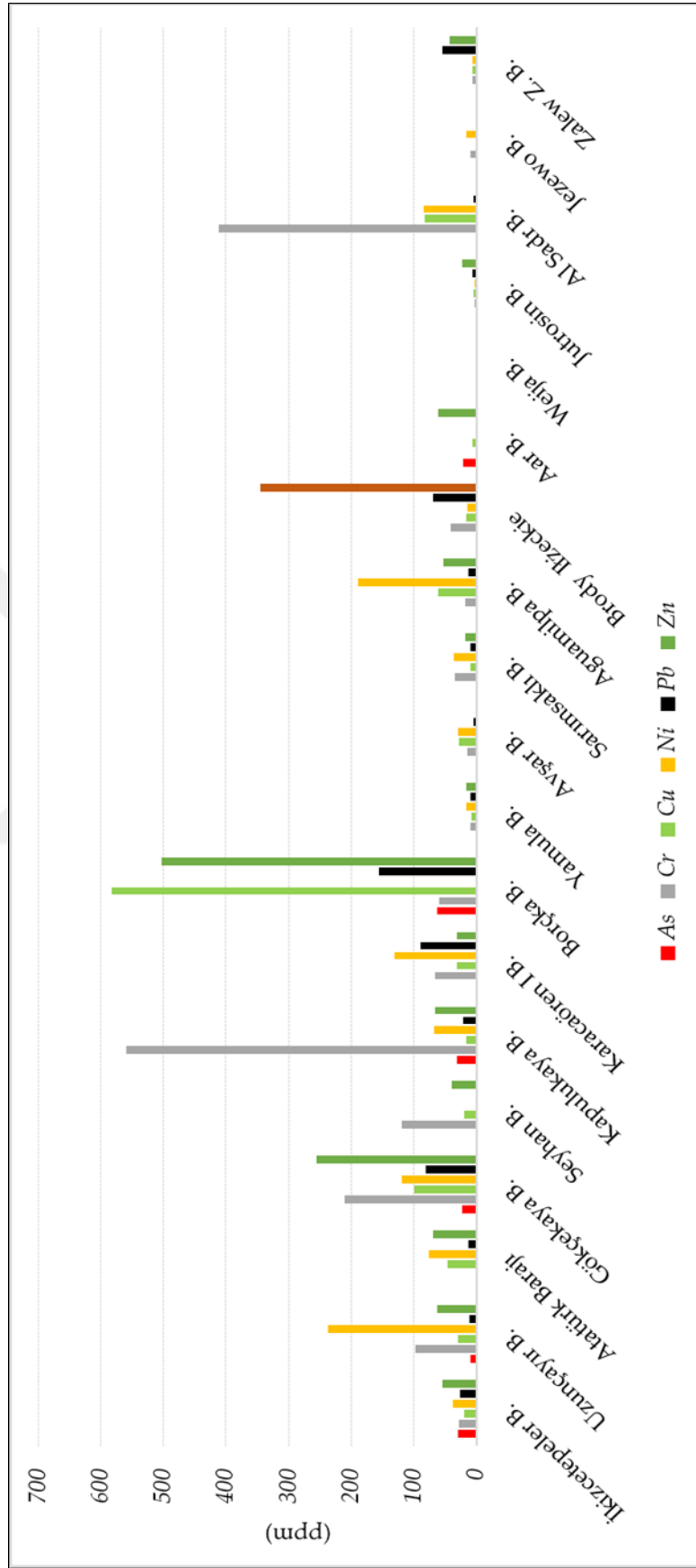
Metal konsantrasyonlarına göre genel bir değerlendirme yapıldığında; İkizcetepeler Baraj Gölü'nün ortalama metal konsantrasyonları mevcut literatürde yer alan birçok sulak alandan daha düşüktür. Çalışma kapsamında elde edilen bulguların uluslararası ölçekte kabul görmüş olan kıtasal kabuk değerleri, sediment kalite rehberi, sınır ve muhtemel etki ölçütlerine göre değerlendirmesi yapıldığında baraj gölü *As ve Fe ile kirletilmiş, Ni ile orta derecede kirletilmiş, Hg metali ise sınır etki değerini geçerek kirlilik riski yaratmıştır*. Ancak çalışma kapsamında elde edilen ekolojik risk indeksi bulgularına göre litolojik ardaan değerlerine göre yapılan hesaplamalarda *Hg için önemli, Cd için orta, As ve Ni için orta dereceye çok yakın diğer metaller için düşük seviyede ekolojik risk* tespit edilmiştir. Karot ardaan değerlerine göre; *Hg için önemli derecenin en alt limitinde, Cd için orta derecede, diğer metaller için düşük ekolojik risk* tespit edilmiştir. Buna ek olarak orta derecede ekolojik risk sınırında olan *Cd* kıtasal kabuk konsantrasyonu ölçütlerine göre temiz çıkmıştır. Ortaya çıkan bu çelişkili veriler kıtasal kabuk değerleri, sediment kalite rehberi, sınır ve muhtemel etki değerlerinin her sahada doğru sonuçlar vermeyebileceğini göstermektedir.

Çizelge 6. Mevcut Literatürdeki Bazı Barajlar ve Göllerin Ortalama Metal Konsantrasyonu (ppm)

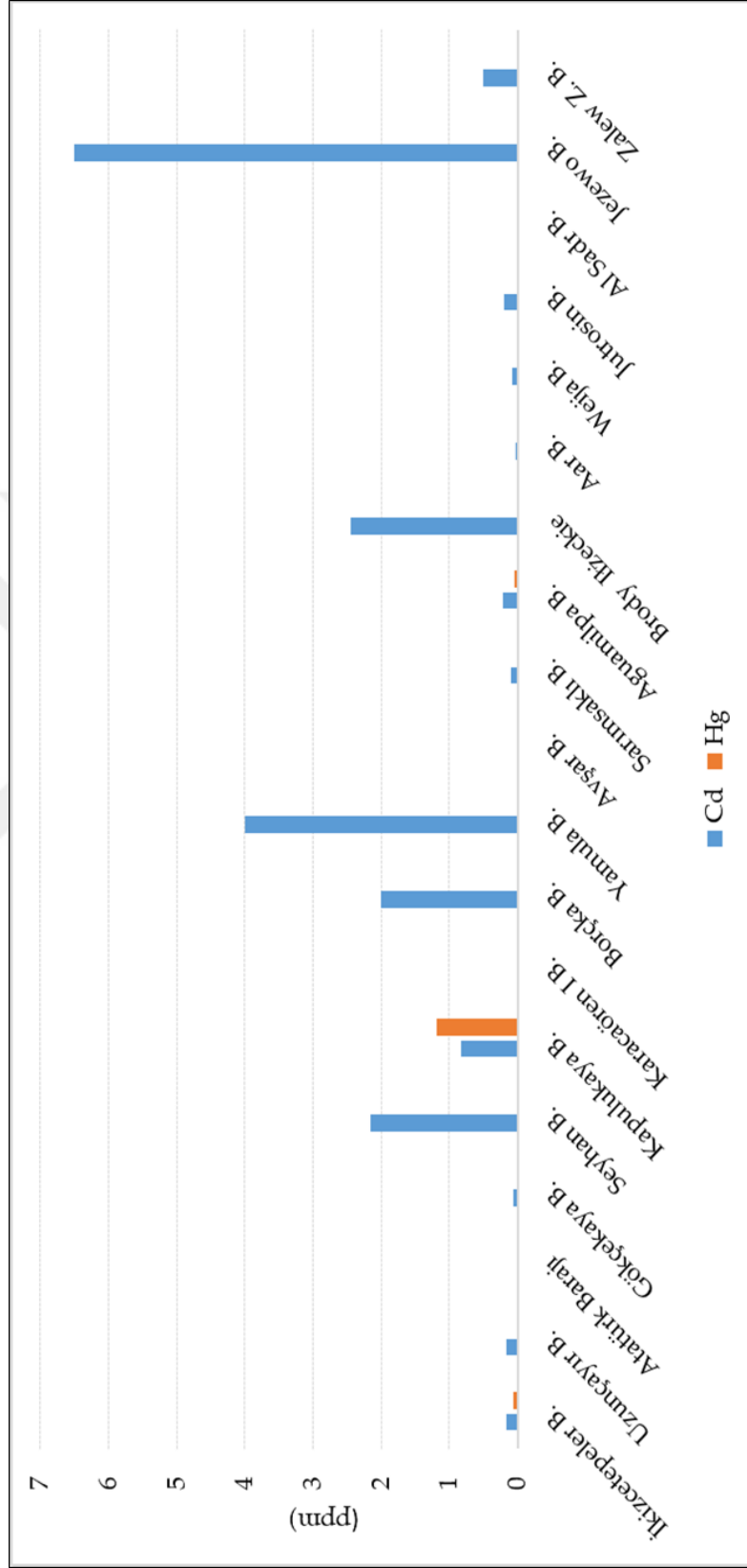
Lokasyon	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
İkizcetepeler B.	22700	29	0.17	28	20	26500	0.06	610	38	26	55
Uzunçayır B. ¹		9	0.17	97	30	31740	0.01	631	237	11	63
Atatürk Barajı ²					47	18104		424	76	13	70
Gökçekaya B. ³		23	0.07	210	99	15425			120	81	255
Seyhan B. ⁴			2.15	119	20	39350		803			39
Kapulukaya B. ⁵		31	0.83	559	16	20430	1.19	713	68	22	66
Karacaören I B. ⁶	3342		0.01	66	32	11960	0.01	396	131	90	32
Borçka B. ⁷		62	2	60	583	24878		997		155	502
Yamula B. ⁸			4	9	8			120	16	9	17
Avşar B. ⁹				14	28				29	4	
Sarımsaklı B. ¹⁰			0.09	35	10				37	9	18
Aguamilpa B. ¹¹	27800		0.22	18	61	15788	0.04		189	13	53
Brody İlzeckie ¹¹			2.45	41	17			549	14	70	345
Aar B. ¹²		21	0.03	1.5	6	3000		594	2	1.5	61
Weija B. ¹²			0.07			31000		20		1.7	
Jutrosin B. ¹³			0.2	3.5	4				3.6	6	23
Al Sadr B. ¹⁴				411	82				85	5	
Jezewo B. ¹³		0.4	6.5	10				6	17	903	
Zalew Z. B. ¹³			0.5	6	7			128	6	55	43
Sapanca G. ¹⁴			0.29	19	27			337	26	15	62
Abant G. ¹⁴			0.46	16	43			484	33	20	69
Çıldır G. ¹⁵		3.45	0.22	27	20	15767	0.66	478	30	11	49
Ayır G. ¹⁶	13960	4.18	0.25	19	19	13740	0.04	386	24	12	39
Korina G. ¹⁷			0.9	32	17			631		20	86
Volvi G. ¹⁷			0.8	22	14			120		12	61
Turekian¹⁸		13	0.3	90	45	46700			68	20	95
Taylor's¹⁹		1.8	0.2	100	55	56300			75	12	70
Kirlilik Yok²⁰		<3		<25	<25	<17000			<20	<40	<90
Orta Derece²⁰		3 - 8		25 - 75	25 - 50	17000 - 25000			20 - 50	40 - 60	90 - 200
Kirli²⁰		>8	>6	>75	>50	>25000			>50	>60	>200
TEC²¹		9.79	0.99	43.4			0.18		22.7	35.8	121
PEC²¹		33	4.98	111			1.06		48.6	128	459

¹Kutlu, 2018²Kaya 2007 ³Kırmızıgül 2013 ⁴Çevik vd., 2009⁵Başaran, 2010 ⁶Erdoğan, 2014 ⁷Gedik, 2018 ⁸Kar, 2011 ⁹Özözen 2005, ¹⁰Koca vd., 2016 ¹¹Peraza vd., 2015 ¹²Raphael vd., 2016, ¹³Mariusz Sojka vd., 2018 ¹⁴Duman, 2015 ¹⁵Kükrer vd., 2015 ¹⁶Kükrer 2018 ¹⁷Fytianus vd., 2004 ¹⁸Turekian ve Wedepohl 1961, ¹⁹ Taylor ve Mc. Lennan, ²⁰ Sediment Kalite Rehberi (SQG) ²¹MacDonald 1996.

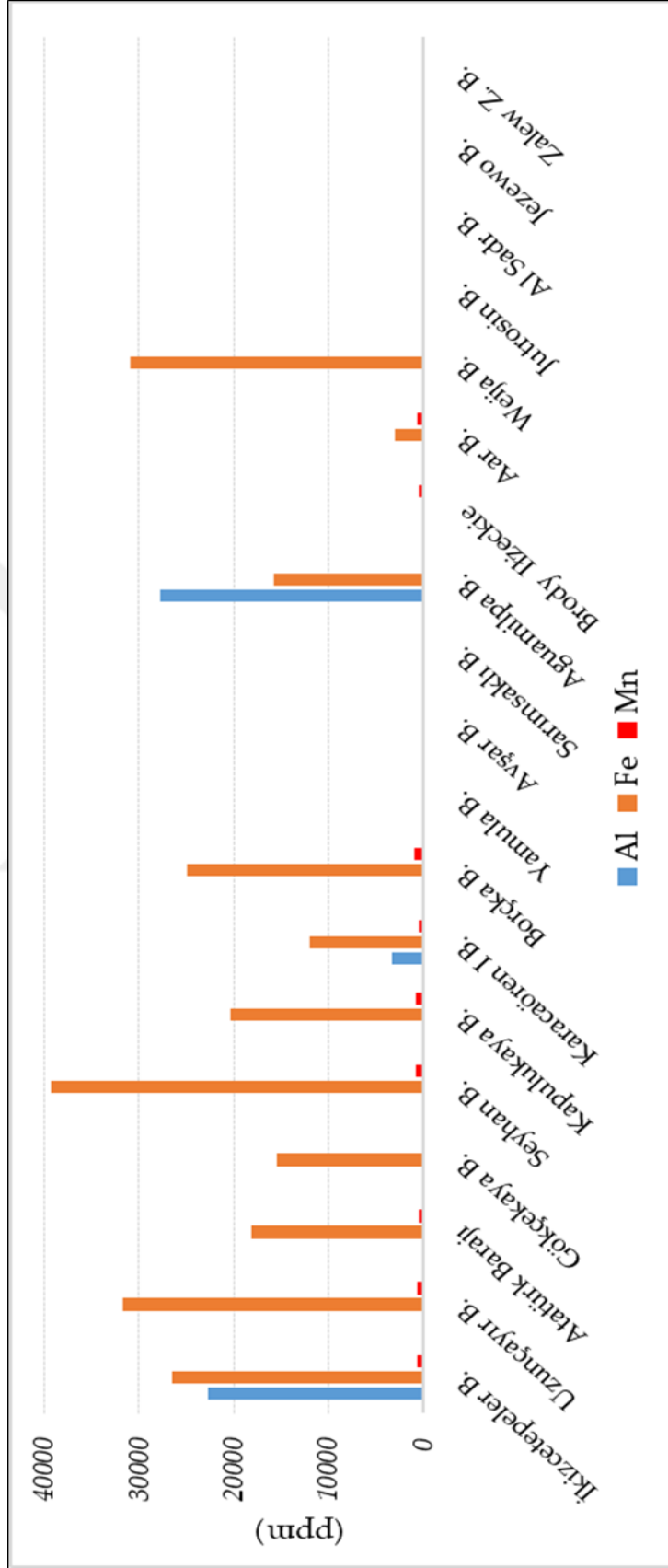
Barajların işletmeye alındığı yıllar: İkizcetepeler Baraj Gölü 1991, Uzunçayır Barajı 2003, Atatürk Barajı 1992, Gökçekaya Barajı 1972, Seyhan Barajı 1956, Kapulukaya Barajı 1989, Karacaören I Barajı 1990, Borçka Barajı 2005, Yamula Barajı 2003, Avşar Barajı 1977, Sarımsaklı Barajı 1968, Aguamilpa Barajı 1993, Brody İlzeckie Dam 1997, Aar Barajı 1991, Jezewo Barajı 1974.



Şekil 92. Mevut Literatürdeki Bazı Barajların As Cr Cu Ni Pb Zn Konsantrasyonlarının Karşılaştırması (Oriijinal)



Şekil 93. Mevut Literatürdeki Bazı Barajların Cd ve Hg Konsantrasyonlarının Karşılaştırması (Orijinal)



Şekil 94. Mevut Literatürdeki Bazı Barajların Al Fe Mn Konsantrasyonlarının Karşılaştırması (Orijinal)

6.5. Zenginleşme Faktörü

Metallerin doğal ve antropojenik kaynaklarının tespit edilmesi için kullanılan ekolojik risk indekslerinin en önemlilerinden birisi zenginleşme faktörüdür. Çalışma kapsamında; baraj yapımından, örneklerin alındığı 2019 yılına kadar geçen sürede gerçekleşen zenginleşmenin tespit edilmesi için karot örneklerinden elde edilen ardalan değerleri kullanılmıştır. Barajın yapımı öncesi dönemden, 2019 yılına kadar gerçekleşen zenginleşmenin tespiti için ise litolojik ardalan değerleri kullanılmıştır (Çizelge 7). Zenginleşme faktörünün mekânsal ve dikey dağılışında, litolojik ve karot ardalan değerlerinden elde edilen bulgulara yer verilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çizelge 7. Metallerin Litolojik ve Karot Ardalan Değerleri (ppm)

Metal (ppm)	Cu	Pb	Zn	Ni	Mn	Fe	As	Cd	Cr	Al	Hg
Litolojik Ar.	10.42	25.52	30.00	4.36	158.43	22.557	6.16	0.06	5.81	9.771	0.02
Karot Ar.	17.77	27.87	52.80	36.70	587.00	27.400	27.40	0.17	26.00	22.700	0.06

Çalışma kapsamında elde edilen zenginleşme faktörü verileri $EF < 2$ zenginleşme yok, düşük zenginleşme $EF = 2 - 5$ orta derecede zenginleşme, $EF = 5 - 20$ önemli derecede zenginleşme, $EF = 20 - 40$ çok yüksek derecede zenginleşme ve $EF > 40$ olağanüstü fazla zenginleşme şeklinde değerlendirilmiştir (Sutherland, 2000).

6.5.1. Zenginleşme Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı

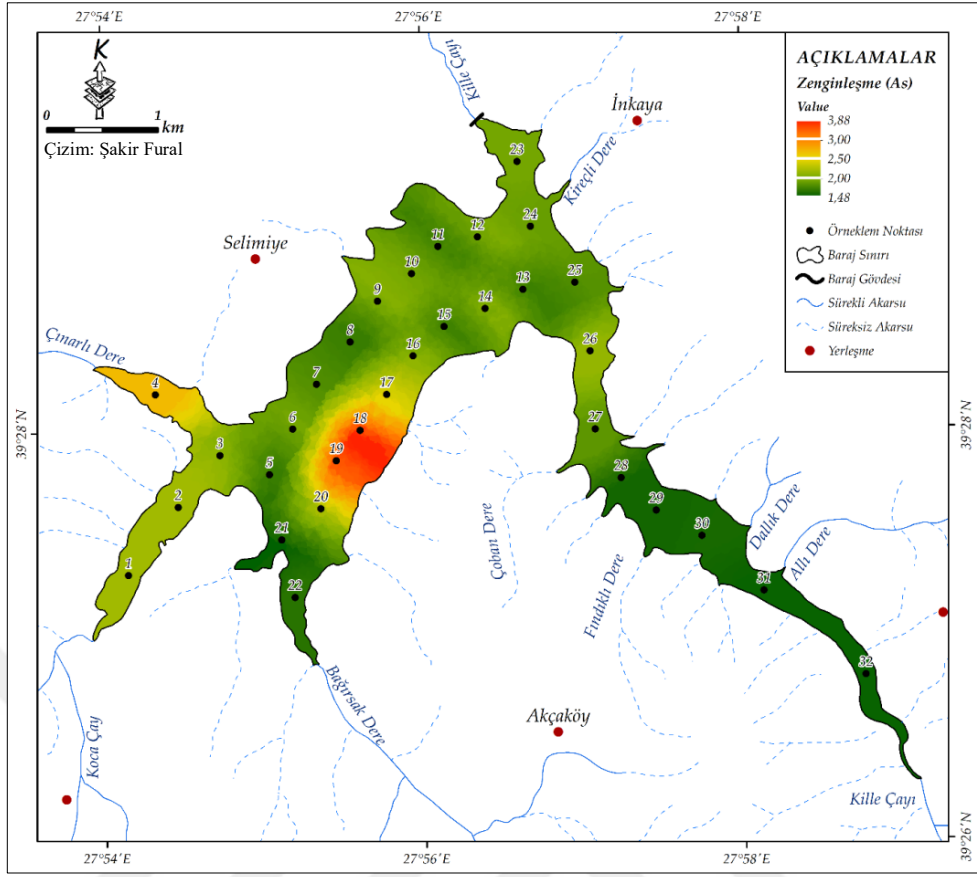
Çalışmanın bu bölümünde, zenginleşme faktörünün baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı incelenmiştir. Zenginleşme faktörünün mekânsal dağılışının tespit edilmesi, antropojenik etkinin baraj gölünün alt havzaları ölçeğinde araştırılması ve kaynak tespitinin yapılmasında kolaylık sağlamaktadır. Litolojik ardalan değerlerine göre hesaplanan zenginleşme faktörü ve mekânsal dağılışı şu şekildedir:

As zenginleşme faktörü, baraj gölü tabanında 1.48 – 3.88 aralığında değişmekte olup en yüksek değer 18. – 19. örnekleme noktası çevresinde tespit edilmiştir. 19. örnekleme noktasından baraja deşarj olan su kaynağı doğal As kaynağı olarak tanımlanmıştır. Çınarlı Dere ağzındaki örnekleme noktalarında orta derecede olan As zenginleşmesinin muhtemel kaynağı havzada gerçekleştirilen tarım faaliyetleridir. Çünkü Çınarlı Dere havzasının %48'i tarım arazilerinden oluşmaktadır. Mevcut literatürde yer alan bilgilere göre As'nin başlıca antropojenik

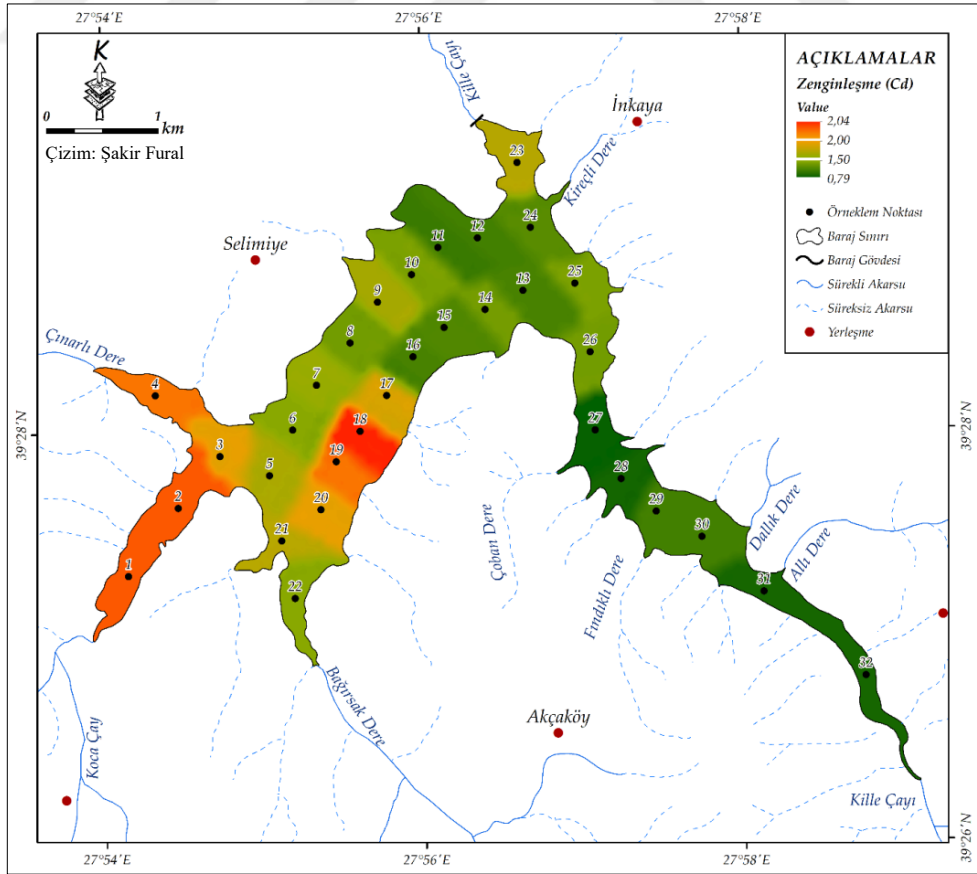
kaynakları kimyasal gübreler ve fosil yakıt kullanımındır (Atabey, 2009). Volkanik patlamalar ve jeotermal kaynaklar doğal As kaynaklarıdır (Bakar ve Baba 2009). Baraj gölü tabanının büyük bir kısmında, Kille Çayı ve Bağrsak Dere ağzında As zenginleşmesi gerçekleşmezken, Koca Çay ağzında ise düşük zenginleşme tespit edilmiştir (Şekil 95).

Cd zenginleşme faktörü baraj tabanında 0.79 – 2.04 aralığında değişmektedir. Zenginleşme faktörünün mekânsal dağılışı incelendiğinde; Koca Çay, Çınarlı Dere 17 -18 – 19 – 20. örnekleme noktalarında orta seviyede zenginleşme tespit edilirken, diğer örnekleme noktalarında zenginleşme bulgusuna rastlanmamıştır. (Şekil 96). Bu durum, Koca Çay ile Çınarlı Dere ağzındaki örnekleme noktaları ve 17. - 18. – 19. – 20. örnekleme noktaları yakınlarındaki mevsimlik akarsuların antropojenik kaynaklı Cd deşarjı yaptıklarını göstermektedir. Cd, tarım arazilerinde yoğun olarak kullanılan fosfatlı gübrelerin hammaddelerinden birisidir (Karaca ve Turgay, 2012). Orta derecede zenginleşme tespit edilen noktalara yapılan arazi çalışmalarında muhtemel Cd kaynağı olarak tarım faaliyetleri tespit edilmiştir. Koca Çay Havzası'nda barajın kıyı kenar çizgisinden itibaren başlayan tarım alanları, Çınarlı Dere havzasının %48'lik kısmında tarım yapılması, 17. - 18. – 19. – 20. örnekleme noktalarının yakınındaki tarım alanlarında kullanılan kimyasal gübrelerin Cd'nin orta derecede zenginleşmesine neden olduğu tespit edilmiştir.

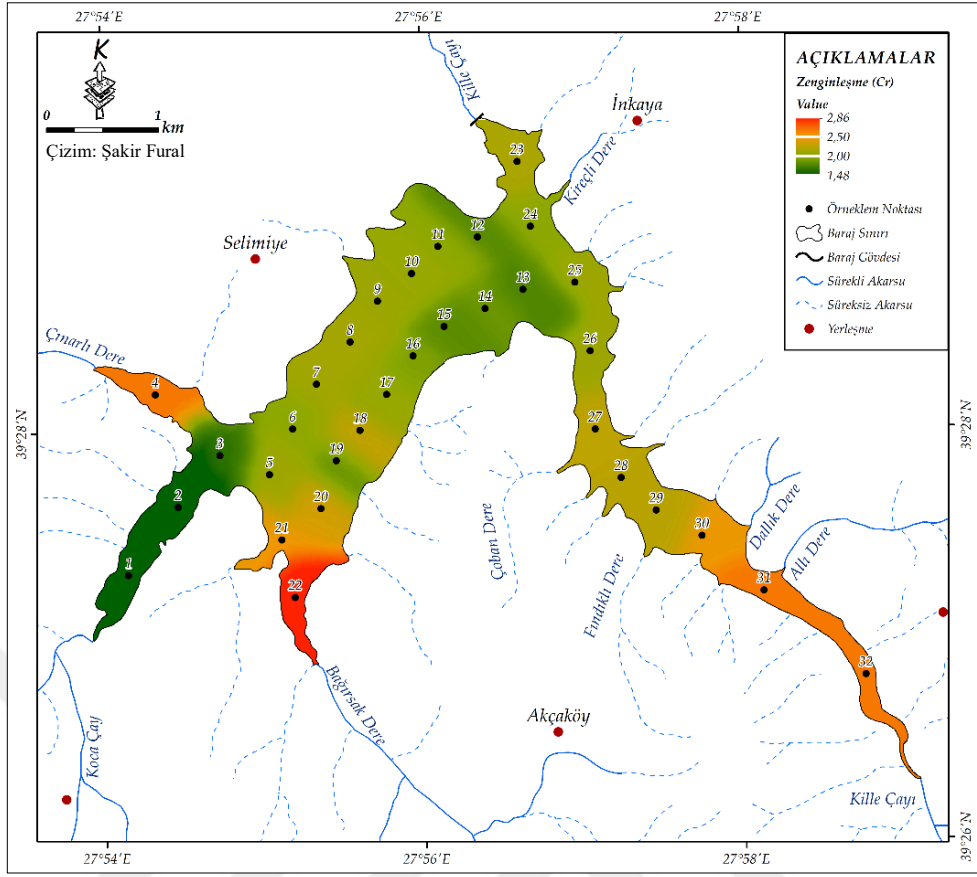
Cr zenginleşme faktörü baraj gölü tabanında 1.48 – 2.86 aralığında değişmektedir. Bağrsak Dere, Kille Çayı ve Çınarlı Dere ağız kısımlarında orta, diğer örnekleme noktalarında düşük zenginleşme tespit edilmiştir (Şekil 97). Bu durum, başta Bağrsak Dere olmak üzere Kille Çayı ve Çınarlı Dere havzalarından antropojenik kaynaklı Cr deşarjı olduğunu göstermektedir. Cr'nin endüstride (*özellikle metal sanayisi*) yoğun olarak kullanılması, evsel atıkların içeriğinde bulunması, yer altı ve yer üstü suları ile toprakta kirliliğe neden olmaktadır (Altun, 2013). Barajda orta derecede Cr zenginleşmesine neden olan muhtemel kaynak olarak evsel atıklar ve Çınarlı Dere yakınlarındaki metalürji fabrikaları tanımlanmıştır.



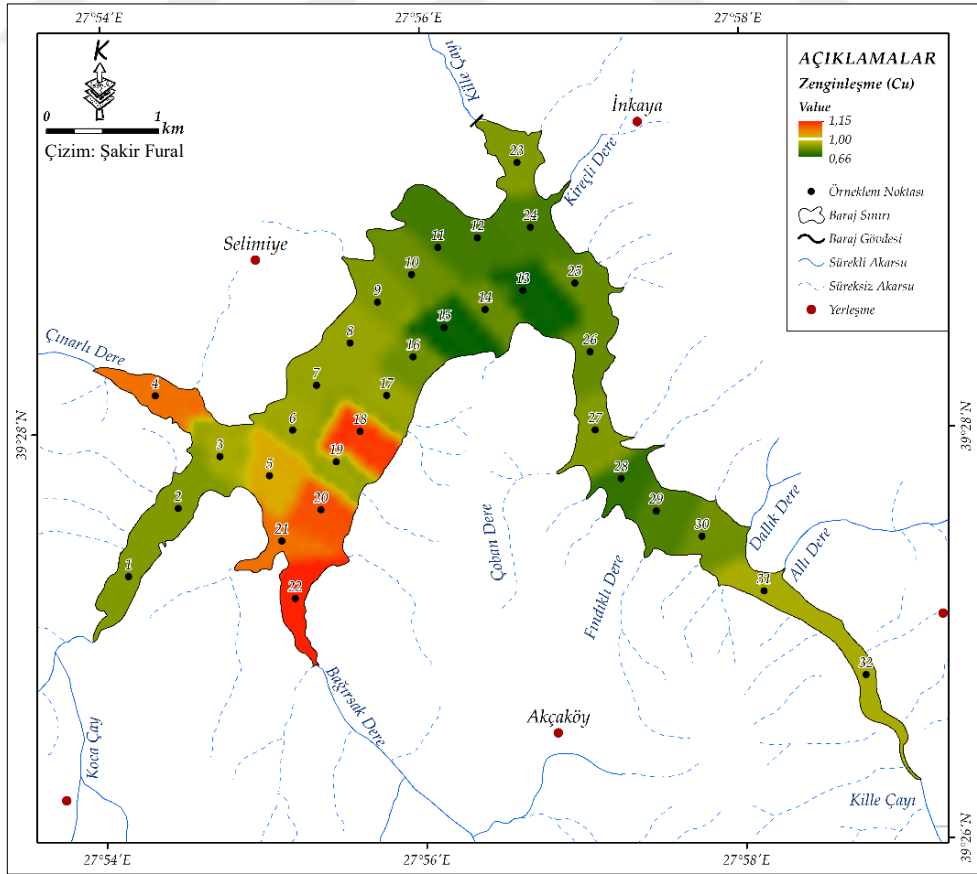
Şekil 95. Arsenik'in (As) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı



Şekil 96. Kadmiyum'un (Cd) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı



Şekil 97. Krom'un (Cr) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı



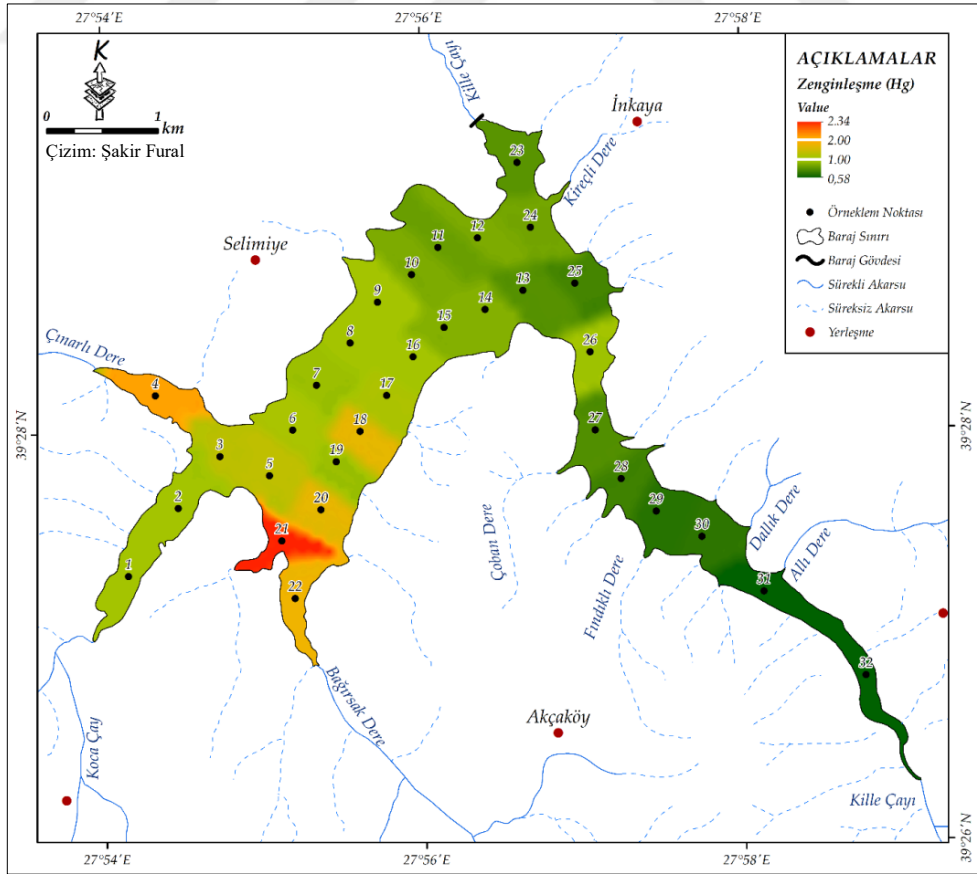
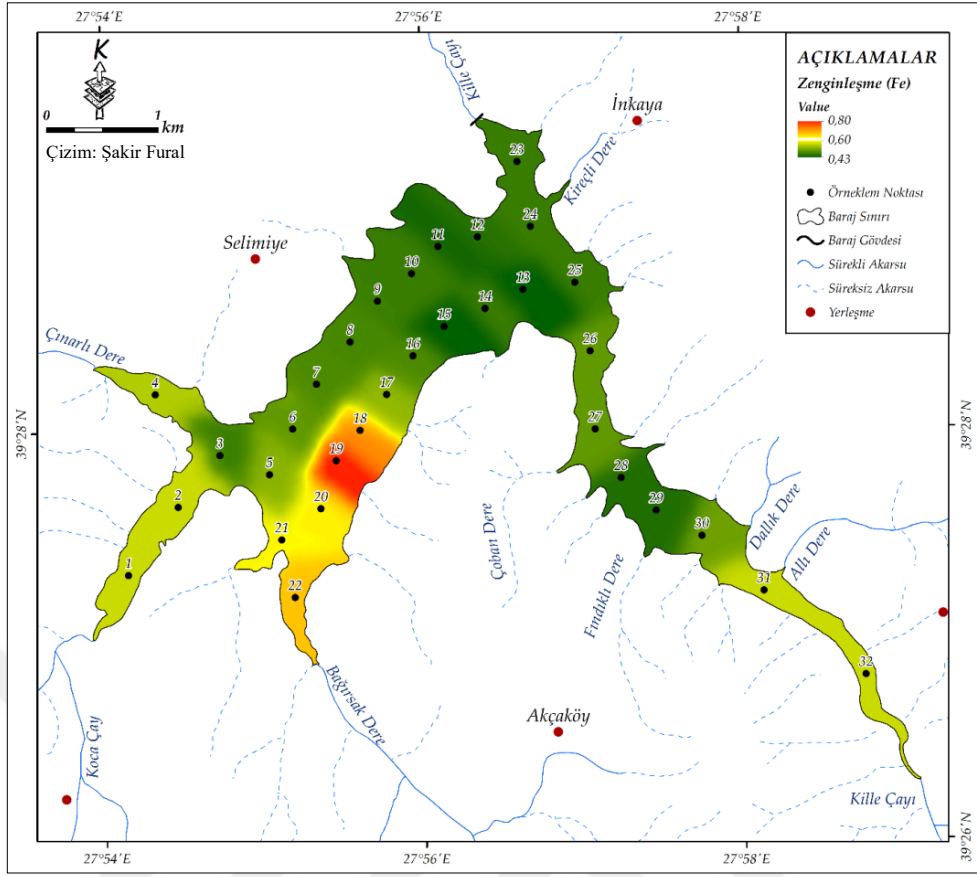
Şekil 98. Bakır'ın (Cu) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı

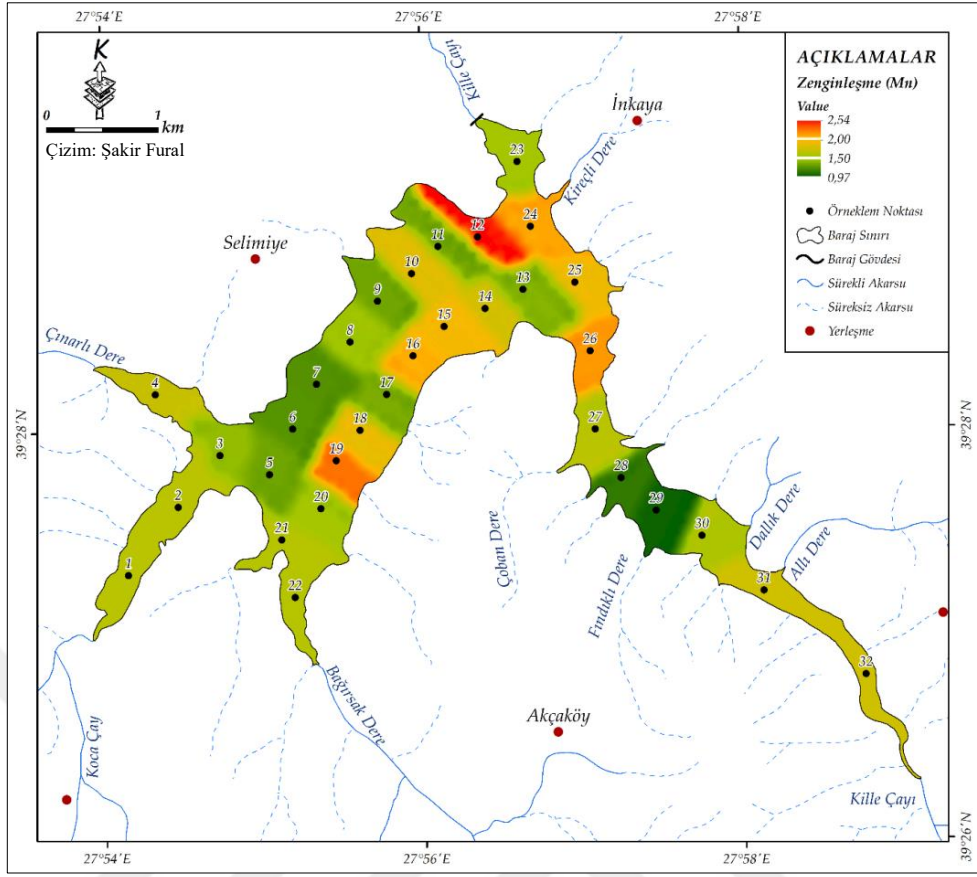
Cu zenginleşmesi baraj gölü tabanında $0.66 - 1.15$ aralığında olup, en yüksek değere Bağırsak Dere ve Çınarlı Dere ağızı ve yakın çevrelerindeki örnekleme noktalarında ulaşmaktadır (Şekil 98). Düşük zenginleşme sınıfında olmasına rağmen diğer noktalara göre yüksek olan bu değerler, Bağırsak Dere ve Çınarlı Dere havzasında antropojenik kaynaklı Cu varlığına işaret etmektedir. 18. örnekleme noktasındaki diğer noktalara göre yüksek olan EF değerleri yakındaki akarsu girdileri ile açıklanmaktadır.

Fe zenginleşme faktörü baraj gölü tabanında $0.43 - 0.80$ aralığında değişmektedir. Fe baraj tabanının tamamında düşük zenginleşme göstermektedir (Şekil 99). Ancak Kille Çayı, Bağırsak Dere, Koca Çay ve Çınarlı Dere ağızlarında ve yakın çevreleri ile 18. – 19. örnekleme noktalarında ortalamanın üzerinde değerler tespit edilmiştir. Bahsi geçen noktalardaki ortalamanın üzerindeki zenginleşme değerleri akarsular tarafından deşarj edilen antropojenik kaynaklı Fe olarak açıklanabilir. Ancak genel bir değerlendirme yapıldığında baraj gölünde Fe zenginleşmesi ve havzada antropojenik kaynaklı Fe varlığı söz konusu değildir.

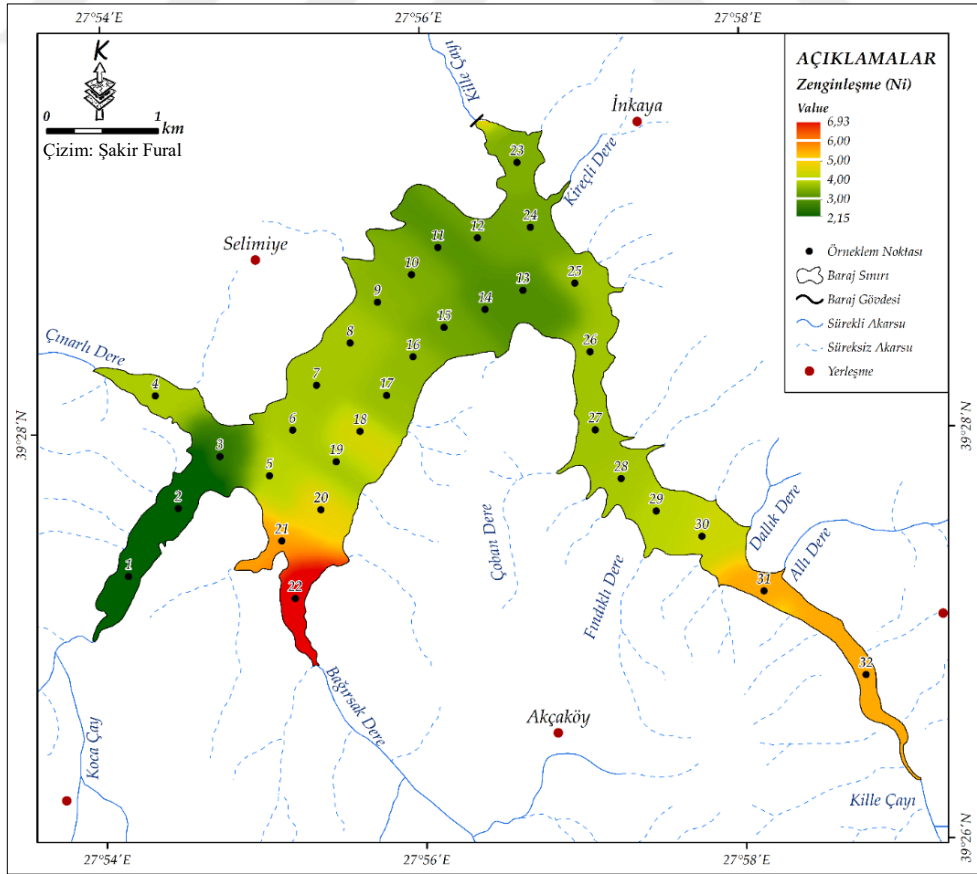
Hg zenginleşme faktörü $0.58 - 2.34$ arasında değişmekte olup, en yüksek değere Bağırsak Dere yakınlarındaki mevsimlik akarsu ağızında, 18. ve 20. örnekleme noktasında, Bağırsak Dere ve Çınarlı Dere ağızında ulaşmaktadır (Şekil 100). Belirtilen noktada orta dereceli Hg zenginleşmesi tespit edilmiştir. Hg'nin mekânsal dağılışı incelendiğinde; Bağırsak Dere ve yakınındaki mevsimlik akarsu ile Çınarlı Dere baraj gölüne antropojenik kaynaklı Hg deşarj etmektedir. Kille Çayı ve Koca Çay ağızındaki düşük zenginleşme değerleri bahsi geçen akarsuların Hg deşarjı yapmadığını göstermektedir. Hg'nin başlıca antropojenik kaynakları fosil yakıtlar, endüstriyel atıklar, çimento ve metal fabrikalarıdır (Marnane, 2018). Ancak arazi çalışmaları sırasında belirtilen noktada antropjenik kaynak tespit edilmemiştir.

Mn zenginleşmesi baraj gölü tabanında $0.97 - 2.54$ değerleri arasında tespit edilmiştir. Diğer metallere göre karmaşık bir mekânsal dağılışı olan Mn en yüksek zenginleşmeye 12. örnekleme noktasında ulaşmıştır. Genel bir değerlendirme yapıldığında; 10. – 12. – 14. – 15. – 16. – 18. – 19. – 21. – 24. – 25. – 26. örnekleme noktaları ve Kille Çayı, Koca Çay, Çınarlı Dere, Bağırsak Dere ağızlarındaki noktalarda orta derecede zenginleşen Mn, geri kalan örnekleme noktalarında düşük seviyede zenginleşmiştir (Şekil 101). Bütün akarsu ağızlarında 1'in üzerinde Mn zenginleşmesi görülmesi alt havzaların tamamından Mn taşındığını göstermektedir. Havzada yapılan arazi çalışmalarında antropojenik Mn kaynağı tespit edilmemiştir.

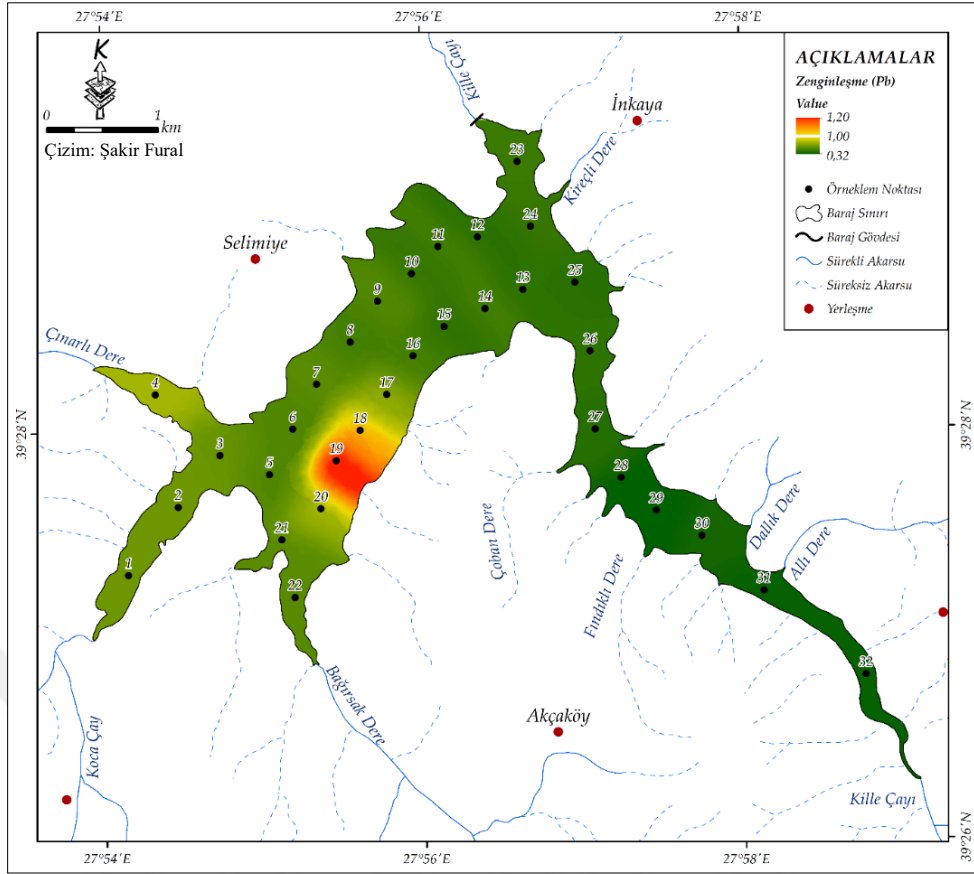




Şekil 101. Mangenez'in (Mn) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı

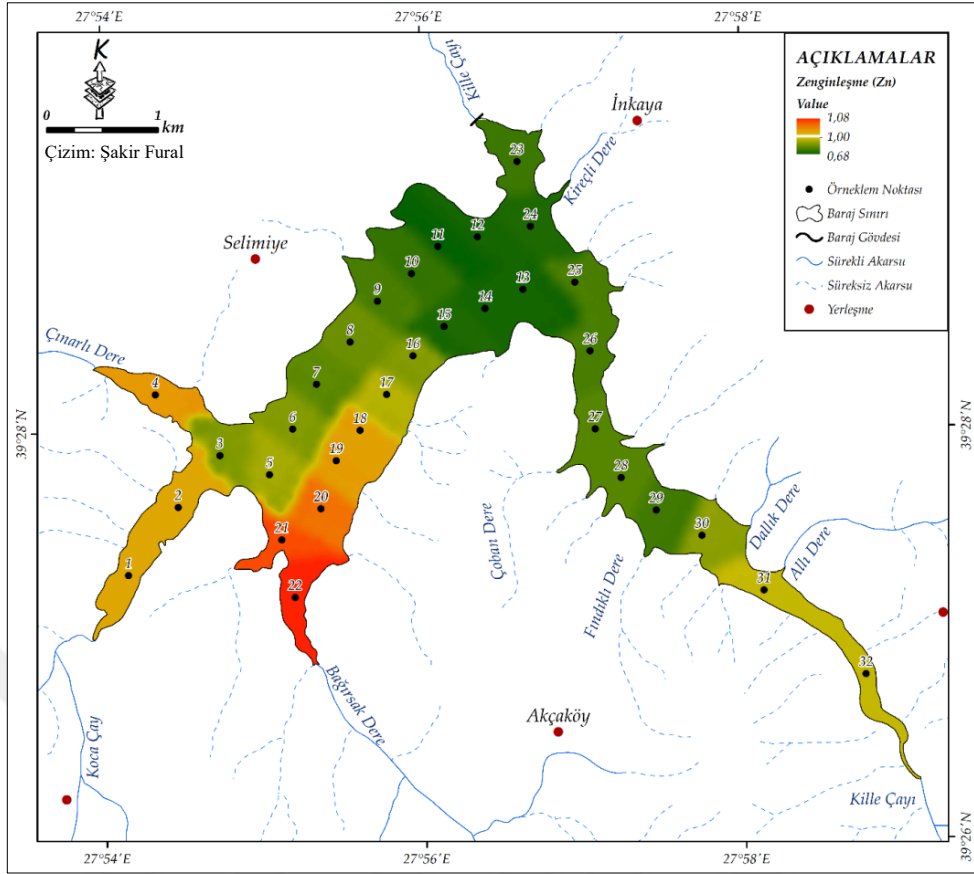


Şekil 102. Nikel'in (Ni) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı



Şekil 103. Kurşun'un (Pb) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı

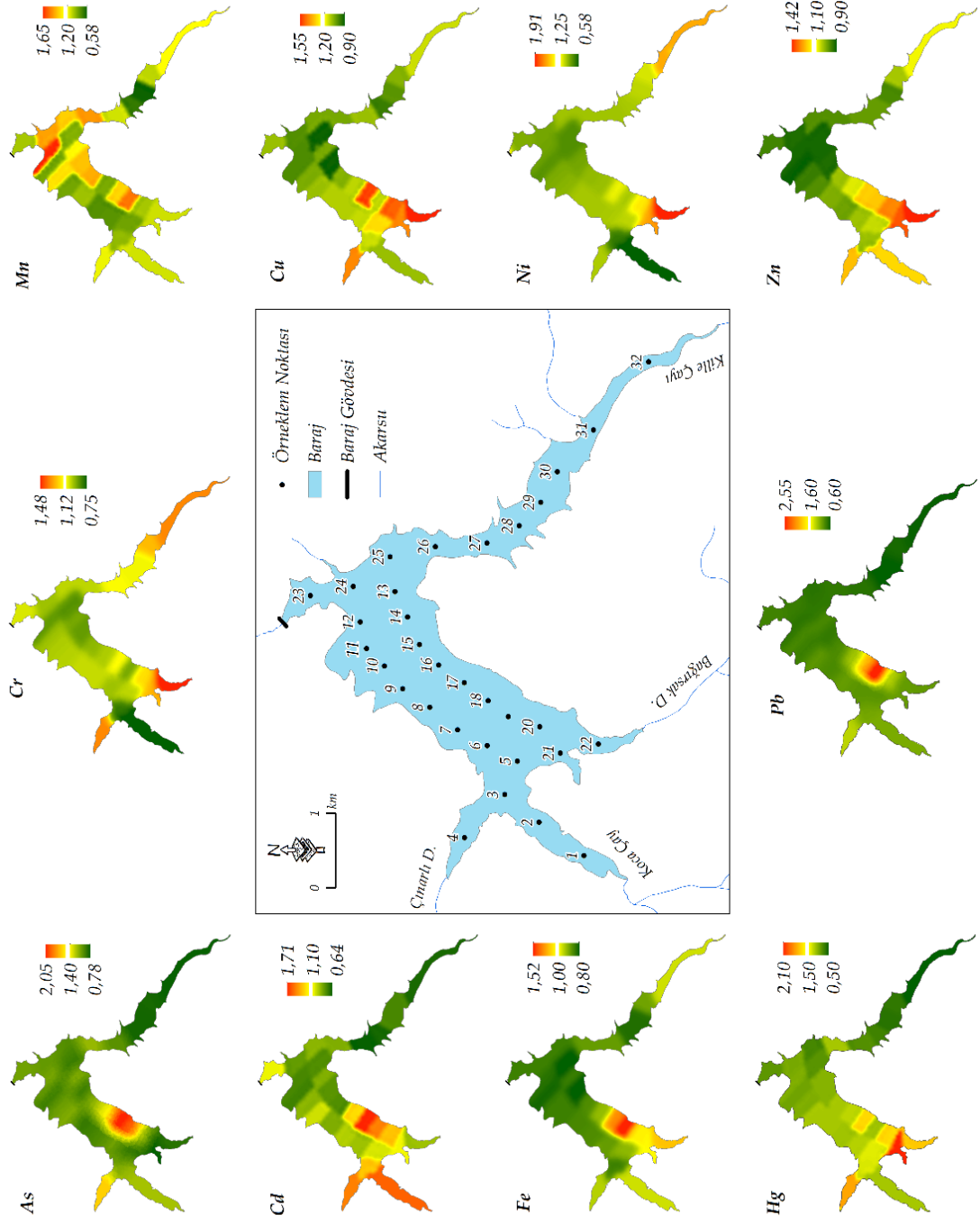
Ni zenginleşme faktörü baraj gölü tabanında 2.15 – 6.93 arasındadır. Mekânsal dağılışı haritasına göre, Bağrsak Dere ağzı yakınlarında önemli derecede zenginleşme gerçekleşmiştir. En düşük zenginleşme değerleri, Koca Çay ağzında görülürken baraj gölü tabanında Bağrsak Dere ağzı yakınları dışında kalan bütün noktalarda orta derecede zenginleşme tespit edilmiştir (Şekil 102). Mekânsal dağılışı haritaları Bağrsak Dere, Çınarlı Dere ve Kille Çayı'ndan antropojenik kaynaklı Ni taşındığını göstermektedir. Ancak, Bağrsak Dere ağzındaki lokal bir bölgede önemli derecede Ni zenginleşmesi gerçekleşmesi dikkat çekici bir durumdur. Bağrsak Dere Havzası'ndan alınan anakaya örneklerinde Ni aralan değeri diğer örnekleme noktalarına göre düşüktür (0.40 ppm). Bu durum, Bağrsak Dere Havzası'nda önemli bir Ni kaynağı olduğu ihtimalini ortaya çıkarmaktadır. Ni kaynağının tespit edilmesi için gerçekleştirilen arazi çalışmalarında Koca Çay ve Bağrsak Dere havza sınırında yer alan mermer ocağı dışında hiçbir antropojenik etkiye rastlanmamıştır. Bu durumda Ni zenginleşmesinin muhtemel kaynağı mermer ocağı ya da Bağrsak Dere havzasında bulunan ultramafik ve volkanik kayalardır. Çünkü Ni ultramafik kayalarda yüksek konsantrasyonda bulunabilir.



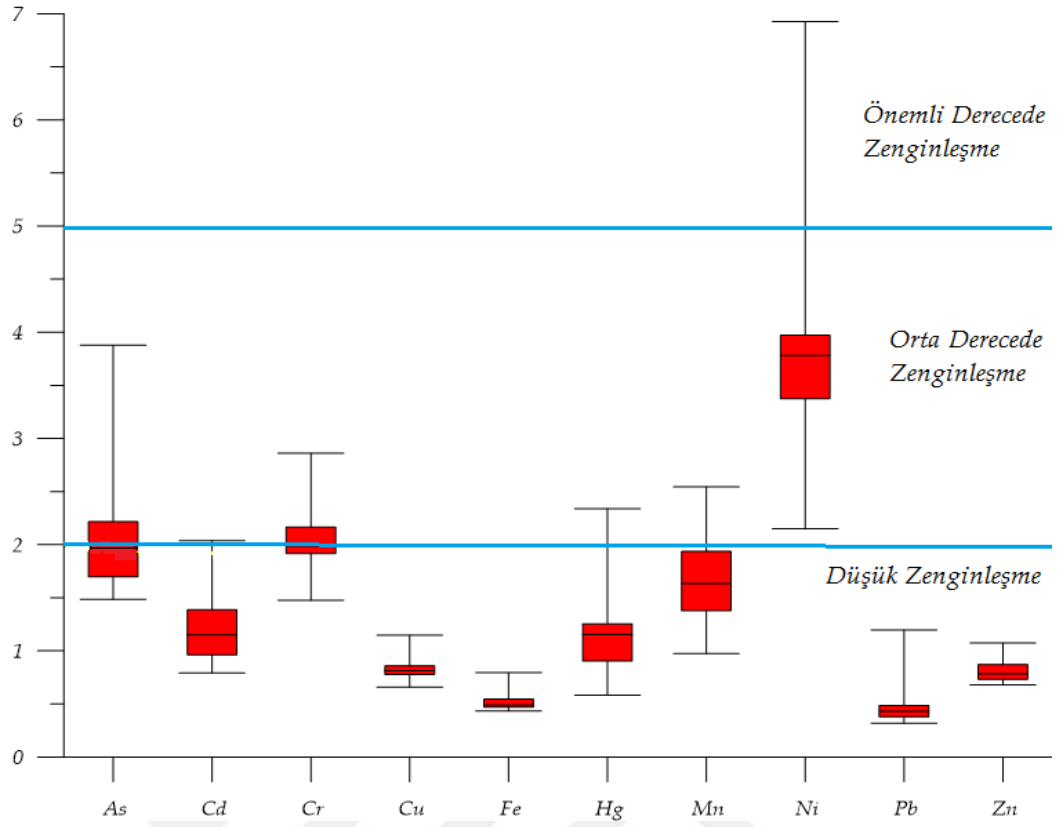
Şekil 104.Çinko'nun (Zn) Baraj Gölü Tabanındaki Zenginleşme Miktarı

Pb zenginleşme faktörü, baraj gölü tabanında diğer metallere göre farklı bir mekânsal dağılışa sahiptir. Baraj tabanında 0.32 – 1.20 aralığında değişen zenginleşme en yüksek değere 18. – 19. örnekleme noktaları ve yakın çevrelerinde ulaşmaktadır (Şekil 103). Bu durum 19. Örnekleme noktasındaki su kaynağının baraja Pb deşarj ettiğini göstermektedir.

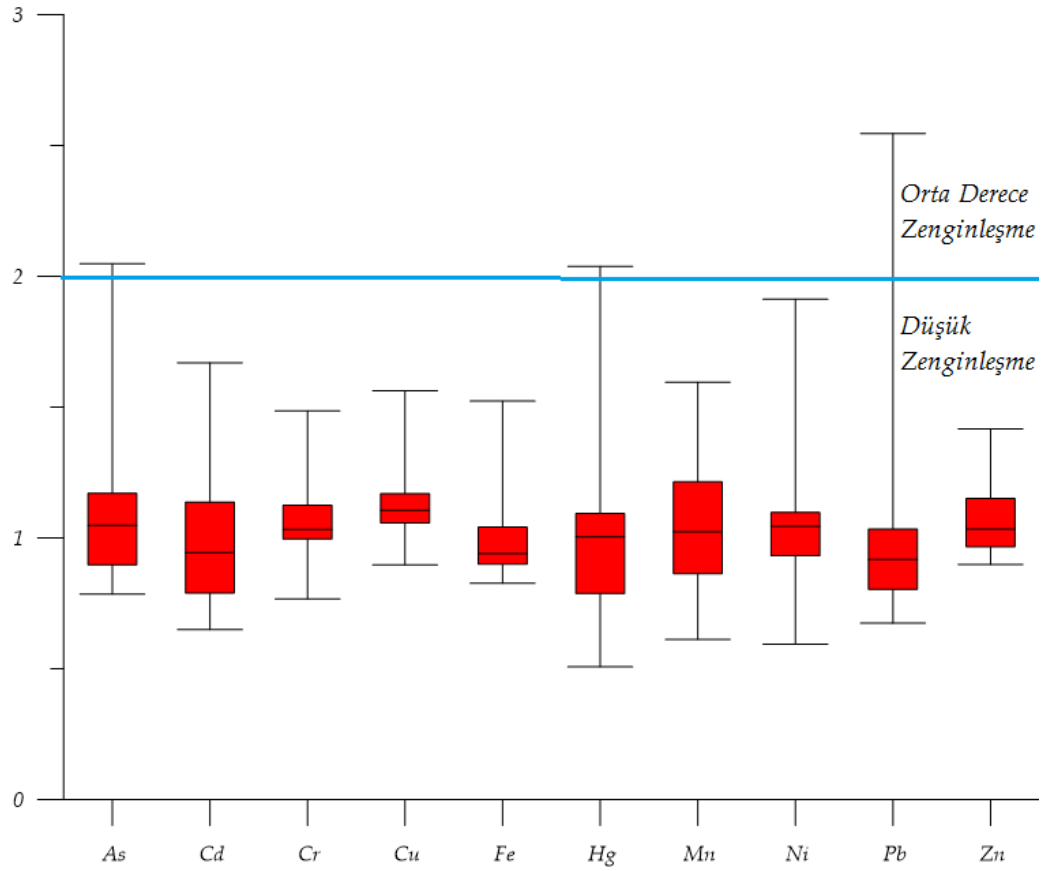
Zn zenginleşmesi baraj gölü tabanında 0.68 – 1.08 aralığında tespit edilmiş olup, en yüksek değer Bağirsak Dere ağzında ve yakın çevresindeki örnekleme noktalarında görülmüştür (Şekil 104). Bağirsak Dere kadar yüksek olmasa da; Kille Çayı, Koca Çay ve Çınarlı Dere ağızlarındaki düşük zenginleşme değerleri akarsu havzalarından antropojenik kaynaklı Zn deşarjı yapıldığını göstermektedir. Belirtilen akarsu ağızları ile birlikte 18. – 19. – 20. örnekleme noktalarında düşük Zn zenginleşmesi varken, geri kalan yerlerde zenginleşme tespit edilememiştir. Litolojik ardaan değerlerine göre zenginleşme faktörü değerleri $Ni > As > Cr > Mn > Cd > Hg > Cu > Zn > Fe > Pb$ şeklinde sıralanmaktadır. Bu değerlere göre; *Ni önemli derecede zenginleşme, As, Cr, Mn, Hg, Cd orta derecede zenginleşme, Pb, Cu, Zn, Fe ise düşük derecede zenginleşmiştir.*



Şekil 105. Karot Ardalan Değerlerine Göre Hesaplanmış Zenginleşme Faktörlerinin Mekânsal Dağılışı (Şakir Fural)



Şekil 106. Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Zenginleşme Faktörünün Box Whisker Diyagramı (Orijinal)



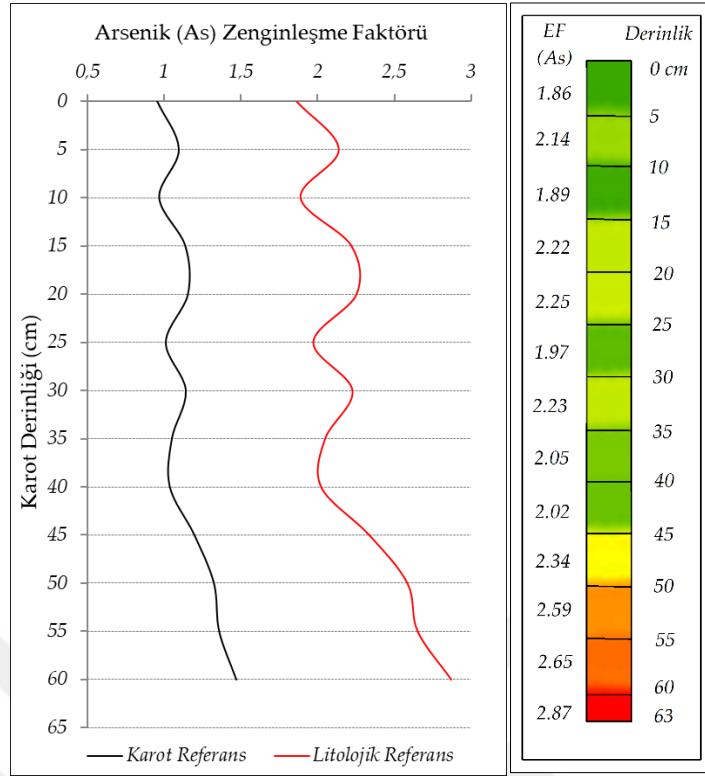
Şekil 107. Karot Ardalan Değerlerine Göre Zenginleşme Faktörünün Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

Karot ardalan değerlerinden elde edilen verilere göre, zenginleşme $Cu > As > Cr = Ni = Zn > Mn > Cd > Pb > Hg > Fe$ şeklindedir. Barajın kuruluşundan örneklerin alındığı 2019 yılına kadar geçen zamandaki metal zenginleşmesini gösteren veriler değerlendirildiğinde; *Pb, As, Hg metalleri orta, diğer metaller düşük seviyede zenginleşmiştir.* (Şekil 105). Zenginleşme faktörü sıralamanın değişmesinde etkili olan faktörler karot ve litolojik ardalan değerlerinin kapsadığı zaman aralığının değişkenliği ile ardalan değerleri arasındaki konsantrasyon farklarıdır. Barajın kurulmasından (1991) örneklerin alındığı 2019 yılına kadar geçen 28 yıllık sürede ortaya çıkan ardalan değerleri ile barajın yapımı öncesi dönemden 2019 yılına kadar gelen süreçteki değerler arasında önemli farklar bulunmaktadır (Çizelge 7).

Box Whisker diyagramları incelendiğinde, litolojik ardalan değerlerine göre hesaplanan zenginleşme faktörlerinin medyanının karot ardalan değerlerine göre hesaplanan zenginleşme faktörünün medyanından (*Cu, Fe, Pb, Zn hariç*) yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda bahsi geçen metallerin barajın yapımından örneklerin alındığı 2019 yılına kadar, baraj yapımı öncesinden daha fazla zenginleştiğini göstermektedir (Şekil 106 – 107).

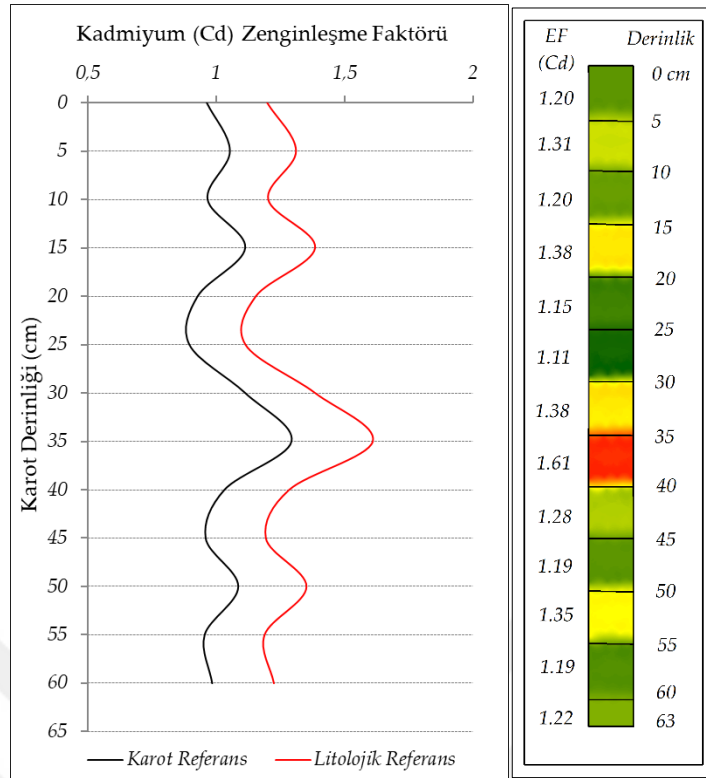
6.5.2. Zenginleşme Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Dikey Dağılışı

Zenginleşme faktörünün dikey dağılışı antropojenik kaynaklı metal kirliliğinin zaman içerisinde nasıl değiştiğinin tespit edilmesi için son derece önemlidir. Metallerin zenginleşme faktörü karot içerisinde bazen dalgalanmalar şeklinde farklı değerler gösterirken, bazı durumlarda düzenli artış ve azalış eğilimleri göstermiştir. Bu kapsamda yapılan değerlendirmede artış eğilimli dalgalanmalar baraj gölü içerisine antropojenik kaynaklı metal deşarj olması, azalma eğilimli dalgalanmalar metal deşarjının kesintiye uğraması olarak yorumlanmıştır. Karot içerisindeki düzenli artışlar antropojenik kaynaklı ve uzun süre devam eden metal deşarjı, düzenli azalışlar ise uzun süre kesintiye uğrayan antropojenik kaynaklı metal deşarj sürecini işaret etmektedir. Metallerin dikey dağılışının incelenmesinde karot ardalan değerleri ve litolojik ardalan değerlerinden elde edilen bulgular kullanılmıştır. Gerekli görülen yerlerde farklı ardalan değerlerinden elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır.



Şekil 108. As Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)

As zenginleşme faktörünün dikey dağılışı karot ardalan değerlerine göre 0.95 - 1.47, litolojik ardalan değerlerine göre 1.86 – 2.47 aralığında değişmekte olup en yüksek değer karotun taban seviyesi olan 60 – 63 cm dilimleri arasında tespit edilmiştir (Şekil 108). Litolojik ardalan değerlerine göre karot tabanından 40 – 45 cm dilimleri aralığına kadar orta düzeyde zenginleşen As, karot yüzeyine doğru azalma eğilimine girmiştir. As zenginleşme faktörünün dikey dağılışının 0 - 5 cm diliminde azalma eğilimine girmesi metalin baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı ile ilgilidir. Çünkü Koca Çay, Kille Çayı ve Bağrsak Dere baraj gölüne antropojenik kaynaklı As deşarjı gerçekleştirilmemektedir (Şekil 66).



Şekil 109. Cd Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)

Cd zenginleşme faktörü karot ardalan değerlerine göre $0.89 - 1.29$, litolojik ardalan değerlerine göre $1.11 - 1.61$ arasında değişirken, en yüksek seviyeye 35 – 40 cm dilimleri arasında ulaşmıştır. Litolojik ardalan değerlerine göre karot tabanında 1.22 olan zenginleşme faktörü, 35 – 40 cm dilimine kadar küçük dalgalanmalar gerçekleştirirken bahsi geçen aralıkta ani bir artış yapmıştır. Zenginleşme faktörü 5 – 10 cm dilimine kadar küçük dalgalanmalar yapmış ancak 0 - 5 cm diliminde azalma eğilimine geçmiştir (Şekil 109). Ancak, Cd zenginleşme faktörünün mekânsal dağılışı incelendiğinde havzanın drenaj yoğunluğu en yüksek olan Koca Çay ile en düşük drenaj yoğunluğunu sahip olan Çınarlı Dere'nin baraj gölüne antropojenik kaynaklı metal deşarj etmeye başladığı görülmektedir (Şekil 67). Kille Çayı'nın baraj gölüne metal deşarj etmemesi zenginleşme faktörünün azalma eğiliminde kalmasını sağlamaktadır. Ancak, akarsuların drenaj özellikleri göz önüne alındığında Koca Çay havzasında Cd'nin antropojenik kaynağının tespit edilip önlem alınmaması durumunda Cd zenginleşme faktörünün artış eğilimine geçmesi beklenmektedir.

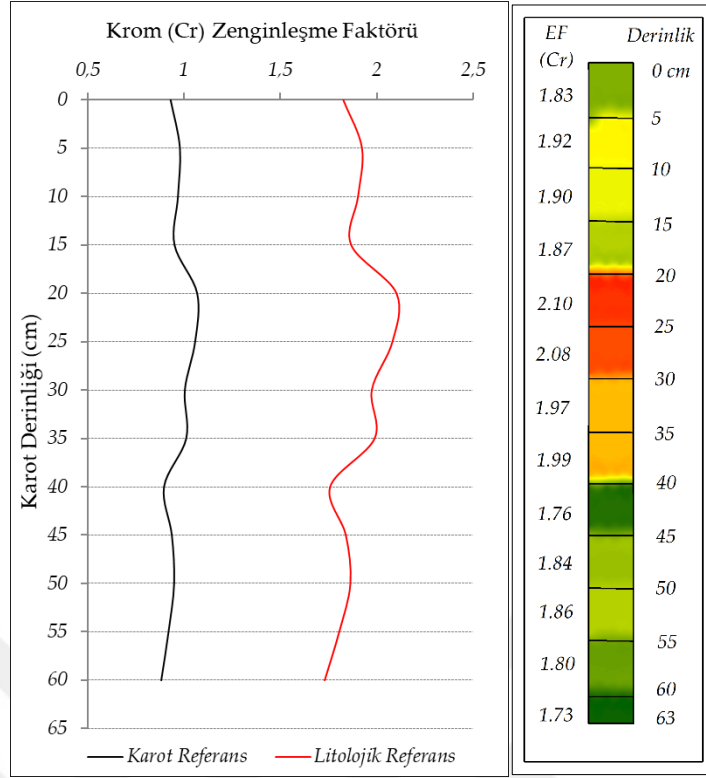
Cr zenginleşme faktörü karot ardalan değerlerine göre $0.88 - 1.07$, litolojik ardalan değerlerine göre $1.73 - 2.10$ aralığında değişmektedir. Karot tabanında düşük değerlerde olan zenginleşme faktörü, 30 – 40 cm dilimleri arasında orta dereceye yakın, 20 – 30 cm dilimleri arasında orta derecede zenginleşmiştir. Ardından tekrar

azalan zenginleşme 5 – 10 cm dilimleri aralığında küçük bir artış göstererek 0 - 5 cm diliminde tekrar azalmaya başlamıştır (Şekil 110). Cr zenginleşme faktörünün baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı incelendiğinde; baraj gölü havzasının drenaj yoğunluğu en fazla olan akarsuyu Koca Çay'ın Cr deşarjı gerçekleştirmediği görülmektedir (Şekil 68).

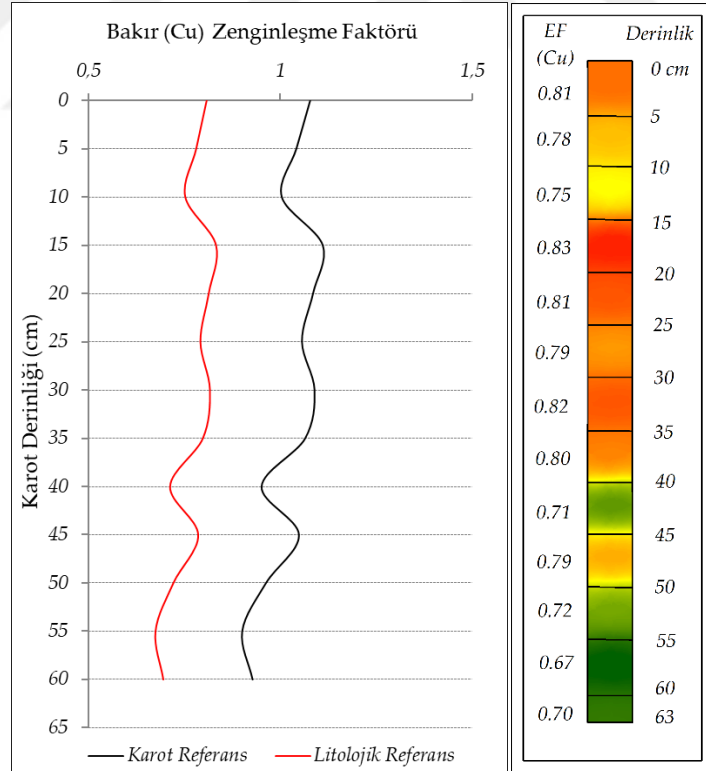
Cu zenginleşme faktörü karot ardaan değerlerine göre $0.93 - 1.11$, litolojik ardaan değerlerine göre $0.67 - 0.83$ arasında tespit edilmiştir. Karot tabanında en düşük değerde olan Cu zenginleşmesi, 30 – 40 cm dilimleri arasında yükselişe geçmiş, 15 – 20 cm aralığında azalmaya başlamış, ardından 5 – 10 cm dilimleri arasında tekrar artmıştır. Cu zenginleşmesi 0 - 5 cm diliminde artış eğilimi içerisindedir (Şekil 111). Kille Çayı, Bağırsak Dere, Çınarlı Dere ve Koca Çay'ın baraj gölüne belirli miktarlarda metal deşarjı gerçekleştirmesi çökel içerisindeki Cu zenginleşme miktarının artmasına neden olmaktadır (Şekil 69).

Fe zenginleşme faktörü karot ardaan değerlerine göre $0.91 - 1.02$, litolojik ardaan değerlerine göre $0.49 - 0.55$ aralığında değişmekte olup, en yüksek değer 35 – 40 cm dilimleri arasında tespit edilmiştir. Litolojik ardaan değerlerine göre karot tabanında 0.52 olan zenginleşme faktörü dalgalanmalar şeklinde artıp azalarak 0 - 5 cm diliminde 0.50 seviyelerinde seyretmektedir (Şekil 112). Fe zenginleşmesinin 0 - 5 cm diliminde artış eğilimine geçmesi diğer metallerde olduğu gibi baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı ile sıkı ilişkiler içerisindedir. Mekânsal dağılışı haritaları incelendiğinde baraj havzasındaki bütün akarsuların ve 19. örnekleme noktasındaki su kaynağının baraj gölüne litolojik kaynaklı Fe deşarj ettiği görülmektedir (Şekil 70).

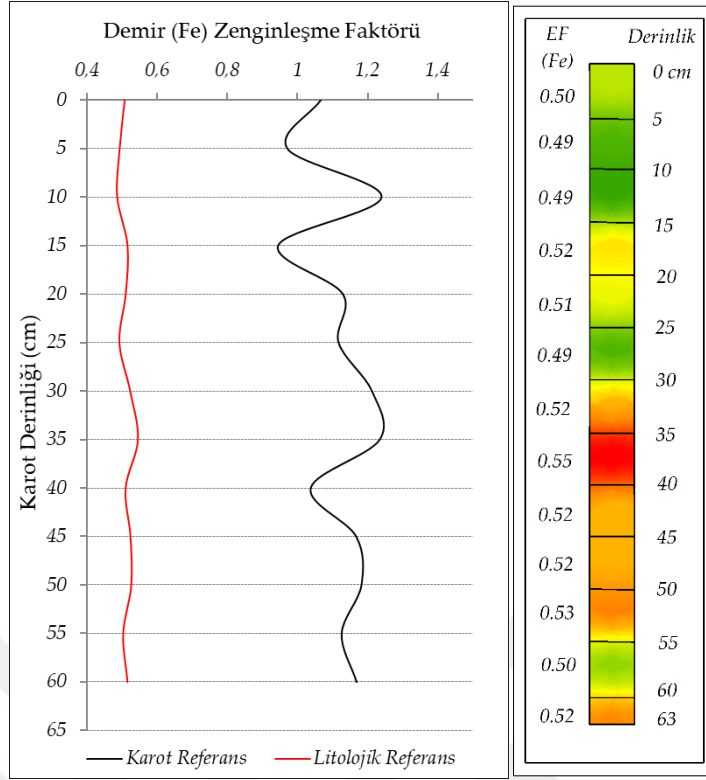
Hg zenginleşme faktörü karot ardaan değerlerine göre $0.95 - 1.24$, litolojik ardaan değerlerine göre $1.14 - 1.45$ arasında değişmekte olup en yüksek değer 35 – 40 ve 10 – 15 cm dilimleri arasında tespit edilmiştir. Hg zenginleşmesi 0 - 5 cm diliminde artış eğilimindedir (Şekil 113). Bu durumun sebebi Kille Çayı dışında kalan bütün akarsuların baraj gölüne Hg deşarj etmesidir (Şekil 71). Ayrıca 21. örnekleme noktası yakınındaki süreksiz akarsu kolu baraja orta derecede zenginleşme seviyesinde olan Hg deşarjı gerçekleştirmektedir. 21. örnekleme noktasına yakın bir alandan yapılan litolojik örneklemeden elde edilen veriler Hg kaynağının litolojik faktörler olduğunu göstermiştir.



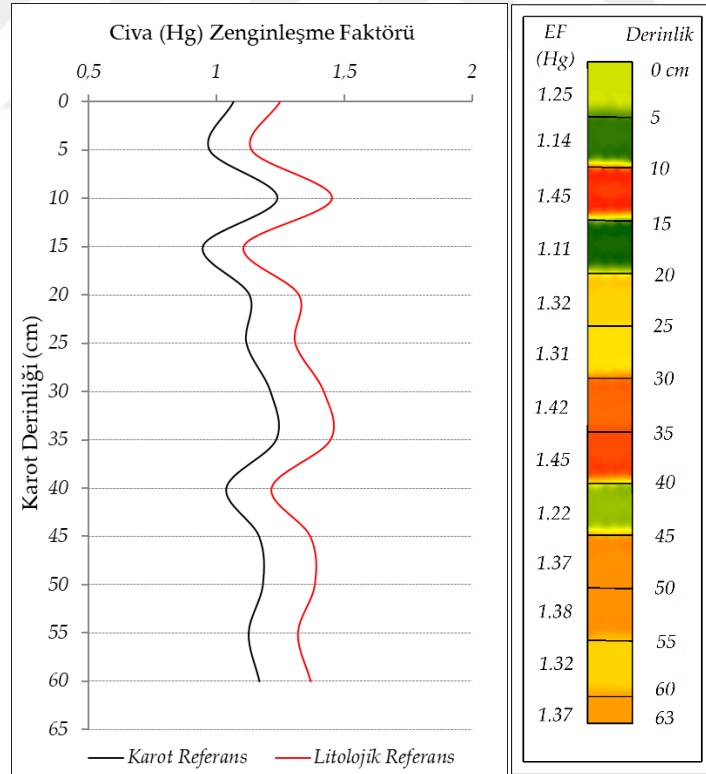
Şekil 110. Cr Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



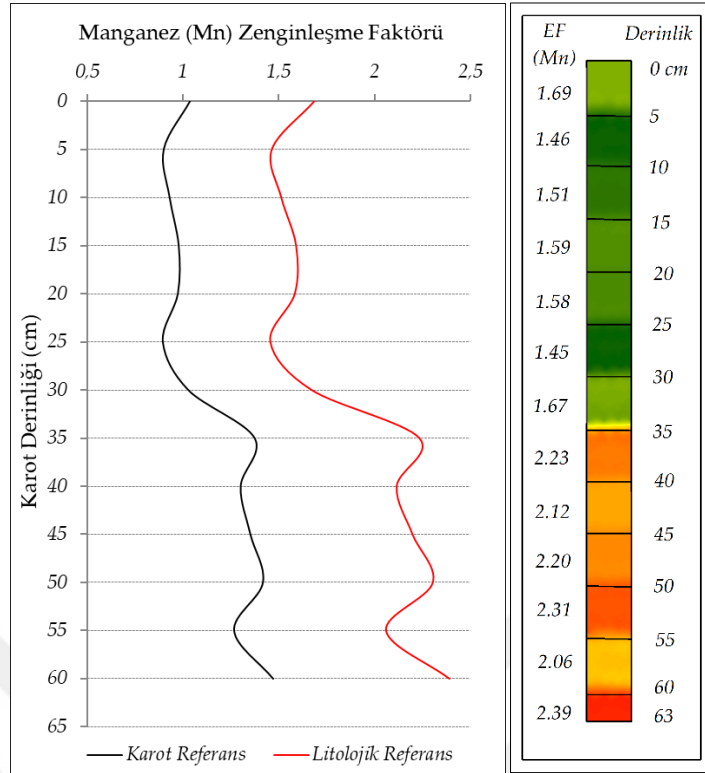
Şekil 111. Cu Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



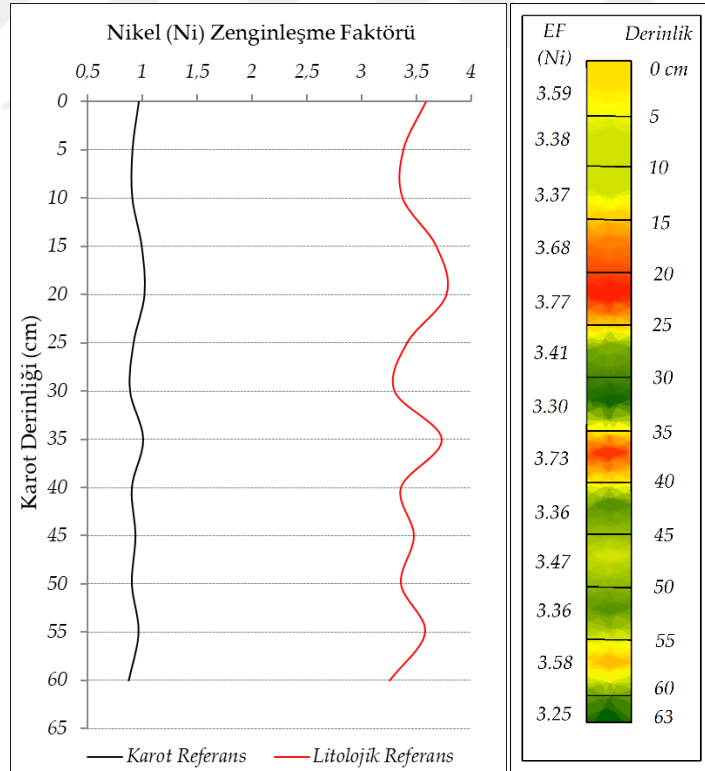
Şekil 112. Fe Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



Şekil 113. Hg Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



Şekil 114. Mn Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



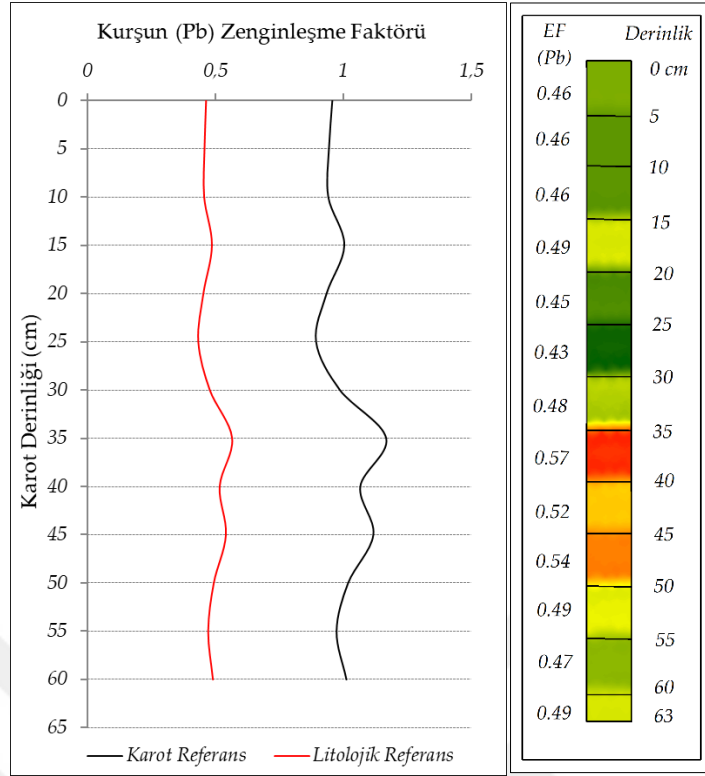
Şekil 115. Ni Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)

Mn zenginleşme faktörü karot ardalan değerlerine göre $0.89 - 1.47$, litolojik ardalan değerlerine göre $1.46 - 2.39$ arasında tespit edilmiştir. Karot tabanından 30 – 35 cm dilimlerine kadar orta derecede zenginleşme gerçekleşmiştir. Kısa süreli bir azalmanın ardından 15 – 25 cm dilimleri aralığında tekrar artışa geçen zenginleşme faktörü 5 – 10 cm dilimleri arasında azalmaya başlamıştır (Şekil 114). Mn zenginleşmesinin 0 - 5 cm diliminde artış eğiliminde olmasının nedeni bütün akarsuların baraj gölüne Mn deşarj etmesidir (Şekil 72).

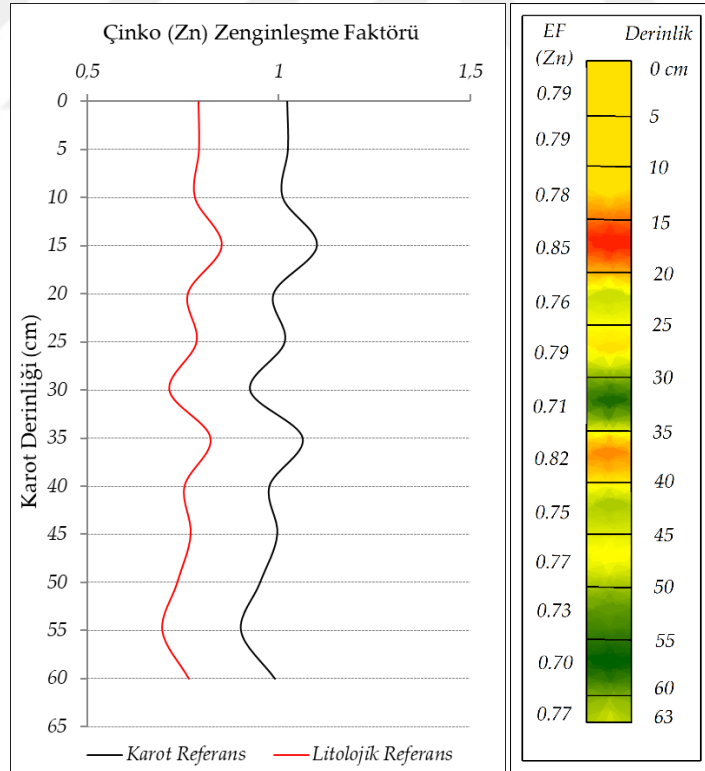
Ni zenginleşmesi karot ardalan değerlerine göre $0.88 - 1.02$, litolojik ardalan değerlerine göre $3.25 - 3.77$ arasındadır. Litolojik ardalan değerlerine göre karot tabanından 0 – 5 cm dilimine kadar orta derecede zenginleşme gerçekleşmiştir. 5 – 10 cm dilimleri arasında azalmaya başlayan zenginleşme 0 - 5 cm diliminde tekrar artış eğilimine geçmiştir (Şekil 115). Nikel zenginleşmesinin 0 - 5 cm diliminde artış eğilimine geçmesinin sebebi havzanın en büyük ikinci drenaj yoğunluğuna sahip olan Kille Çayı ile üçüncü büyük drenaj ağına sahip olan Çınarlı Dere'nin baraj gölüne Ni deşarj etmesidir (Şekil 73).

Pb zenginleşme faktörü karot ardalan değerlerine göre $0.89 - 1.17$, litolojik ardalan değerlerine göre $0.43 - 0.57$ arasında değişmekte olup en yüksek değer 35 – 40, en düşük değer 25 – 30 cm aralığında görülmektedir. Karot tabanında düşük değerlere yakın olan zenginleşme faktörü, dalgalanmalar şeklinde artarak 35 – 40 cm dilimlerinde en yüksek değere ulaşmış, ardından 25 – 30 cm dilimleri arasında en düşük değere inmiştir. 15 – 20 cm dilimleri arasında artan zenginleşme, 10 – 15 cm dilimlerinde tekrar azalmış ardından 0 - 5 cm diliminde artış eğilimine girmiştir (Şekil 116). Bu artışın sebebi Koca Çay, Bağırsak Dere ve Çınarlı Dere ile 19. örnekleme noktasında yer alan su kaynağının baraj gölüne Pb deşarj etmesidir (Şekil 74).

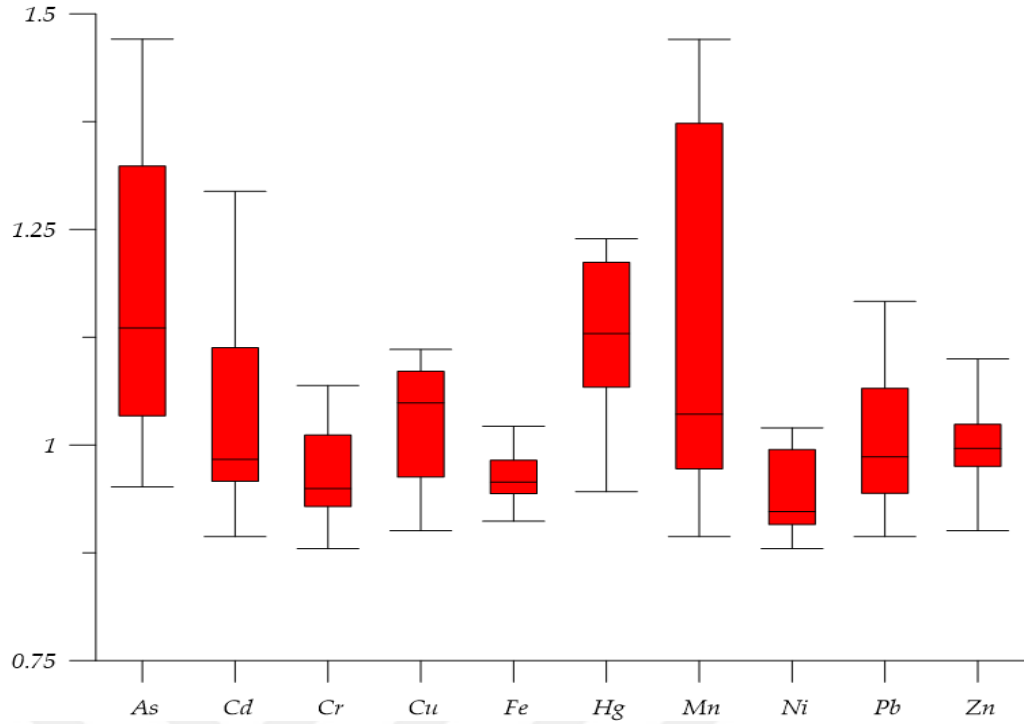
Zn zenginleşme faktörü karot ardalan değerlerine göre $0.90 - 1.10$, litolojik ardalan değerlerine göre $0.71 - 0.85$ aralığında değişmektedir. Litolojik ardalan değerlerine göre Karot tabanında 0.77 olan zenginleşme 55 – 60 cm diliminde azalmış, sonrasında 35 – 40 cm dilimlerine kadar artmıştır. 30 – 35 cm dilimlerinde tekrar azalan zenginleşme 15 – 20 cm dilimlerinde en yüksek değere ulaşmıştır. Ardından küçük bir azalma gösteren Zn zenginleşme faktörü 0 - 5 cm diliminde artış eğilimine geçmiştir. Zn zenginleşmesinin artış eğilimine geçmesi başta Bağırsak Dere ve yakınındaki süreksiz akarsular ile Koca Çay, Kille Çayı ve Çınarlı Dere'nin baraj gölüne antropojenik kaynaklı Zn deşarj etmesine bağlıdır (Şekil 75).



Şekil 116. Pb Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)

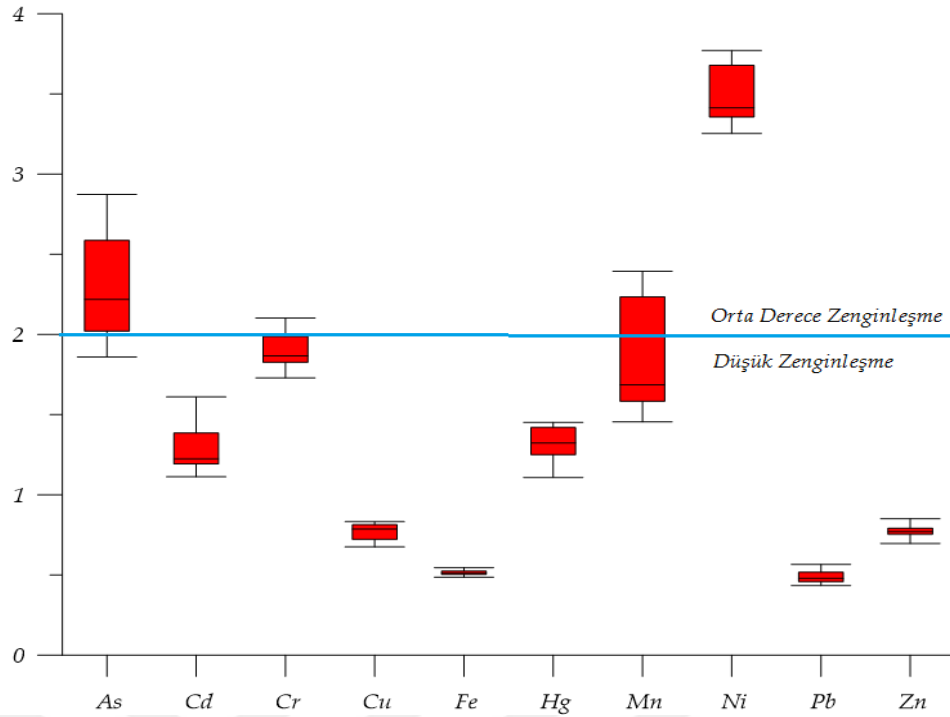


Şekil 117. Zn Zenginleşme Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



Şekil 118. Karot Ardanan Değerlerine Göre Zenginleşme Faktörünün (EF) Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

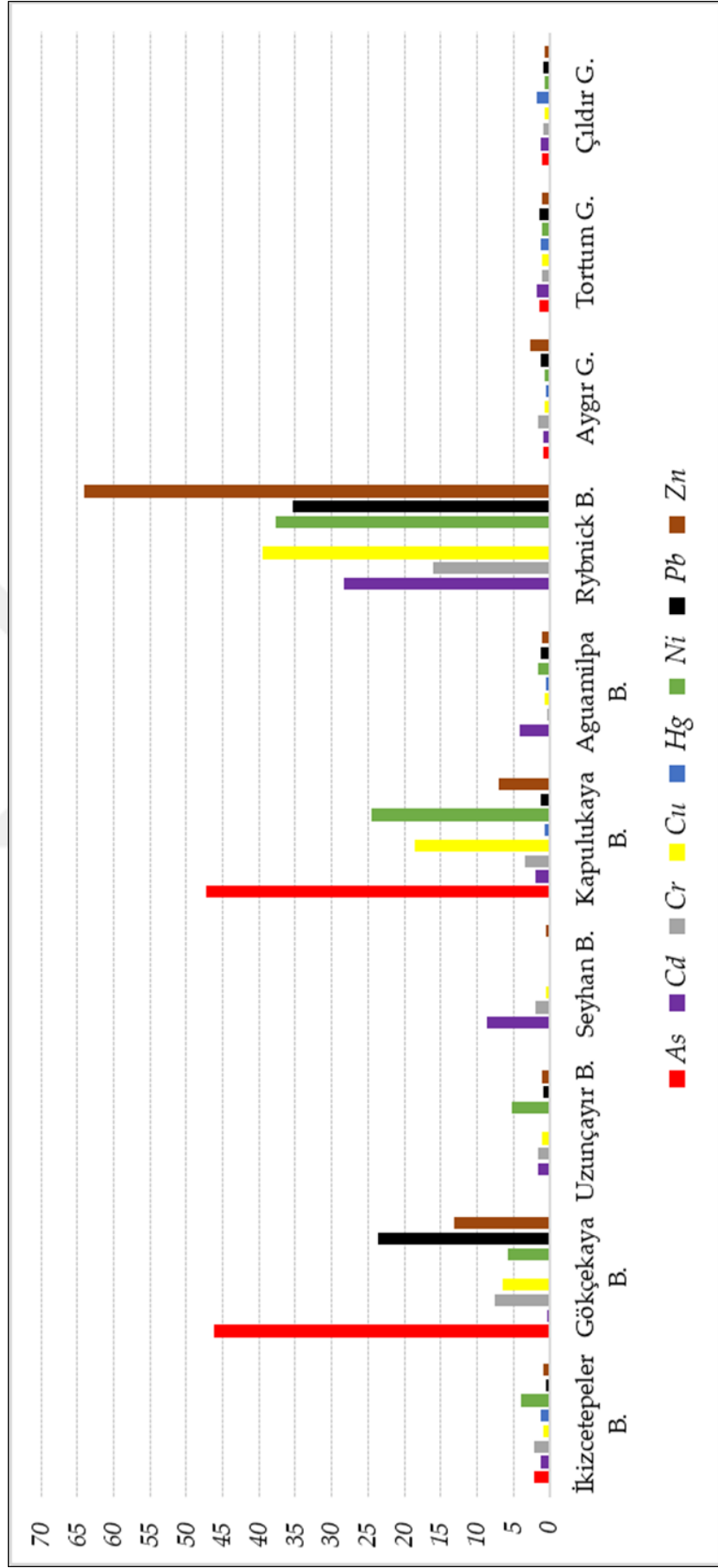
Elde edilen bulguların daha kapsamlı şekilde yorumlanabilmesi için karot ve litolojik ardanan değerlerine göre hesaplanan zenginleşme faktörü verileri kullanılarak Box Whisker diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 118 ve 119). Box Whisker diyagram verileri incelendiğinde; karot ardanan değerlerine göre bütün metallerde düşük seviyede zenginleşme tespit edilmiştir (Şekil 118). Zenginleşme faktörü karot ardanan değerlerine göre; $Mn > As > Hg > Cd > Cu > Pb = Zn > Fe > Cr > Ni$, litolojik ardanan değerlerine göre; $Ni > As > Cr > Mn > Hg > Cd > Cu = Zn > Fe > Pb$ şeklinde sıralanmaktadır. Zenginleşme faktörünün dikey dağılışında dikkat çeken bir diğer husus mekânsal dağılışıta olduğu gibi *Cu*, *Fe*, *Pb* ve *Zn*'nin karot ardanan değerlerine göre hesaplanan zenginleşme faktörlerinin, litolojik ardanan değerlerine göre hesaplanan zenginleşmeden yüksek olmasıdır. Karot ardanan değerleri barajın faaliyete geçtiği 1991 yılından 2019'a kadar gelen süreci kapsarken, litolojik ardanan değerleri baraj yapımı öncesini kapsayan dönemden 2019'a kadar olan süreç hakkında fikir vermektedir. Bu durumda bahsi geçen metaller 28 yıllık sürede baraj yapılmadan önceki dönemden daha fazla zenginleşmiştir. Çünkü, mülakatlardan elde edilen bilgilere göre 1991 yılı sonrasında barajın ve sulama kanallarının kurulmasıyla havzada kuru tarım yapılan alanlarda sulu tarıma geçilmiş ve faal olarak kullanılmayan araziler ekilmeye başlamıştır.



Şekil 119. Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Zenginleşme Faktörünün (EF) Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

İnceleme alanında yapılan arazi çalışmalarında kimyasal gübrelerin yoğun olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Kimyasal gübrelerin kimyasal bileşiminde *Cu*, *Fe*, *Zn* metalleri bulunmaktadır (Tokatlı vd., 2017). *Pb* gübre içeriklerinde bulunmamaktadır. Ancak 19. örnekleme noktasında bulunan su kaynağının baraj altında kalmasıyla doğrudan baraj gölü içerisine deşarj yapmaktadır. Bu nedenle, karot ardalan değerine göre hesaplanan *Pb* zenginleşmesi litolojik ardalan değerlerine göre yüksek çıkmıştır.

Çalışma kapsamında litolojik ardalan değerlerinden elde edilen ortalama zenginleşme faktörü verileri mevcut literatürdeki bazı barajlar ve göller ile karşılaştırıldığında; İkizcetepeler Baraj Gölü'nde gerçekleşen antropojenik etkilerin Gökçekaya, Kapulukaya ve Rybnick Barajları'na göre oldukça düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 8). Barajların yapım tarihi dikkate alındığında, İkizcetepeler Baraj Gölü antropojenik etki bakımından diğer baraj ve göllere göre avantajlı durumdadır. *Ni* ve *As* zenginleşmesi dışında Aygır, Çıldır ve Tortum Gölü ile benzer zenginleşme faktörü tespit edilen baraj gölü *Cd* zenginleşmesi bakımından Seyhan ve Aguamilpa Barajı'ndan iyi durumdayken, *Ni* ve *As* zenginleşmesinin fazlalığı bakımından baraj gölleri arasında dikkat çekmektedir (Şekil 120). Ancak yapılan değerlendirmelerde *Ni* ve *As*'nin bazı bölgelerde doğal bazı bölgelerde antropojenik kaynakları tespit edilmiştir.



Şekil 120. Mevut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göllerin Zenginleşme Faktörü Karşılaştırması (Orijinal)

Çizelge 8. Mevut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göllerin Zenginleşme Faktörü Karşılaştırması

Lokasyon	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
İkizcetepeler B.	2.07	1.24	2.05	0.84	1.16	3.87	0.48	0.81
Gökçekaya B. ¹	46.13	0.25	7.58	6.54		5.77	23.59	13.09
Uzunçayır B. ²		1.61	1.61	0.97	0.07	5.27	0.83	0.97
Seyhan B. ³		8.55	1.91	0.41				0.55
Kapulukaya B. ⁴	47.35	1.89	3.42	18.51	0.64	24.44	1.13	7.03
Aguamilpa B. ⁵		4.04	0.31	0.61	0.46	1.55	1.22	1.11
Rybnick B. ⁶		28.32	15.94	39.58		37.65	35.38	64.11
Aygır G. ⁷	0.80	0.90	1.50	0.60	0.55	0.70	1.30	2.70
Tortum G. ⁸	1.35	1.79	1.01	1.06	1.19	1.07	1.34	1.04
Çıldır G. ⁹	1.1	1.2	0.8	0.7	1.8	0.6	0.8	0.7

¹Kırmızıgül, 2013 ²Kutlu, 2018 ³Çevik, 2009 ⁴Başaran 2010 ⁵Peraza 2015 ⁶Krzysztof, 2003 ⁷Kükrer 2018 ⁸Kükrer 2016 ⁹Kükrer vd., 2015.

Barajların işletmeye alındığı yıllar: İkizcetepeler Baraj Gölü 1991, Uzunçayır Barajı 2003, Gökçekaya Barajı 1972, Seyhan Barajı 1956, Kapulukaya Barajı 1989, Aguamilpa Barajı 1993, Rybnick Barajı 1997.

6.6. Jeoakümülyasyon İndeksi

Jeoakümülyasyon indeksi, metallerin yarattığı kirlilik seviyesi ve kaynağının doğal ya da antropojenik olup olmadığının değerlendirildiği ekolojik risk indekstir (Meng ve Li, 1985). Çalışma kapsamında litolojik ve karot ardaian değerlerine göre indeks hesaplamaları yapılmış, elde edilen bulgular grafikler ile karşılaştırılmıştır.

Jeokümülyasyon indeksi bulguları < 0 Kirletilmemiş, 0 – 1 arası az kirletilmiş, 1 – 3 arası orta derecede kirletilmiş, 3 – 4 arası kuvvetli derecede kirletilmiş, 5 > çok kuvvetli derecede kirletilmiş şeklinde yorumlanmaktadır (Müller, 1969). İndeks hesaplamalarında analitik prosedür gereği - (eksi) değerler çıkabilmektedir. Eksi değerler inceleme alanının kirletilmediğini göstermektedir.

Çalışma kapsamında litolojik ardaian değerlerinden elde edilen jeoakümülyasyon indeksi ortalamalarına göre; baraj gölü *Fe* ve *Pb* metalleri ile kirletilmemiş, *Al*, *Cd*, *Cu*, *Hg*, *Zn* metalleri ile az kirletilmiş, *As*, *Cr*, *Mn* metalleri ile orta derecenin en alt limitlerinde, *Ni* metali ile orta derecede kirletilmiştir (Çizelge 9). Litolojik ardaian değerlerine göre hesaplanan ortalama jeoakümülyasyon indeksi $Ni > Cr > As > Mn > Cd > Hg > Cu > Zn > Fe > Pb$ şekilde sıralanmaktadır.

Jeoakümülyasyon indeksi verilerine göre; *Ni* dışında diğer metaller için herhangi bir kirlilik riski söz konusu değildir. Ancak *As*, *Cr* ve *Mn* metallerinin indeks değerleri gelecek çalışmalarda takip altında tutulmalıdır.

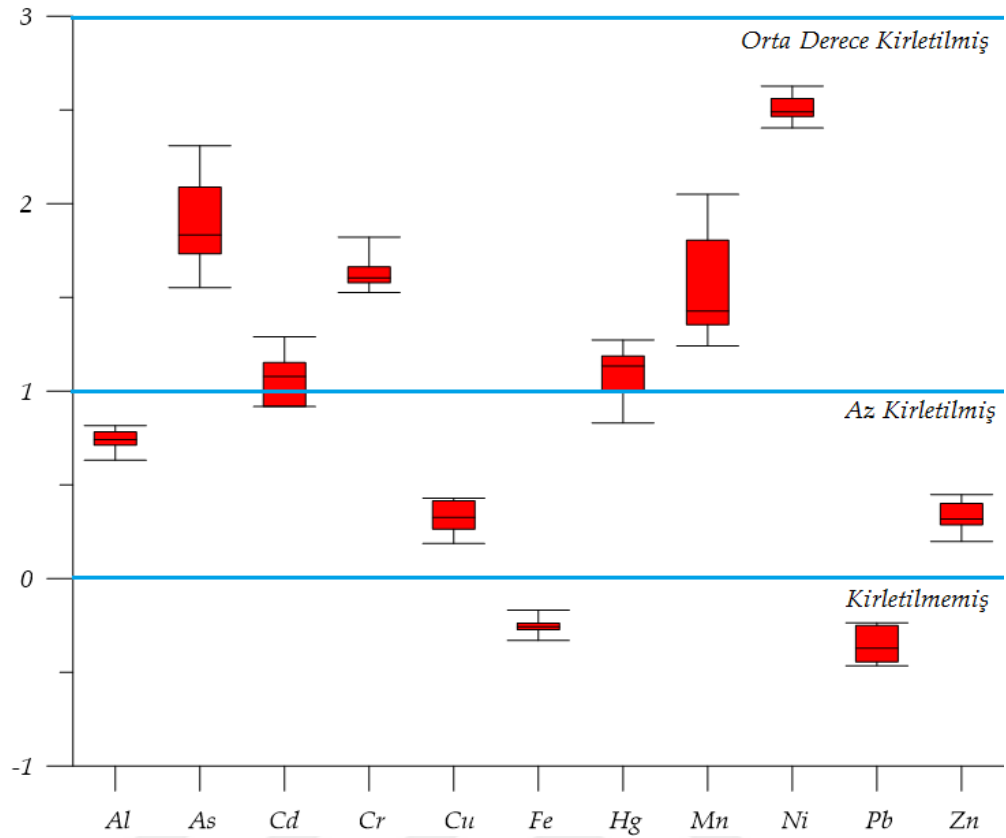
Yüzey çökellerinin karot ardalan değerleri dikkate alınarak hesaplanan jeoakümülyasyon indeksi Box Whisker diyagramlarına göre; baraj gölü *Mn, Hg, Ni tarafından az kirletilmiş, diğer metaller tarafından kirletilmemiştir* (Şekil 122).

Jeoakümülyasyon indeksinin baraj gölü tabanındaki dikey değişiminin incelenmesi için karot örnekleri üzerinde litolojik ardalan ve karot ardalan değerlerine göre indeks hesaplamaları yapılarak elde edilen bulgular grafikler ile karşılaştırılmıştır. Litolojik ardalanına göre yapılan indeks hesaplamalarına göre; baraj gölü tabanı *As, Cr, Mn, Hg, Cd tarafından orta derecenin alt limitlerinde, Ni tarafından orta derecede kirletilmiştir. Al, Zn, Pb ve Fe tarafından az kirletilen baraj gölü Fe ve Pb tarafından kirletilmemiştir* (Şekil 123). Metaller karot içerisinde litolojik ardalanına göre hesaplanan jeoakümülyasyon indeks verilerine göre; $Ni > As > Cr > Mn > Hg > Cd > Al > Zn > Fe > Pb$ şeklinde sıralanmaktadır. Karot içerisinde litolojik ardalan değerlerine göre, *Ni* dışında hiçbir metalde sorun tespit edilmemiştir.

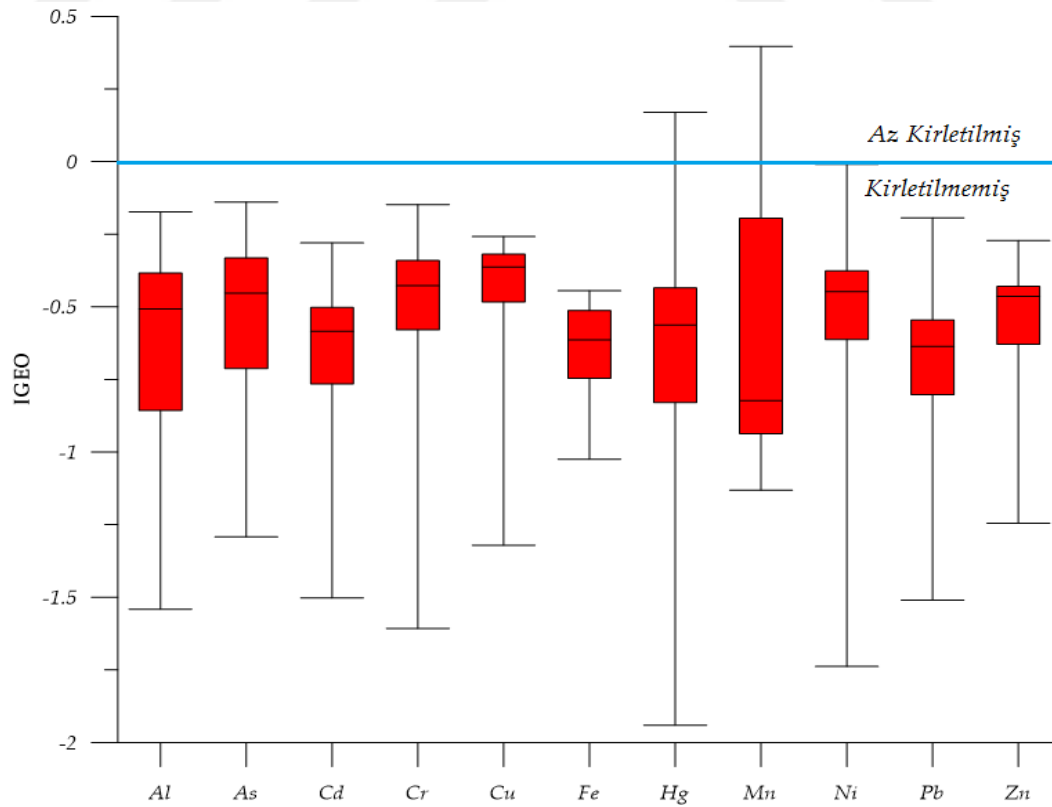
İkizcetepeler Baraj Gölü'nün jeoakümülyasyon indeks değerleri mevcut literatürdeki bazı baraj, göl ve akarsular ile karşılaştırıldığında *As, Cr, Mn, Ni* jeoakümülyasyon değerleri dikkat çekmektedir (Çizelge 11 ve Şekil 125). Barajda tespit edilen *As* jeoakümülyasyon indeksi değerleri; Gökçekaya ve Kapulukaya Barajı ile Ankara Çayı'ndan düşük, diğer alanlardan yüksektir. *Cr* ve *Mn* jeoakümülyasyon değerleri Asartepe Barajı dışında bütün sulak alanlardan yüksektir. *Ni* jeoakümülyasyon değerleri Kapulukaya ve Asartepe Barajı dışındaki bütün alanlardan yüksektir. Diğer metallerin detaylı karşılaştırması için Çizelge 11 ve Şekil 125 incelenmelidir.

**Çizelge 9. Yüzey Çökellerinin Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Hesaplanmış
Jeoakümülayon Değerleri**

Ör.N.	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
2	0,23	1,42	1,15	0,79	-0,06	-0,56	0,47	0,96	1,34	-0,68	0,10
3	0,49	1,57	1,15	1,23	0,27	-0,47	0,92	1,03	1,95	-0,50	0,17
4	0,14	1,67	1,00	1,49	0,20	-0,74	1,02	0,90	2,11	-0,53	0,05
5	0,59	1,36	1,00	1,60	0,49	-0,31	1,04	1,00	2,58	-0,53	0,34
6	0,64	1,66	0,83	1,58	0,40	-0,34	0,94	0,95	2,54	-0,50	0,33
7	0,64	1,51	1,00	1,63	0,38	-0,39	0,85	0,94	2,59	-0,41	0,28
8	0,72	1,50	0,92	1,72	0,47	-0,34	0,96	1,30	2,66	-0,49	0,38
9	0,61	1,69	1,00	1,62	0,30	-0,47	0,85	1,04	2,46	-0,50	0,19
10	0,80	1,79	1,00	1,78	0,45	-0,28	0,85	1,70	2,63	-0,52	0,35
11	0,83	1,74	0,74	1,79	0,39	-0,34	0,76	1,27	2,46	-0,40	0,36
12	0,94	2,00	0,83	1,88	0,50	-0,17	0,98	2,29	2,68	-0,49	0,38
13	0,98	1,75	0,92	1,77	0,40	-0,23	0,83	1,48	2,59	-0,42	0,49
14	0,86	1,98	1,08	1,75	0,49	-0,23	0,96	1,70	2,68	-0,35	0,39
15	1,04	1,81	1,08	1,93	0,44	-0,17	1,12	2,06	2,78	-0,31	0,53
16	0,78	1,93	0,74	1,71	0,44	-0,25	1,02	1,84	2,63	-0,42	0,47
17	0,53	1,94	1,15	1,49	0,29	-0,35	0,85	0,99	2,43	-0,24	0,30
18	-0,03	1,93	1,00	1,10	0,13	-0,53	0,66	0,93	2,06	-0,21	-0,13
19	-0,33	1,48	0,53	0,55	-0,55	-0,65	-0,13	0,89	1,63	-0,07	-0,43
20	0,16	1,37	0,83	1,33	0,29	-0,53	0,85	0,76	2,40	-0,55	0,19
21	0,36	0,93	0,83	1,62	0,42	-0,35	1,58	1,06	2,84	-0,68	0,41
22	0,27	0,99	0,53	1,79	0,47	-0,33	1,04	1,04	3,06	-0,80	0,37
23	0,76	1,78	1,22	1,82	0,45	-0,33	0,61	1,36	2,49	-0,52	0,31
24	0,87	1,84	0,92	1,81	0,44	-0,19	0,87	1,97	2,62	-0,46	0,36
25	0,88	1,76	1,08	1,84	0,51	-0,16	0,58	1,85	2,80	-0,55	0,46
26	0,75	1,90	0,92	1,80	0,41	-0,22	0,98	1,88	2,67	-0,62	0,34
27	0,75	1,74	0,42	1,87	0,46	-0,26	0,56	1,47	2,69	-0,70	0,37
28	0,93	1,53	0,64	2,01	0,44	-0,21	0,47	1,07	2,88	-0,73	0,54
29	0,80	1,40	0,74	1,89	0,39	-0,32	0,42	0,77	2,80	-0,79	0,38
30	0,69	1,33	0,64	1,93	0,36	-0,35	0,22	1,36	2,77	-0,87	0,40
31	0,26	0,85	0,00	1,59	0,03	-0,58	-0,53	1,07	2,70	-1,38	0,06
ORT:	0,60	1,60	0,86	1,62	0,34	- 0,36	0,75	1,30	2,52	- 0,54	0,29



Şekil 121. Yüzey Çökellerinin Litolojik Ardaan Değerlerine Göre Jeoakümülayson İndeksinin Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

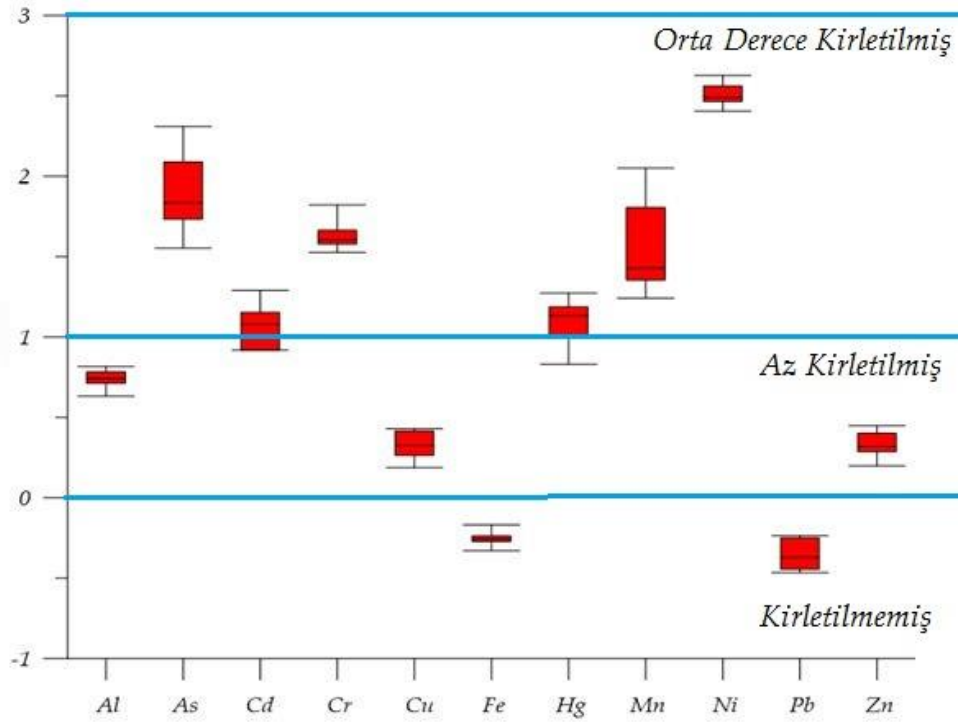


Şekil 122. Yüzey Çökellerinin Karot Ardaan Değerlerine Göre Jeoakümülayson İndeksinin Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

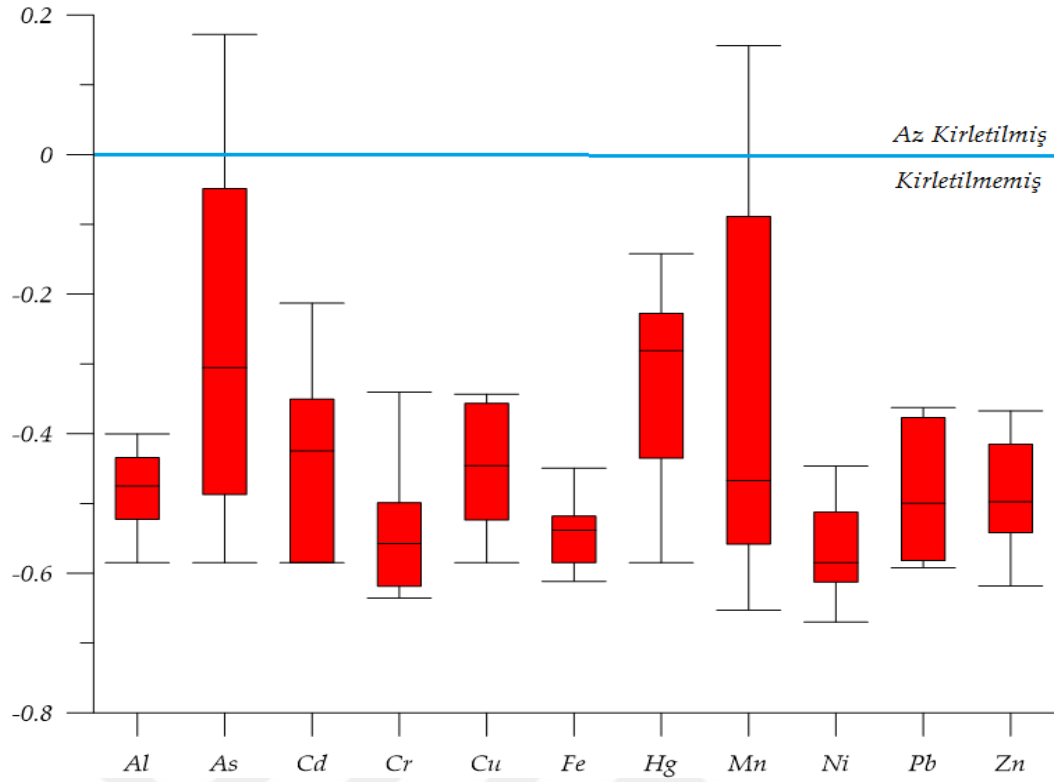
Çizelge 10. Karot Örneklerinin Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Hesaplanmış Jeoakümülayson Değerleri

Karot	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
0 -5	0,69	1,55	0,92	1,53	0,35	-0,32	0,98	1,42	2,50	-0,47	0,32
5 -10	0,72	1,78	1,08	1,63	0,33	-0,33	0,87	1,24	2,44	-0,45	0,35
10 -15	0,76	1,65	1,00	1,66	0,33	-0,30	1,27	1,34	2,49	-0,41	0,38
15 -20	0,71	1,83	1,15	1,58	0,42	-0,27	0,83	1,35	2,56	-0,37	0,45
20 -25	0,74	1,88	0,92	1,78	0,42	-0,26	1,12	1,38	2,63	-0,44	0,32
25 -30	0,79	1,74	0,92	1,82	0,43	-0,26	1,15	1,31	2,53	-0,46	0,42
30 -35	0,71	1,84	1,15	1,66	0,39	-0,25	1,19	1,43	2,40	-0,40	0,20
35 -40	0,63	1,64	1,29	1,59	0,28	-0,27	1,13	1,77	2,50	-0,24	0,32
40 -45	0,75	1,73	1,08	1,53	0,23	-0,25	1,00	1,80	2,46	-0,25	0,31
45 -50	0,69	1,89	0,92	1,54	0,32	-0,27	1,12	1,80	2,46	-0,24	0,29
50 -55	0,75	2,09	1,15	1,62	0,25	-0,21	1,19	1,93	2,46	-0,32	0,27
55 -60	0,78	2,16	1,00	1,60	0,19	-0,24	1,15	1,80	2,59	-0,35	0,23
60 -63	0,82	2,31	1,08	1,58	0,26	-0,17	1,24	2,05	2,49	-0,26	0,40
ORT	0,73	1,85	1,05	1,63	0,32	-0,26	1,10	1,59	2,50	-0,36	0,33

Karot ardalan değerlerine göre hesaplanan jeoakümülayson indeksi verilerine göre baraj gölü bütün metaller bakımından kirletilmemiştir. As ve Mn metalleri bazı karot dilimlerinde 0 değerini az miktarda geçerek az kirletilmiş sınıfına girmiştir. Ancak medyan değerlerine göre bahsi geçen metallerde kirletici durumunda değildir (Şekil 123).



Şekil 123. Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Hesaplanan Jeoakümülayson İndeksinin Box Whisker Diyagramı (Orijinal)



Şekil 124. Karot Ardalan Değerlerine Göre Hesaplanan Jeoakümülyasyon İndeksinin Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

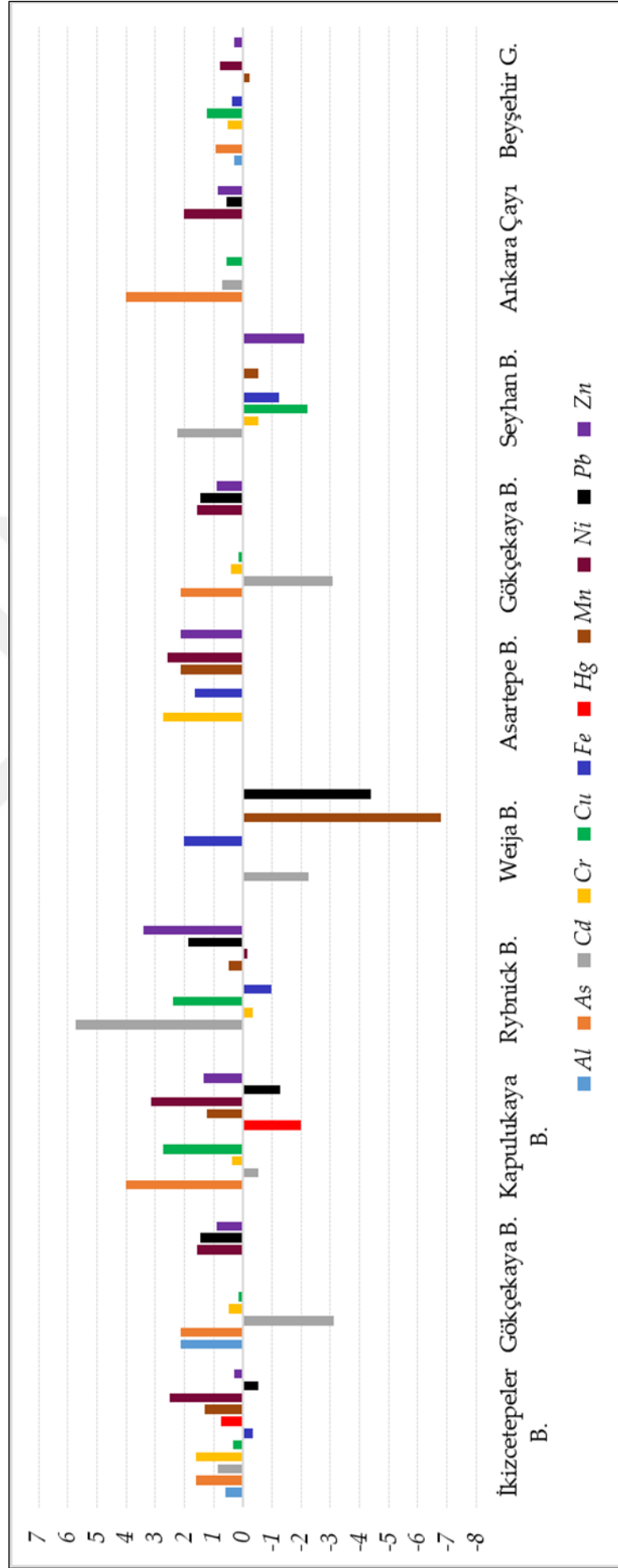
Çizelge 11. Mevut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göl ve Akarsuların Jeoakümülyasyon İndeksi Karşılaştırması

Lokasyon	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
İkizcetepeler B.	0.61	1.61	0.86	1.62	0.34	-0.36	0.75	1.31	2.52	-0.54	0.29
Gökçekaya B. ¹	2.11	2.11	-3.11	0.47	0.15				1.56	1.46	0.89
Kapulukaya B. ²		4.02	-0.55	0.35	2.73		-1.98	1.23	3.15	-1.28	1.36
Rybnick B. ³			5.72	-0.33	2.39	-0.99		0.48	-0.17	1.88	3.41
Weija B. ⁴			-2.27			2.01		-6.8		-4.41	
Asartepe B. ⁵				2.71		1.65		2.11	2.56		2.14
Gökçekaya B. ⁶		2.11	-3.1	0.42	0.15				1.56	1.46	0.89
Seyhan B. ⁷			2.25	-0.55	-2.21	-1.25		-0.55			-2.11
Ankara Çayı ⁸		4.01	0.71		0.55				2.01	0.54	0.85
Beyşehir G. ⁹	0.31	0.93		0.53	1.22	0.35		-0.23	0.79		0.31

¹Kırmızıgül,2013 ²Başaran, 2010 ³Krzysztof ,2003 ⁴Raphael, 2016 ⁵Tunç, 2015 ⁶Kırmızıgül 2013

⁷Çevik vd., 2009 ⁹Tunca 2016

Barajların işletmeye alındığı yıllar: İkizcetepeler Baraj Gölü 1991, Gökçekaya Barajı 1972, Seyhan Barajı 1956, Kapulukaya Barajı 1989, Rybnick Barajı 1997, Weija Barajı 2001, Asartepe Barajı 1980



Şekil 125. Mevut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göl ve Akarsuların Jeokümülatasyon İndeksi Karşılaştırması (Original)

6.7. Kontaminasyon Faktörü

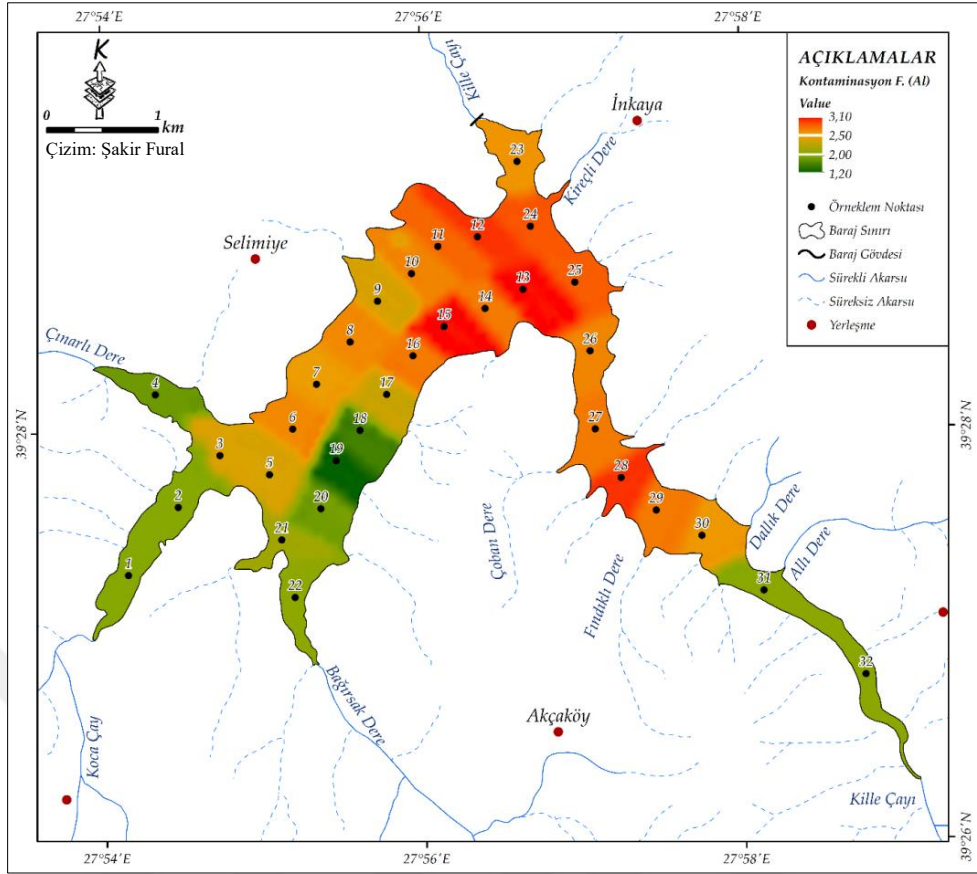
Kontaminasyon faktörü zenginleşme faktörü gibi antropojenik etkileri belirlemek amacıyla geliştirilmiş bir ekolojik risk indeksidir. Çalışmada elde edilen bulgular Hakanson (1980) tarafından geliştirilen şu skalaya göre değerlendirilmiştir; $CF < 1$ düşük derecede kontaminasyon, $1 \leq CF < 3$ orta derecede kontaminasyon, $3 \leq CF < 6$ yüksek derecede kontaminasyon, $CF > 6$ çok yüksek derecede kontaminasyon değerleri olarak belirlenmiştir.

6.7.1. Kontaminasyon Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı

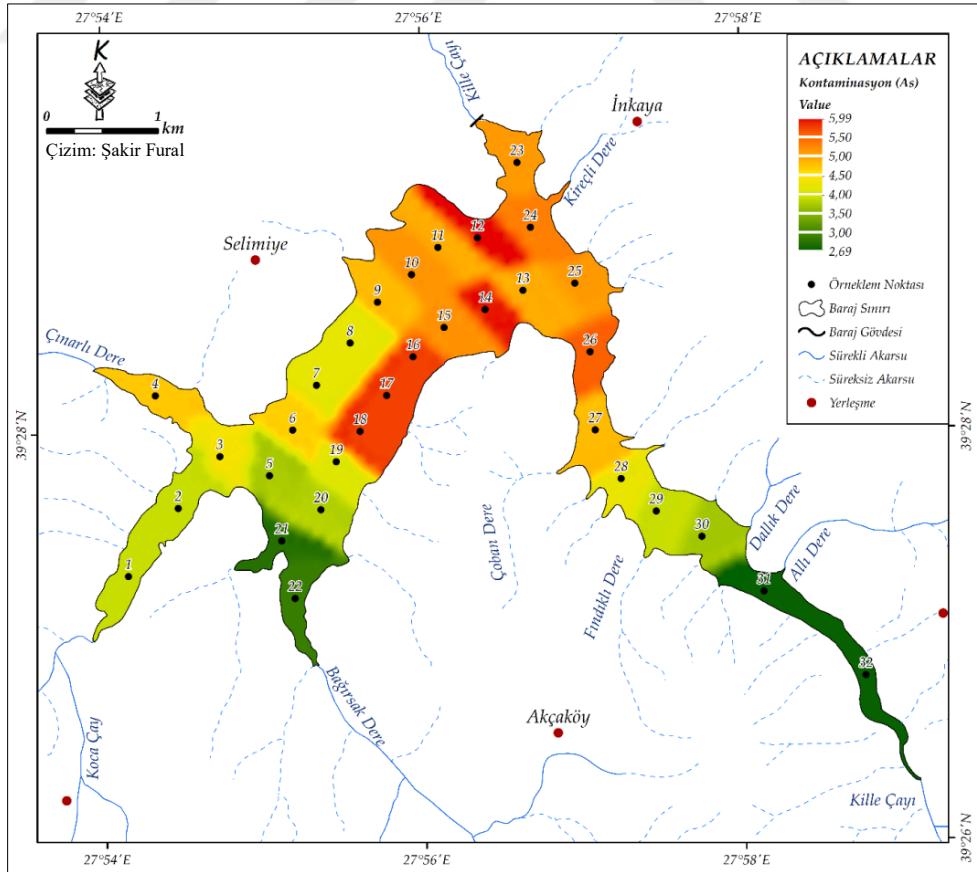
Çalışmanın bu bölümünde kontaminasyon faktörünün baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı incelenmiştir. Kontaminasyon faktörü hesaplamalarında öncelikle kayaç örneklerinden elde edilen litolojik arda lan değerleri kullanılarak baraj yapımı öncesi dönemden 2019 yılına kadar gerçekleşen antropojenik etki tespit edilerek detaylı şekilde haritalanmıştır. Ardından karot örneklerinden elde edilen çökel arda lan değerleri ile kontaminasyon faktörü hesaplanmış ve barajın yapım tarihinden 2019 yılına kadar gerçekleşen antropojenik etki belirlenerek haritalanmıştır. Litolojik arda lan değerlerine göre tespit edilen kontaminasyon faktörü şu şekildedir;

Baraj tabanında Al kontaminasyon faktörü 1.20 – 3.10 aralığında değişmektedir. Baraj gölü tabanında Kille Çayı ağzı ve iç kesimdeki 11, 12, 13, 14 ve 24. örnekleme noktalarında yüksek derecenin alt limitlerinde kontaminasyon tespit edilmiştir. Koca Çay, Çınarlı Dere ve Bağrsak Dere'nin ağız noktaları ve 19. örnekleme noktası çevrelerinde ise orta derecede kontaminasyon tespit edilmiştir. Mekânsal dağılışı haritalarından elde edilen verilere göre Kille Çayı havzasından antropojenik kaynaklı Al taşımaktadır (Şekil 126).

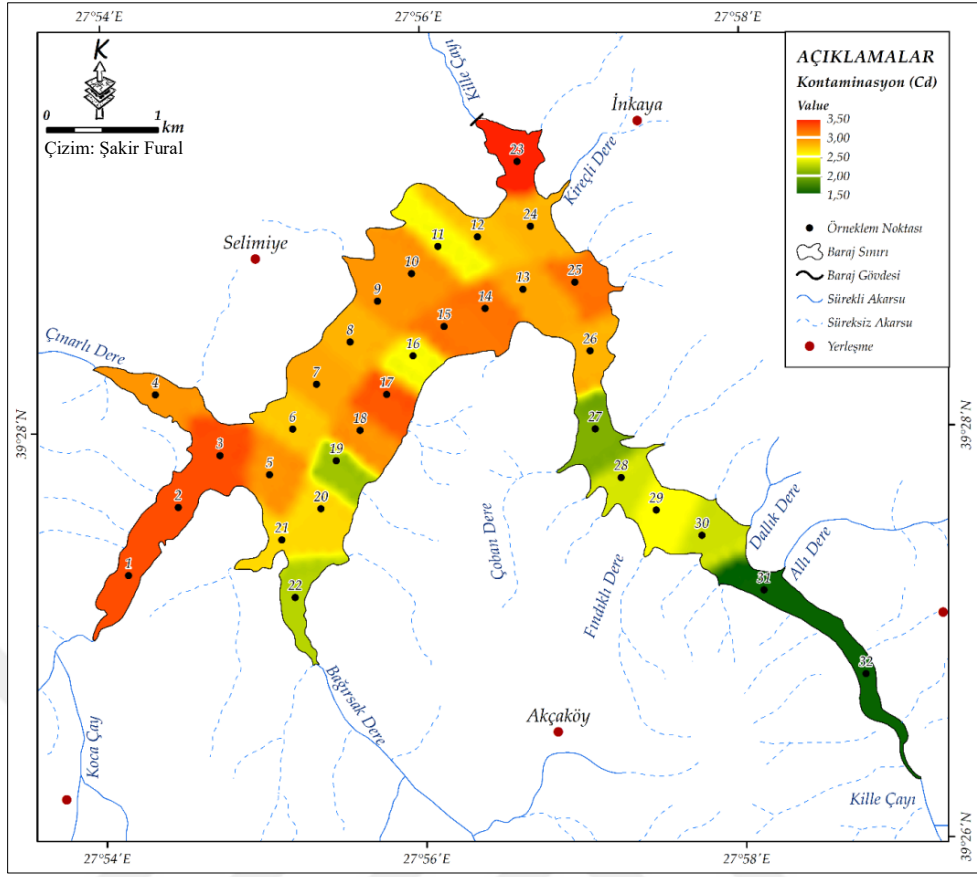
As kontaminasyonu 2.69 – 5.99 aralığında değişmekte olup en yüksek değere Kille Çayı ve Çınarlı Dere ağzı, baraj gövdesi çevresi ve iç kesimdeki örnekleme noktalarında ulaşmaktadır. Bahsi geçen noktalarda yüksek düzeyde olan kontaminasyon faktörü Bağrsak Dere ağzında en düşük seviyeye inmektedir. Baraj gölü tabanındaki kontaminasyon faktörü dağılışı Kille Çayı ve Çınarlı Dere'nin baraj gölüne antropojenik kaynaklı As deşarj ettiğini, Bağrsak Dere ve Koca Çay için böyle bir durumun olmadığını göstermektedir (Şekil 127).



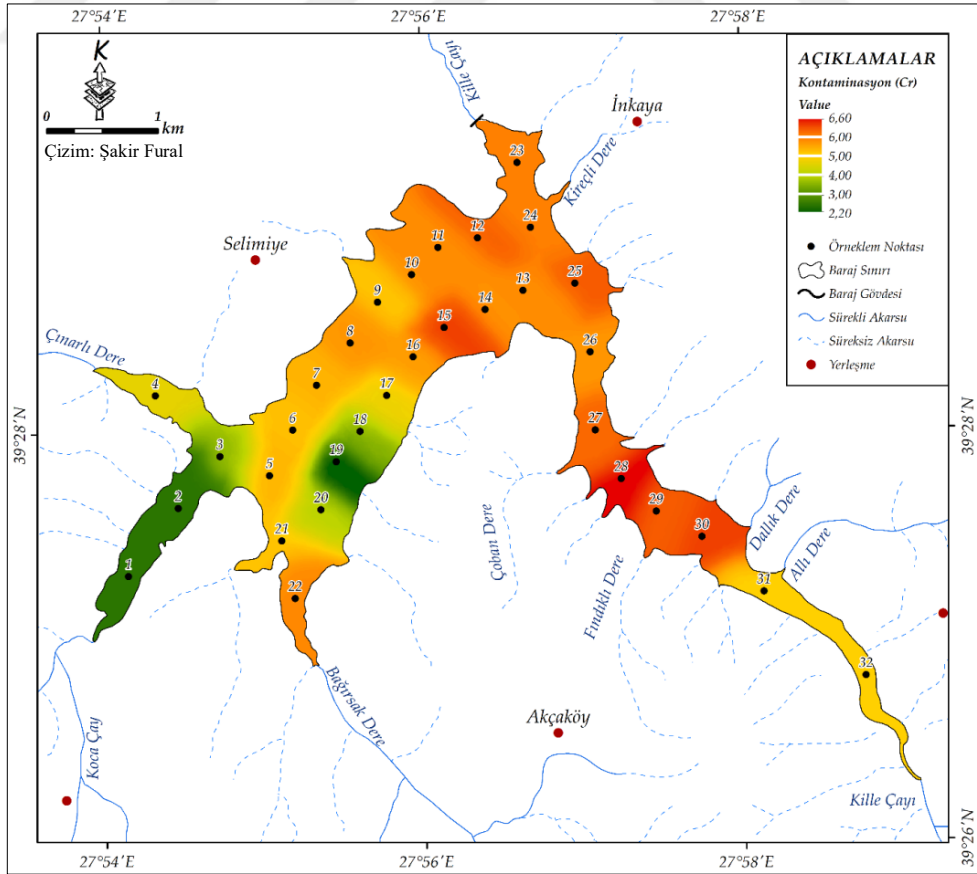
Şekil 126. Alüminyum'un (Al) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı



Şekil 127. Arsenik'in (As) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı



Şekil 128. Kadmiyum'un (Cd) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı



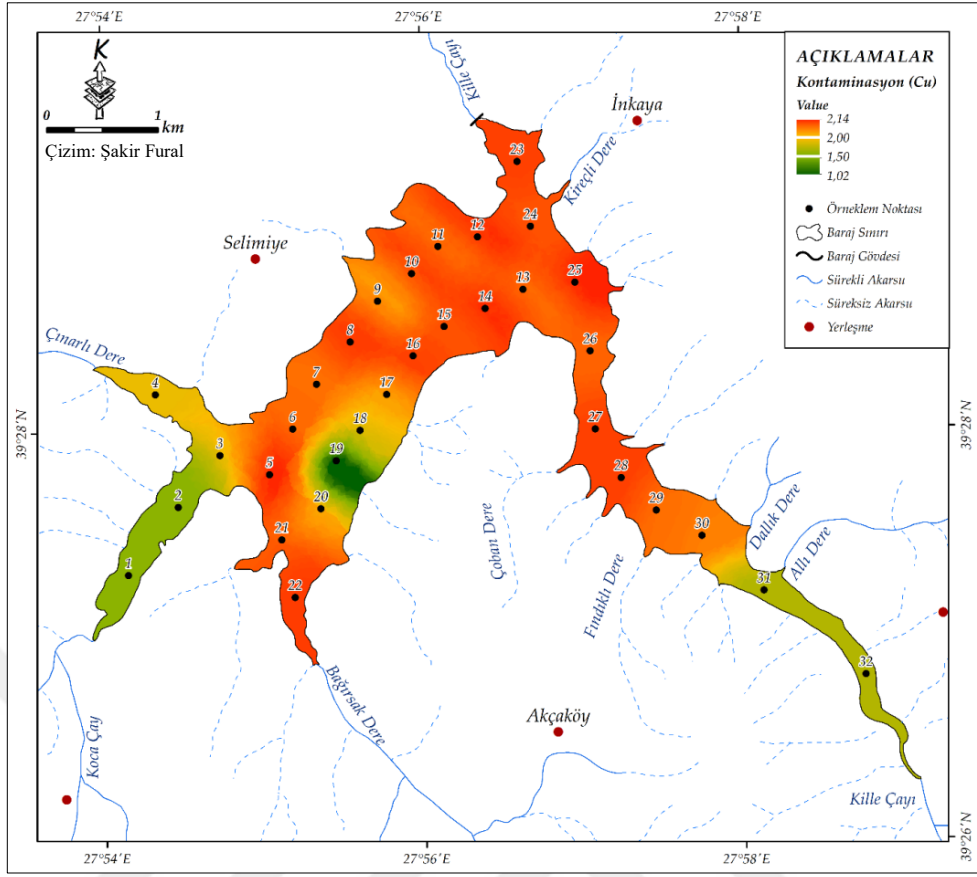
Şekil 129. Krom'un (Cr) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı

Cd kontaminasyonu baraj gölü tabanında 1.50 – 3.50 aralığında değişmektedir. Baraj gövdesi yakınları, Koca Çay ve Çınarlı Dere ağzında yüksek düzeyde olan kontaminasyon faktörü Kille Çayı ve Bağırsak Dere ağzı ile 19. örnekleme noktasında yer alan su kaynağına yakın yerlerde orta seviyelere inmektedir (Şekil 128). Bahsi geçen mekânsal dağılışı Koca Çay, Çınarlı Dere ve baraj gövdesi yakınlarındaki Kireçli Dere'nin baraj gölüne antropojenik kaynaklı Cd deşarj ettiğini, Bağırsak Dere ve Kille Çayı'nda bu durumun söz konusu olmadığını göstermektedir.

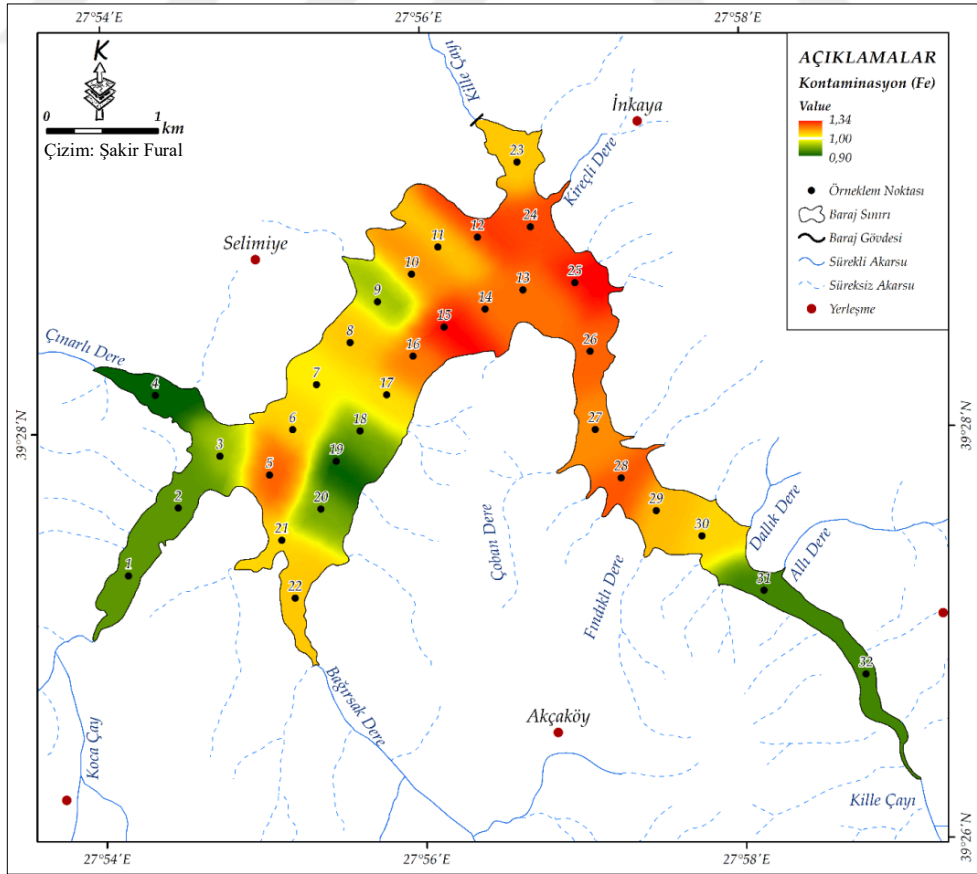
Cr baraj gölü tabanında 2.20 – 6.60 arasında kontaminasyon değerlerine sahiptir. Kille Çayı, Bağırsak Dere ağız kısmı ve 19. örnekleme noktası çevresi dışında kalan bütün iç kesimlerde yüksek derecede kontaminasyon tespit edilmiştir. Koca Çay ve Çınarlı Dere ağız kısımları ile barajın iç kesimlerinde yer alan 18 – 19 – 20. örnekleme noktalarında orta derecede kontaminasyon görülmektedir (Şekil 129). Bu durum mekânsal dağılışı göre değerlendirildiğinde baraj gölüne Kille Çayı ve Bağırsak Dere'nin yüksek, Çınarlı Dere ve Koca Çay'ın orta düzeyde kontaminasyonda Cr deşarj ettiği tespit edilmiştir.

Cu kontaminasyon faktörü 1.02 – 2.14 aralığındadır. Kille Çayı, Bağırsak Dere, Çınarlı Dere ağız noktaları ve 19. örnekleme noktası dışında kalan bütün iç kesimde orta derecenin üst limitlerinde Cu kontaminasyonu görülmektedir (Şekil 130). Koca Çay ağzında ve 19. örnekleme noktalarında ise orta derecenin alt limitlerinde kontaminasyon değerleri tespit edilmiştir. Mekânsal dağılışı göre bir değerlendirme yapıldığında Koca Çay dışında kalan bütün akarsular orta düzeyin üst limitlerinde Cu taşıdığı, Koca Çay ve 19. örnekleme noktasında yer alan kaynağın düşük kontaminasyon değerlerine yakın seviyede Cu deşarjı yaptığı görülmektedir.

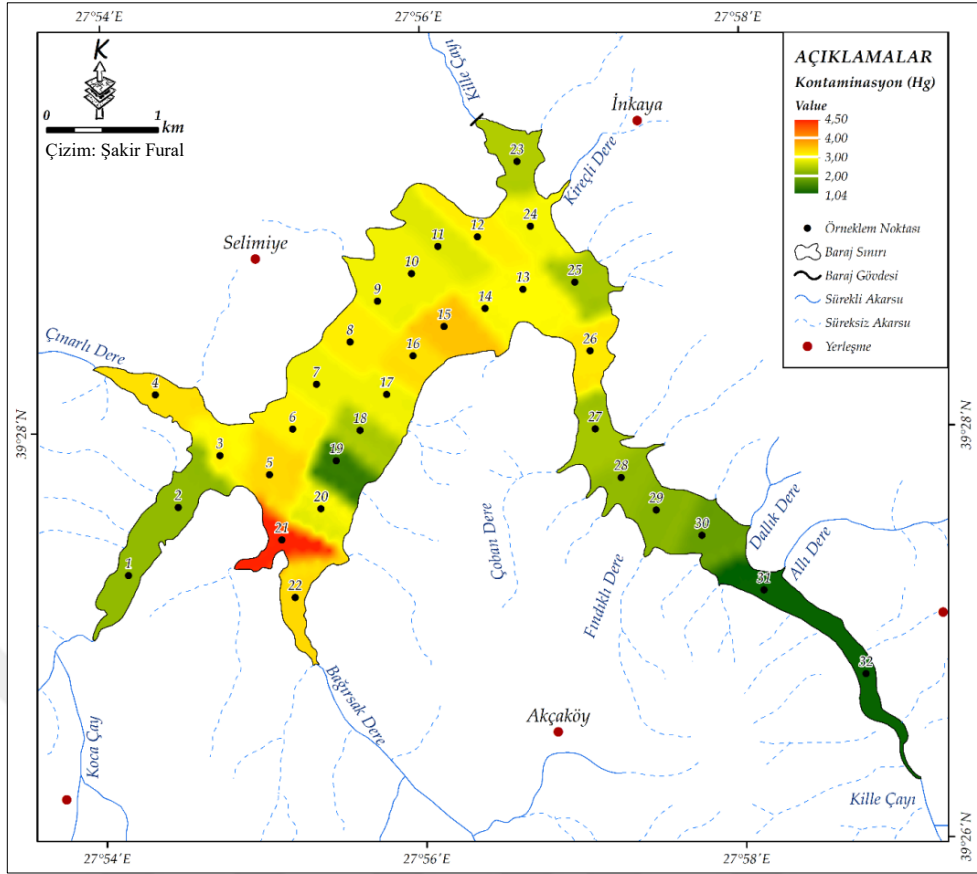
Fe kontaminasyon faktörü baraj gölü tabanında 0.90 – 1.35 aralığında değişmektedir. Kille Çayı ile Bağırsak Dere ağzına yakın örnekleme noktalarında orta derecede kontaminasyon tespit edilmiştir (Şekil 131). Koca Çay, Çınarlı Dere ağzı ve 9. – 18. – 19. – 20. örnekleme noktalarındaki düşük kontaminasyon faktörü bahsi geçen noktaların yakınlarında mevsimlik akarsu girdileri ve tabanda su kaynağı olmasından dolayı gerçekleşmiştir. Fe kontaminasyonunun mekânsal dağılışı incelendiğinde Kille Çayı, Bağırsak Dere ve Kireçli Dere'nin baraj gölüne orta derecenin en alt limitinde antropojenik kaynaklı Fe deşarj ettiği, Koca Çay ve Çınarlı Dere için böyle bir durumun söz konusu olmadığı tespit edilmiştir.



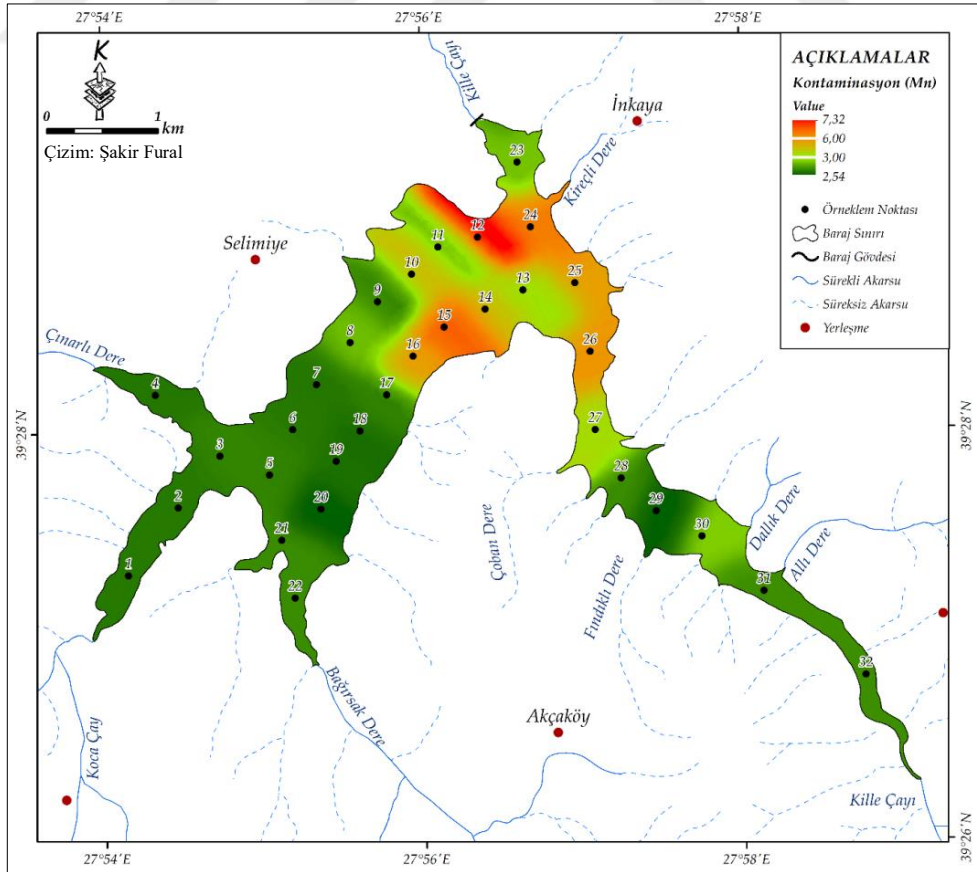
Şekil 130. Bakır'ın (Cu) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı



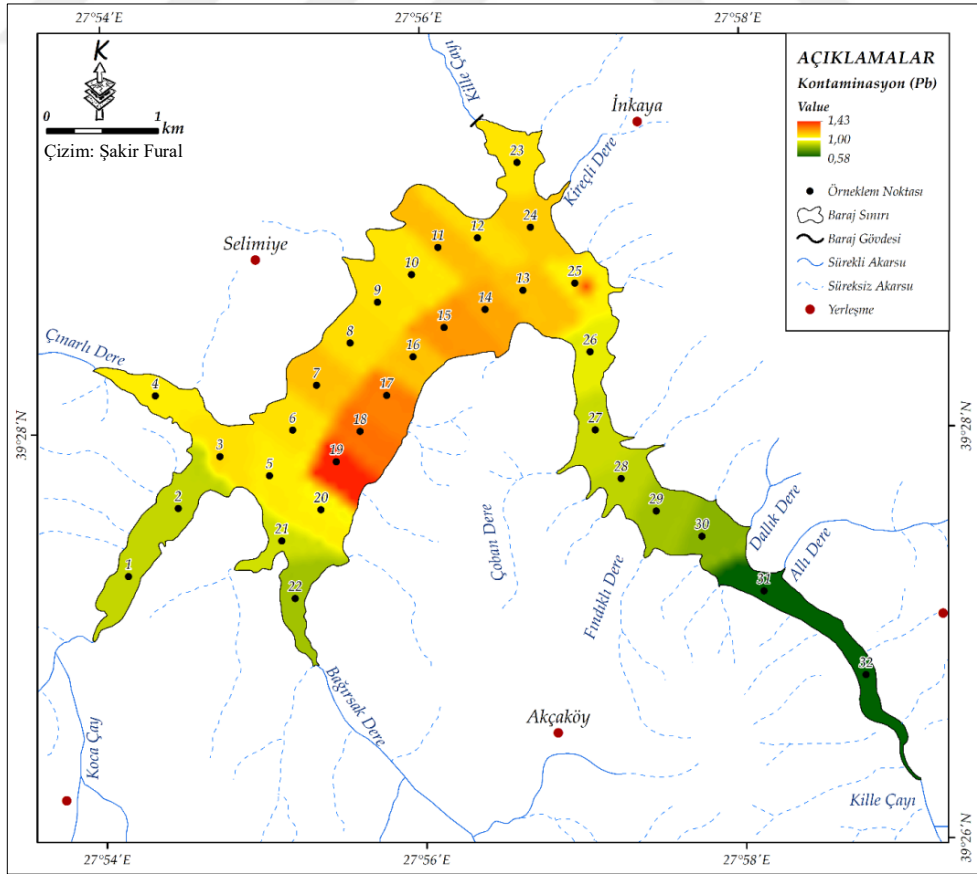
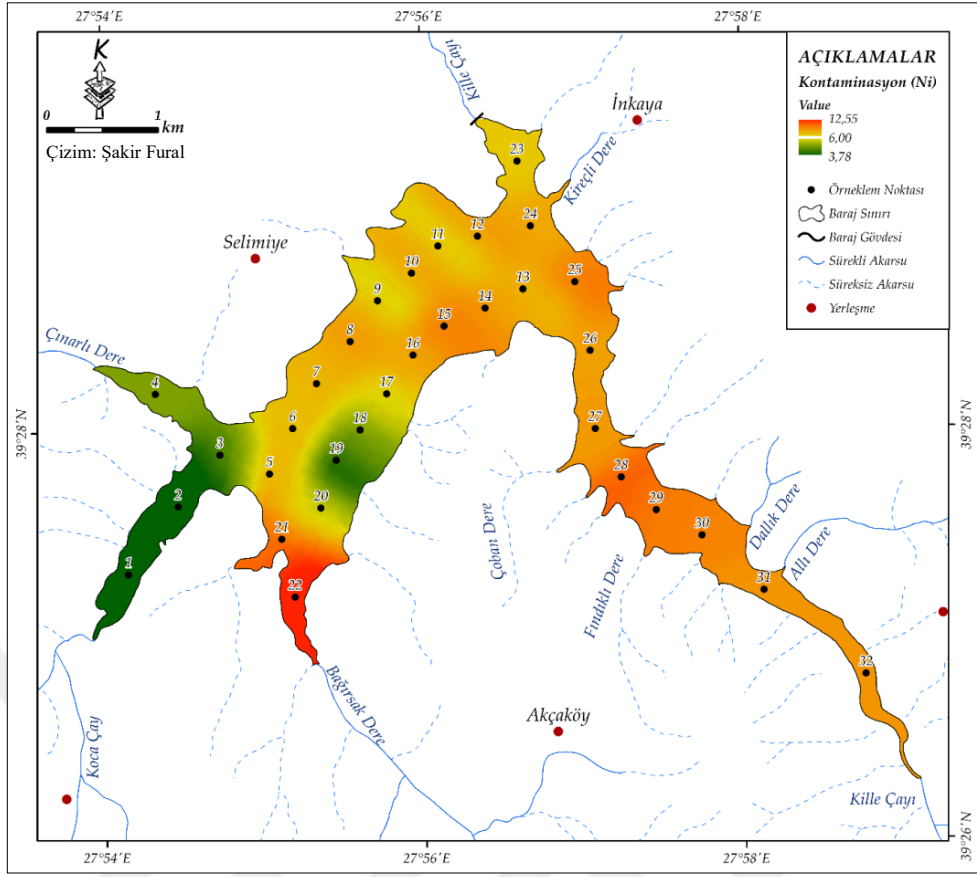
Şekil 131. Demir'in (Fe) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı



Şekil 132. Civa'nın (Hg) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı



Şekil 133. Mangenez'in (Mn) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı

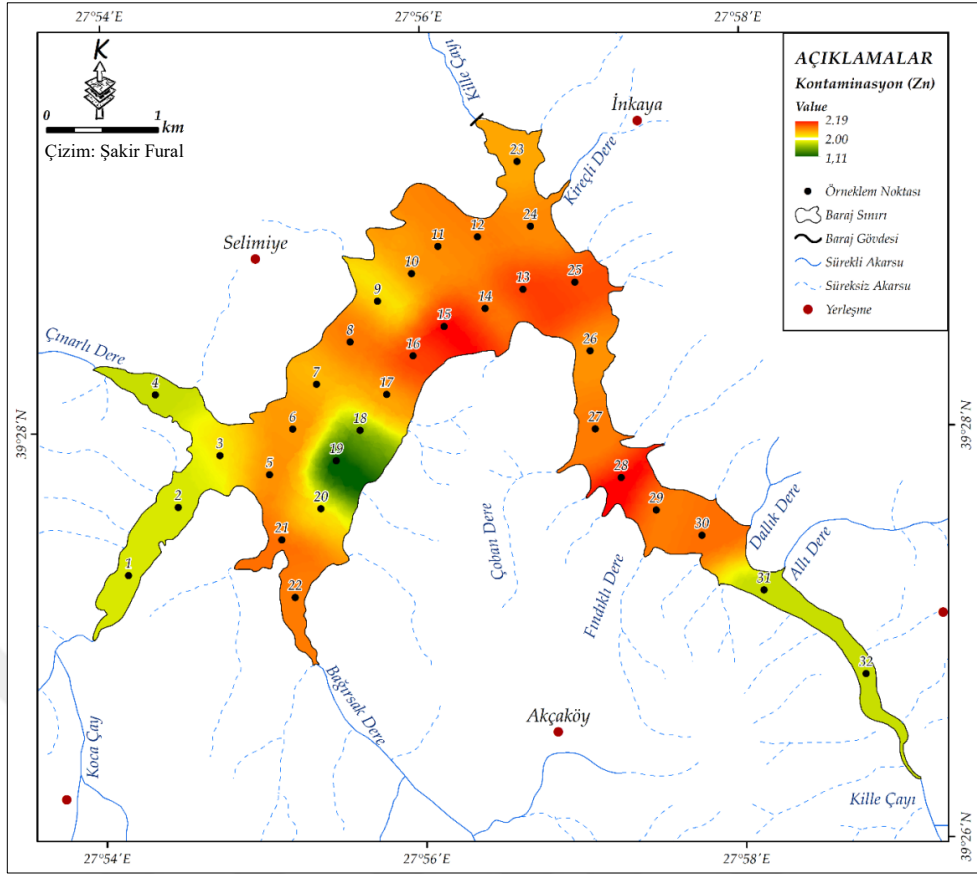


Hg kontaminasyonu 1.04 – 4.50 aralığında tespit edilen baraj gölü tabanında en yüksek değer kısa boylu mevsimlik akarsu ağızına karşılık gelen 21. örnekleme noktasında tespit edilmiştir. 21. örnekleme noktası dışında Bağırsak Dere ve Çınarlı Dere'nin ağız noktalarında orta derecenin en üst limitinde kontaminasyon değerleri tespit edilmiş olup diğer örnekleme noktalarında orta derecenin üst limitlerinde kontaminasyon tespit edilmiştir (Şekil 132). Hg kontaminasyonunun mekânsal dağılışı incelendiğinde; 21. örnekleme noktası yakınlarındaki mevsimlik akarsuların bulunduğu kısımdan baraj gölüne orta derecede antropojenik etkiye sahip Hg deşarj edildiği, Çınarlı Dere ve Bağırsak Dere'nin ise orta derecenin en üst limitlerinde Hg deşarj ettiği, Kille Çayı ve Koca Çay'ın orta derecenin en alt limitlerinde metal deşarjı gerçekleştirdiği tespit edilmiştir.

Mn kontaminasyonu 2.54 – 7.32 değerleri arasında değişmektedir. 12. örnekleme noktası ve çevresinde çok yüksek kontaminasyon görülmektedir. Hg kontaminasyonunun mekânsal dağılışında olduğu gibi dikkat çeken bir toplulaşma gösteren Mn kontaminasyonu 10, 14, 15, 16, 25, 26. örnekleme noktaları çevresinde yüksek, barajın diğer bütün kısımlarında orta dereceli kontaminasyon değerlerindedir (Şekil 133). Mn'nin mekânsal dağılışı incelendiğinde baraj gölünü besleyen büyük akarsuların antropojenik kaynaklı deşarj gerçekleştirmedeği, belirtilen noktalarda gerçekleşen lokal etkilerin Mn kontaminasyonunu arttırdığı tespit edilmiştir.

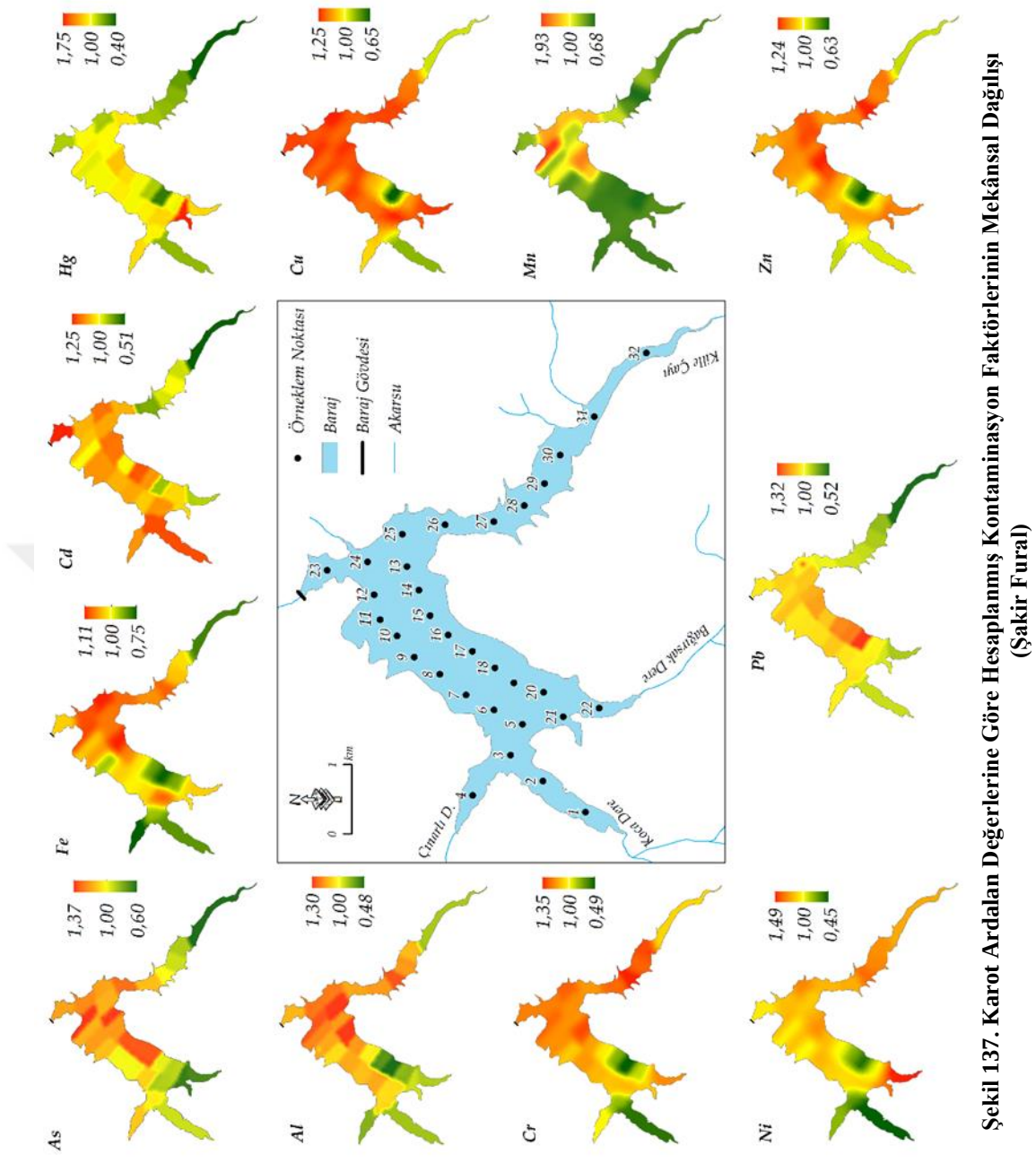
Ni kontaminasyonu baraj gölü tabanında 3.78 – 12.55 aralığında değişmekte ve en yüksek değere Bağırsak Dere'nin ağız kısmındaki örnekleme noktalarında ulaşmaktadır. Bu nokta dışında Kille Çayı ağız ve 19. örnekleme noktası dışında kalan bütün iç kesimlerde yüksek derecede kontaminasyon gerçekleşmektedir. Ni'nin baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı incelendiğinde Bağırsak Dere ve Kille Çayı'nın antropojenik kaynaklı çok yüksek derecede Ni deşarjı gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Koca Çay, Çınarlı Dere ve 19. örnekleme noktasında yer alan su kaynağı baraj gölüne yüksek derecenin alt limitlerinde Ni deşarj etmemektedir (Şekil 134).

Pb kontaminasyonu 0.58 – 1.43 değerleri arasındadır. 19. örnekleme noktası başta olmak üzere baraj gölünün iç kesimlerinde orta derecede kontaminasyon değerlerine sahip olan Pb baraj gölüne deşarj olan akarsu ağızlarının tamamında düşük değerlere inmektedir (Şekil 135). Bu mekânsal dağılış baraj gölü alt havzalarından önemli bir deşarj gerçekleşmediğini, baraj gölüne yakın kısa boylu mevsimlik akarsular ve 19. örnekleme noktası yakınlarındaki kaynağın baraj gölüne Pb deşarjı yaptığını göstermektedir.

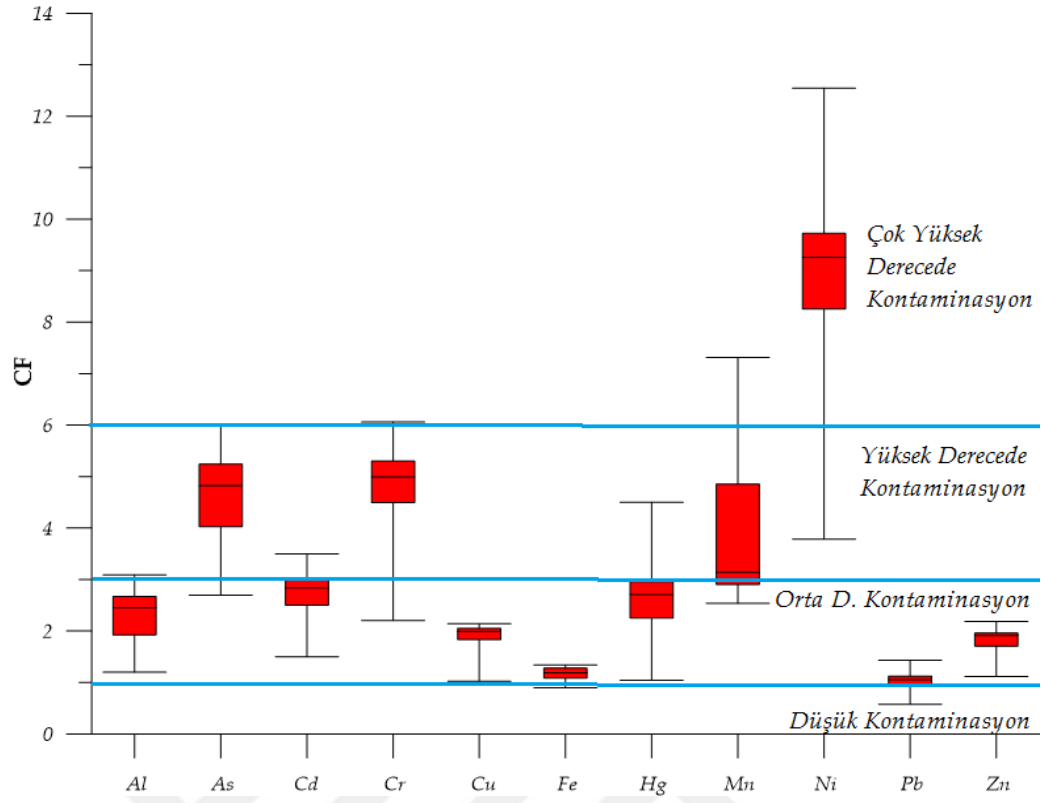


Şekil 136. Çinko'nun (Zn) Baraj Gölü Tabanındaki Kontaminasyon Miktarı

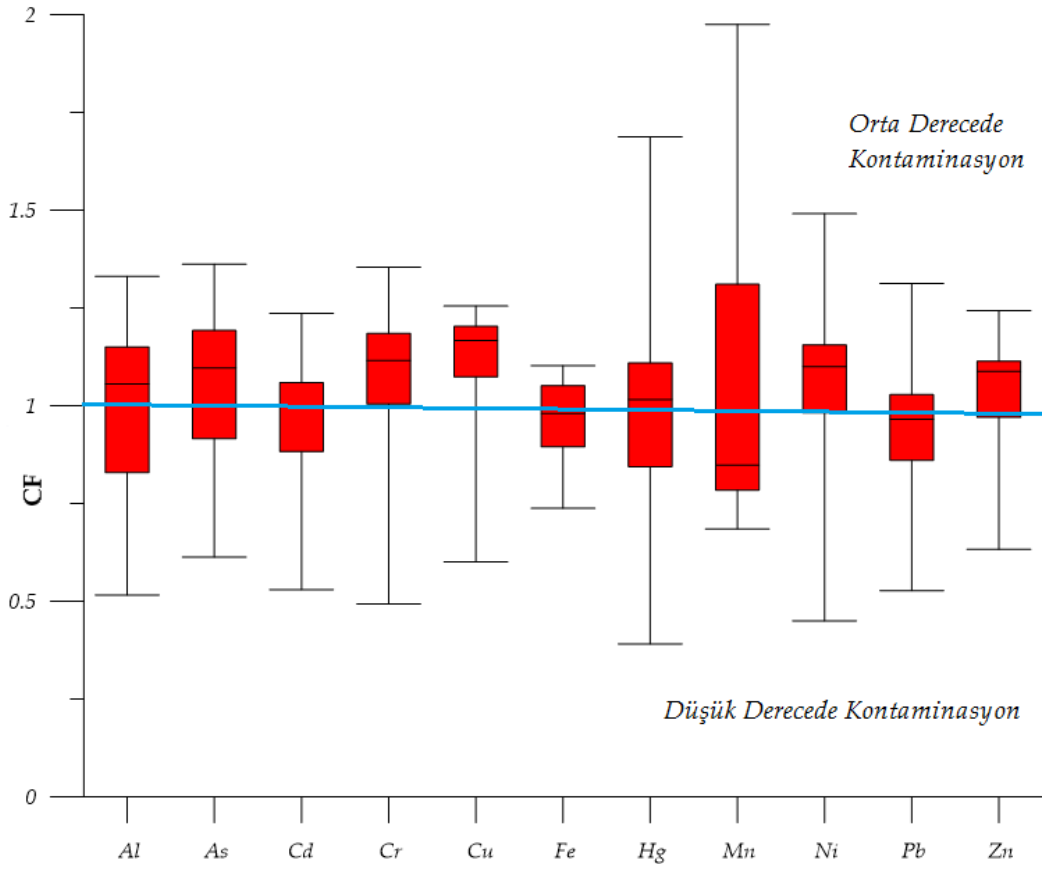
Zn kontaminasyonu baraj gölü tabanında 1.11 – 2.19 arasında değişmekte olup en yüksek değere Kille Çayı, Bağirsak Dere ve Kireçli Dere'nin ağız kısımlarındaki örnekleme noktalarında ulaşmaktadır. Koca Çay ve Çınarlı Dere ile 19. örnekleme noktası yakınlarında orta derecede kontaminasyon görülmektedir. Zn'nin mekânsal dağılışı incelendiğinde Kille Çayı, Bağirsak Dere ve Kireçli Dere'nin orta derecede kontaminasyon sınırında olan antropojenik kaynaklı Zn deşarjı gerçekleştirdiği; Koca Çay, Çınarlı Dere ve 19. örnekleme noktasındaki su kaynağının orta derecenin en alt limitlerinde Zn deşarjı gerçekleştirdiği tespit edilmiştir (Şekil 136).



Baraj gölünün yapımından (1991) 2019 yılına kadar gerçekleşen antropojenik etkiyi değerlendirmek amacıyla karot örneklerinden elde edilen ardalın değerleri kullanılarak hesaplanan kontaminasyon faktörü değerleri Şekil 137’de verilmiştir. Bu verilere göre kontaminasyon faktörü örnekleme noktası ortalamalarına göre $Cu > Ni = Mn > Cr > As > Zn > Al > Fe > Hg > Pb = Cd$ şeklinde sıralanmaktadır. Genel bir değerlendirme yapıldığında baraj gölünün faaliyete geçtiği 1991’den 2019’a kadar olan süreçte hiçbir metal orta derecede kontaminasyon seviyesinin üzerine çıkmamıştır. Bu değerlere göre 28 yıllık süre içerisinde önemli seviyede bir risk yoktur.



Şekil 138. Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Kontaminasyon Faktörünün Box Whisker Diyagramı (Orijinal)



Şekil 139. Karot Ardalan Değerlerine Göre Kontaminasyon Faktörünün Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

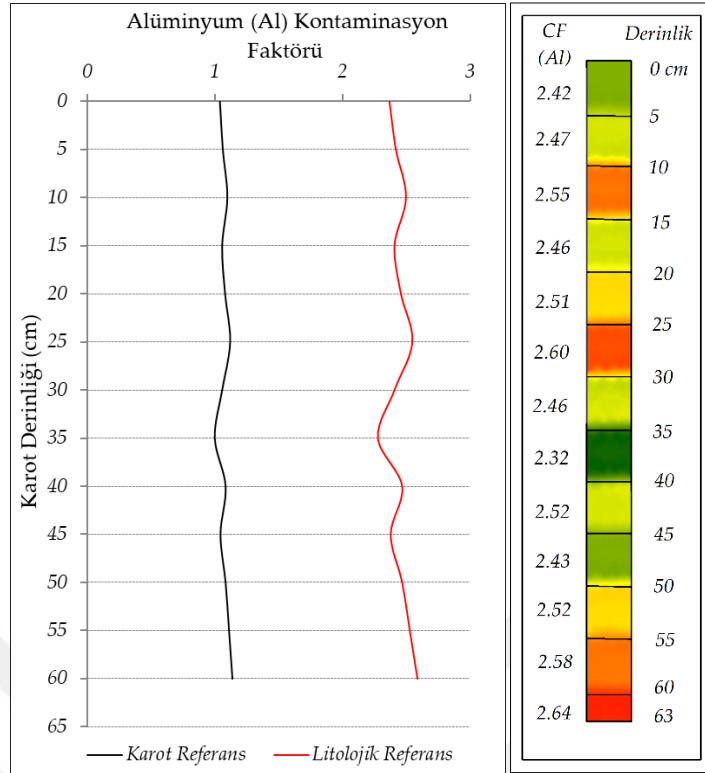
Litolojik ardalın değerlerine göre hesaplanan kontaminasyon faktörlerinin minimum–maksimum ve medyan değerleri incelendiğinde *en yüksek kontaminasyon faktörü Ni, en düşük ise Pb metalinde* ölçülmüştür (Şekil 138).

Genel bir değerlendirme yapıldığında *Cu, Fe, Pb ve Zn orta; Cr, As, Hg, Cd, Al yüksek; Mn ve Ni çok yüksek miktarda kontaminasyona ulaşmıştır.* Litolojik ardalın değerlerine göre kontaminasyon faktörü $Ni > Cr > As > Mn > Cd > Hg > Al > Cu > Zn > Fe > Pb$ şeklinde sıralanmaktadır.

Karot ardalın değerlerine göre *en yüksek kontaminasyon Mn, en düşük kontaminasyon Fe metalinde* gerçekleşmiş olup bütün metaller orta derecede kontaminasyon sınırları içerisinde (Şekil 139). Karot ardalın değerlerine göre kontaminasyon faktörü $Cu > Ni = Mn > Cr > As > Zn > Al > Fe > Hg > Pb = Cd$ şeklinde sıralanmaktadır. Kontaminasyon faktörlerinin sıralamasının değişmesi zenginleşme faktöründe olduğu gibi hesaplamada kullanılan ardalın değerlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Karot ardalın değerlerine göre yapılan hesaplamalarda Cu'nun ilk sırayı almasında havzada gerçekleştirilen tarım uygulamaları önemli rol oynamıştır. Çünkü Cu bitki beslemede kullanılan zirai gübrelerin önemli hammaddeleri arasındadır.

6.7.2. Kontaminasyon Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Dikey Dağılışı

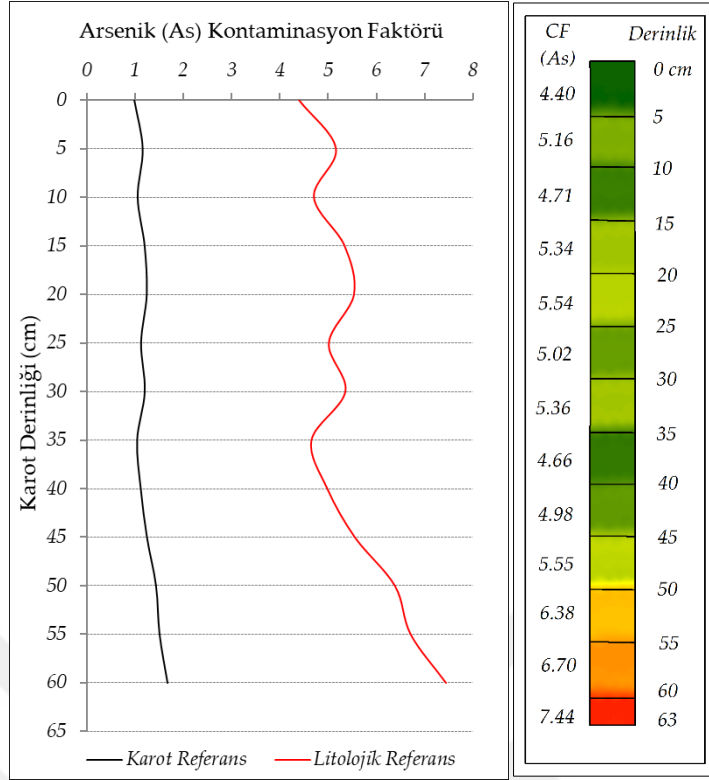
Kontaminasyon faktörünün karottaki dikey dağılışın değerlendirilmesinde mekânsal dağılışı olduğu gibi $CF < 1$ düşük derecede kontaminasyon, $1 \leq CF < 3$ orta derecede kontaminasyon, $3 \leq CF < 6$ yüksek derecede kontaminasyon, $CF > 6$ çok yüksek derecede kontaminasyon ölçeği kullanılmıştır (Hakanson, 1980). Çalışmanın bu bölümünde litolojik ve karot ardalın değerlerinden elde edilen bulgular birlikte değerlendirilmiştir. Hazırlanan dikey dağılışı grafiklerinde iki farklı ardalın değerlerinden elde edilen bulgulara yer verilmiş ve litolojik ardalın değerlerine ait bulgular grafiğin yanında şematik olarak gösterilmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde Al kontaminasyonunun karot ardalın değerlerine göre 1.00 – 1.14, litolojik ardalın değerlerine göre 2.32 – 2.64 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Karotun en dibinde yüksek olan kontaminasyon 0 - 5 cm diliminde kadar dalgalanmalar şeklinde artıp azalmış, ancak 0 - 5 cm diliminde azalma eğilimine girmiştir (Şekil 140). Al kontaminasyonu karot ardalın verilerine göre orta derecenin alt limitlerinde, litolojik ardalın verilerine göre orta derecededir.



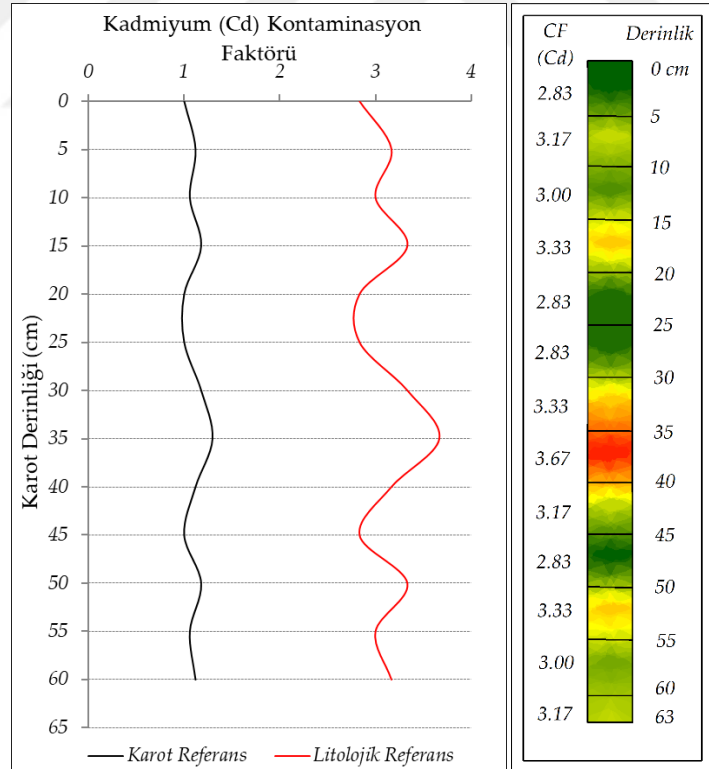
Şekil 140. Al Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)

As kontaminasyon faktörü karot ardalan verilerine göre yapılan hesaplamalarda 0.99 – 1.67, litolojik ardalan verilerine göre 4.40 – 7.44 arasında değişmektedir. Karot tabanında çok yüksek seviyede olan kontaminasyon faktörü 35 – 40 cm dilimlerine kadar oldukça düzenli şekilde azalmış, sonrasında küçük dalgalanmalar ile 0 - 5 cm diliminde orta derecede kontaminasyon sınırlarına yaklaşmıştır (Şekil 141). Karot ardalan değerlerine göre orta derecede kontaminasyon gerçekleşirken litolojik ardalan verilerine göre yüksek ve çok yüksek derecede kontaminasyon tespit edilmiştir.

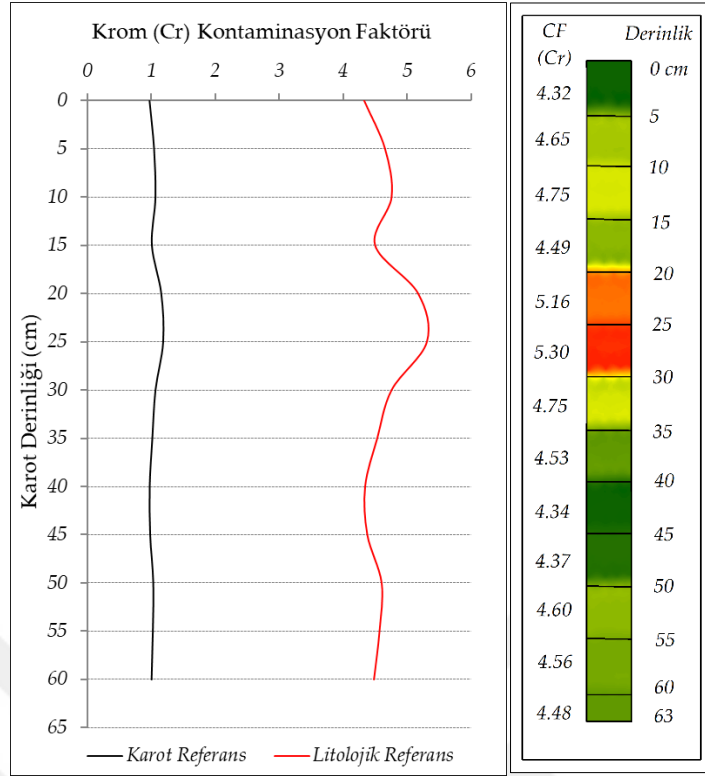
Cd kontaminasyon faktörü karot verilerine göre 1 – 1.29, litolojik ardalan verilerine göre 2.83 – 3.67 aralığında değişmektedir. Karot ardalan değerlerine göre bütün dilimlerde orta derecede kontaminasyon tespit edilmiştir. Litolojik ardalan değerlerine göre karot tabanında orta derecenin az miktarda üzerinde olan kontaminasyon 35 – 40 cm dilimlerinde yüksek derecede kontaminasyona ulaşmıştır. (Şekil 142).



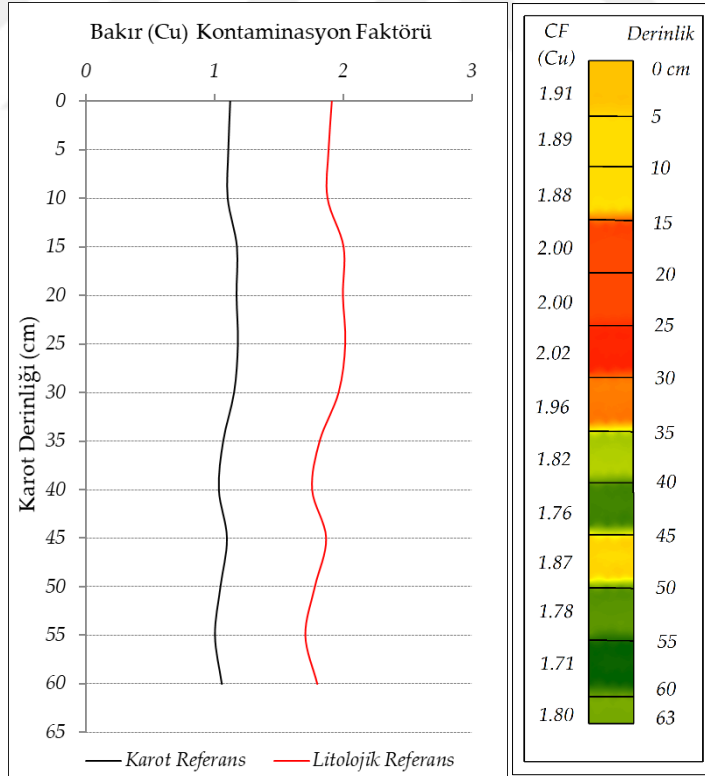
Şekil 141. As Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



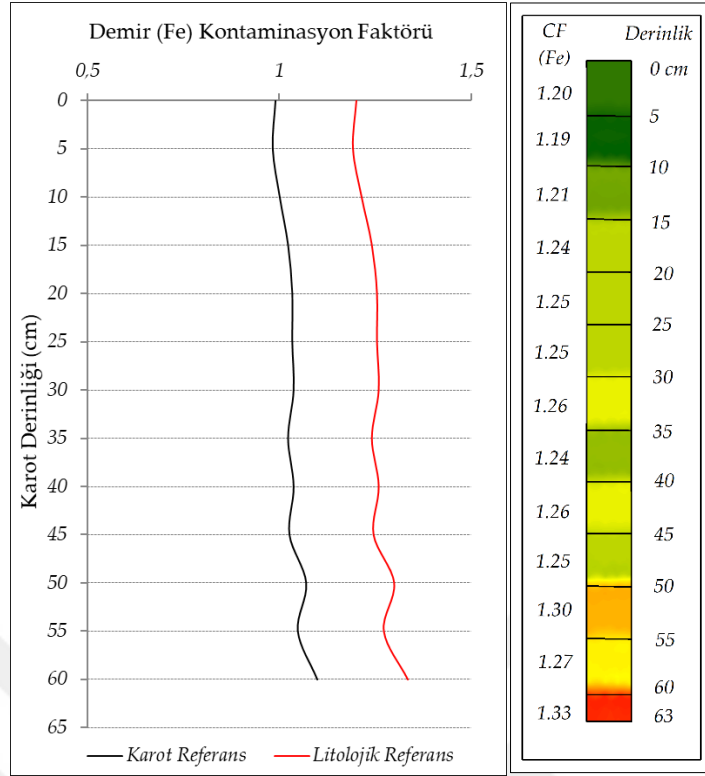
Şekil 142. Cd Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



Şekil 143. Cr Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



Şekil 144. Cu Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)

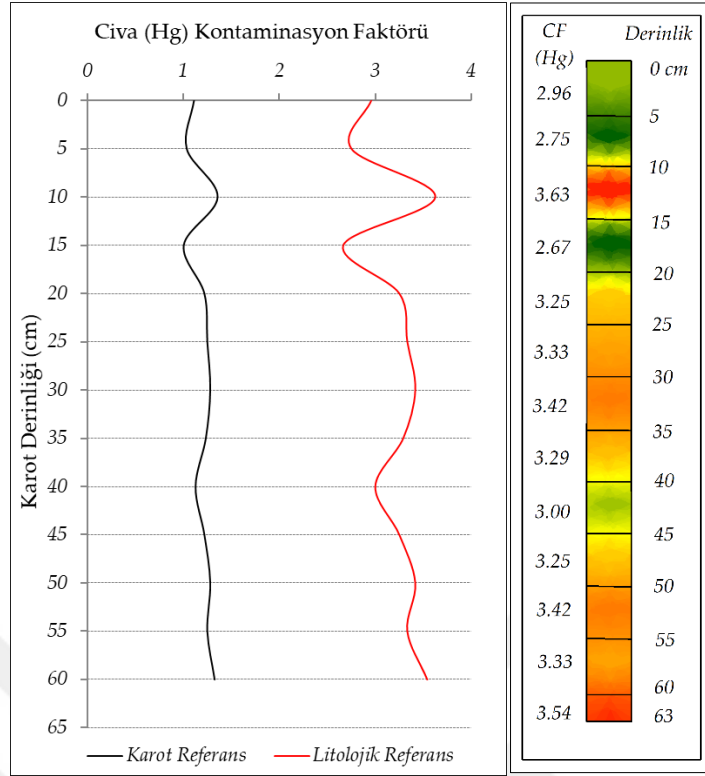


Şekil 145. Fe Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)

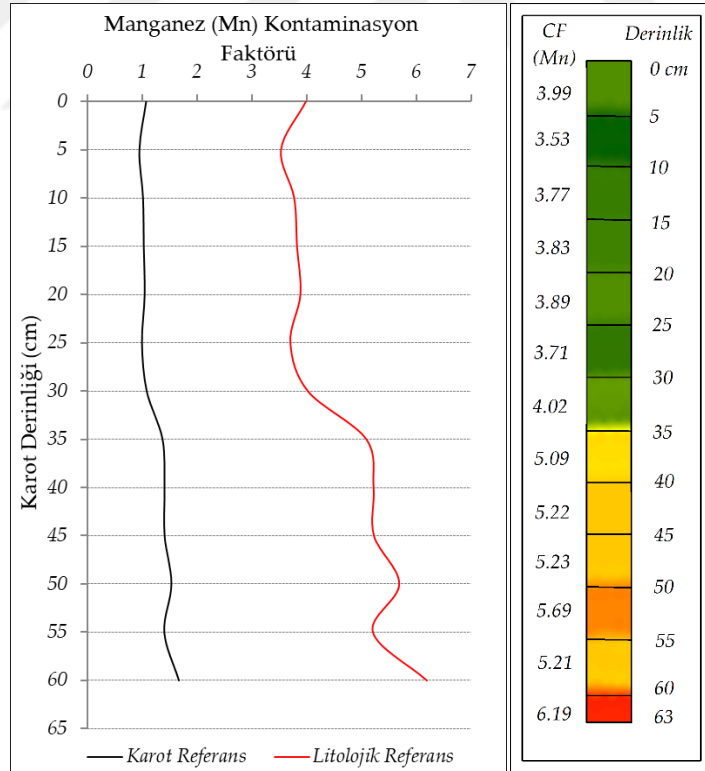
Cr kontaminasyonu karot ardalan değerlerine göre 0.97 – 1.18, litolojik ardalan değerlerine göre 4.32 – 5.30 aralığında değişmektedir. Cu kontaminasyonu karot ardalanına göre 1.00 – 1.18, litolojik ardalan değerlerine göre 1.71 – 2.02 aralığında değişmektedir (Şekil 143). Her iki ardalan değerine göre de orta derecede olan Cu kontaminasyonu 0 - 5 cm diliminde artış eğilimindedir.

Fe kontaminasyonu karot ardalan değerlerine göre 0.98 – 1.10, litolojik ardalan değerlerine göre 1.19 – 1.33 aralığında değişmektedir. Karot tabanında en yüksek değerde ve orta derecenin alt limitlerinde olan kontaminasyon 5 – 10 cm diliminde en düşük değerde ve düşük derecede kontaminasyon sınıfına inmiştir (Şekil 145). Ardından küçük bir artış gösteren Fe kontaminasyonu 0 - 5 cm diliminde düşük kontaminasyon sınıfındadır.

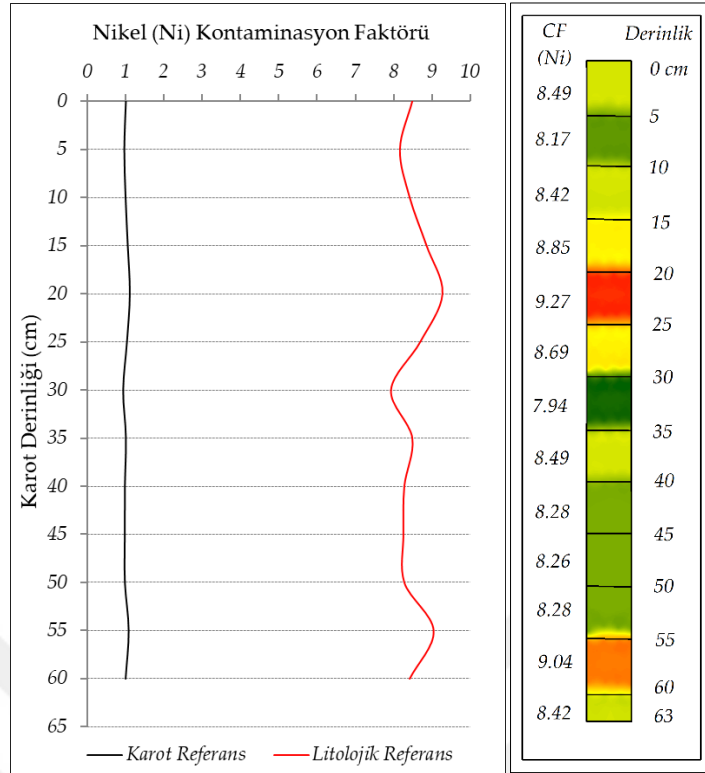
Hg kontaminasyonu karot ardalanına göre 1.03 – 1.36, litolojik ardalanına göre 2.67 – 3.63 aralığında değişmektedir. Karot ardalan verilerine göre orta derecede olan kontaminasyon faktörü litolojik ardalan verilerine göre karot tabanında yüksek derecede, 0 - 5 cm diliminde ise orta derecededir (Şekil 146).



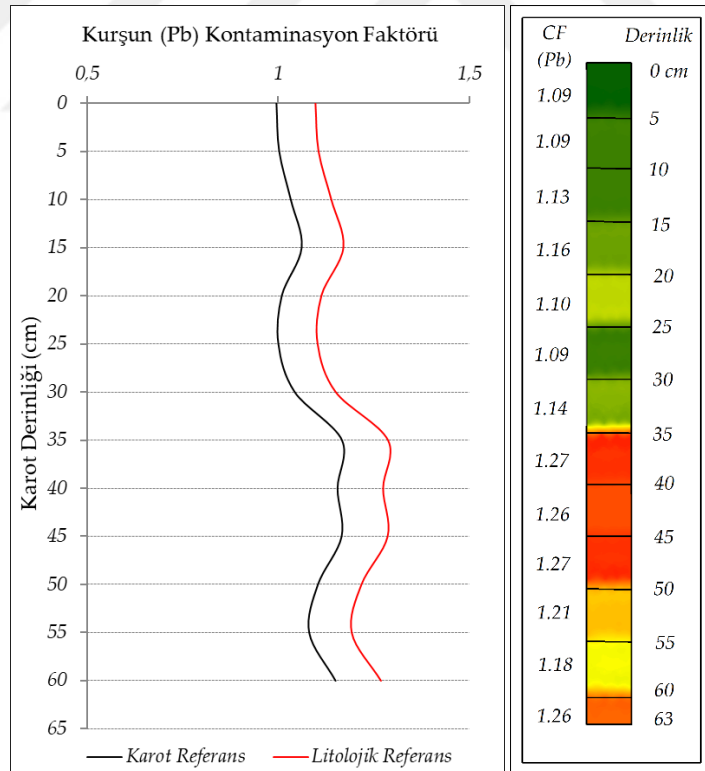
Şekil 146. Hg Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



Şekil 147. Mn Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



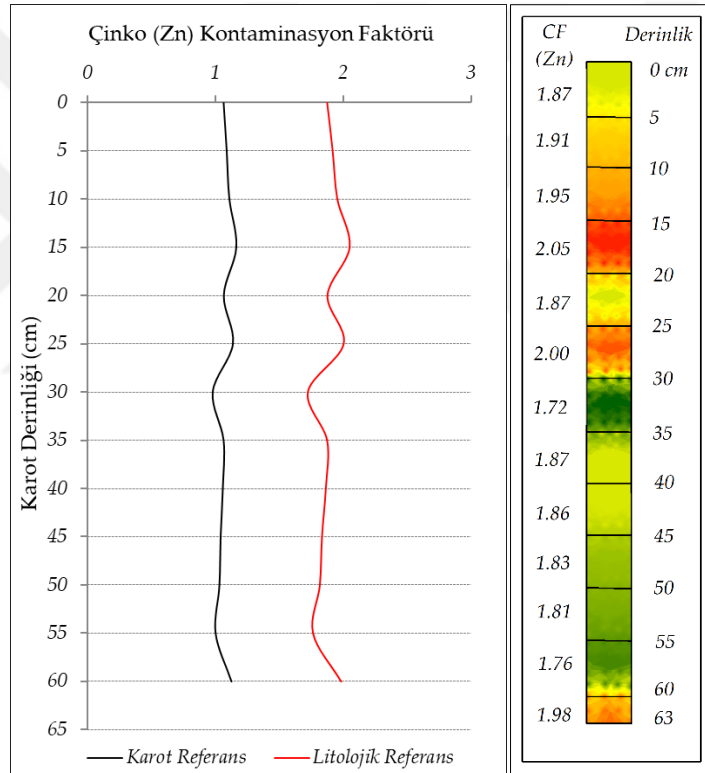
Şekil 148. Ni Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



Şekil 149. Pb Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)

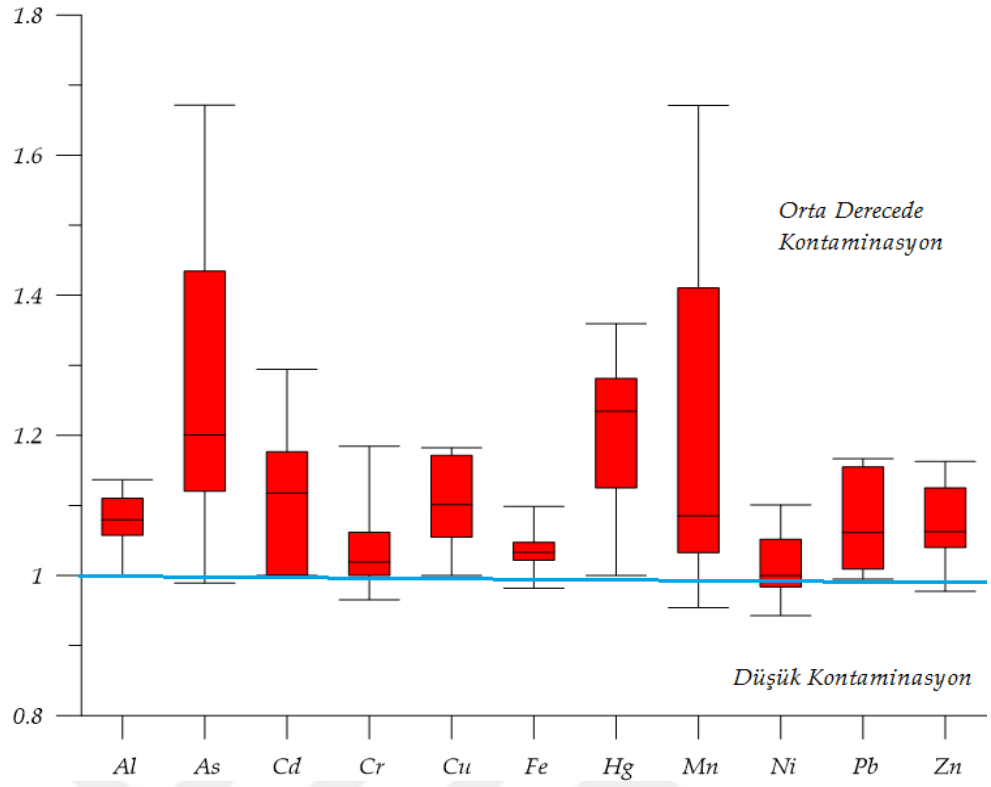
Mn kontaminasyonu karot ardalın verilerine göre 0.95 – 1.67, litolojik ardalana göre 3.71 – 6.19 aralığında değişmektedir. Karot ardalına göre orta derecede olan kontaminasyon faktörü litolojik ardalın verilerine göre yüksek derecededir. 0 - 5 cm diliminde azalma eğiliminde olan Mn kontaminasyonu orta derece limitlerine yaklaşmıştır (Şekil 147).

Ni kontaminasyonu karot ardalın verilerine göre 0.94 – 1.10, litolojik ardalana göre 8.17 – 9.27 aralığında değişmektedir. Litolojik ardalın değerlerine göre çok yüksek kontaminasyon derecesinde olan Ni, karot ardalın değerlerine göre orta derecenin alt limitlerindedir (Şekil 148). İki ardalın değeri arasında bu kadar yüksek bir farkın ortaya çıkması litolojik ardalının düşük konsantrasyonda olmasından kaynaklanmaktadır.

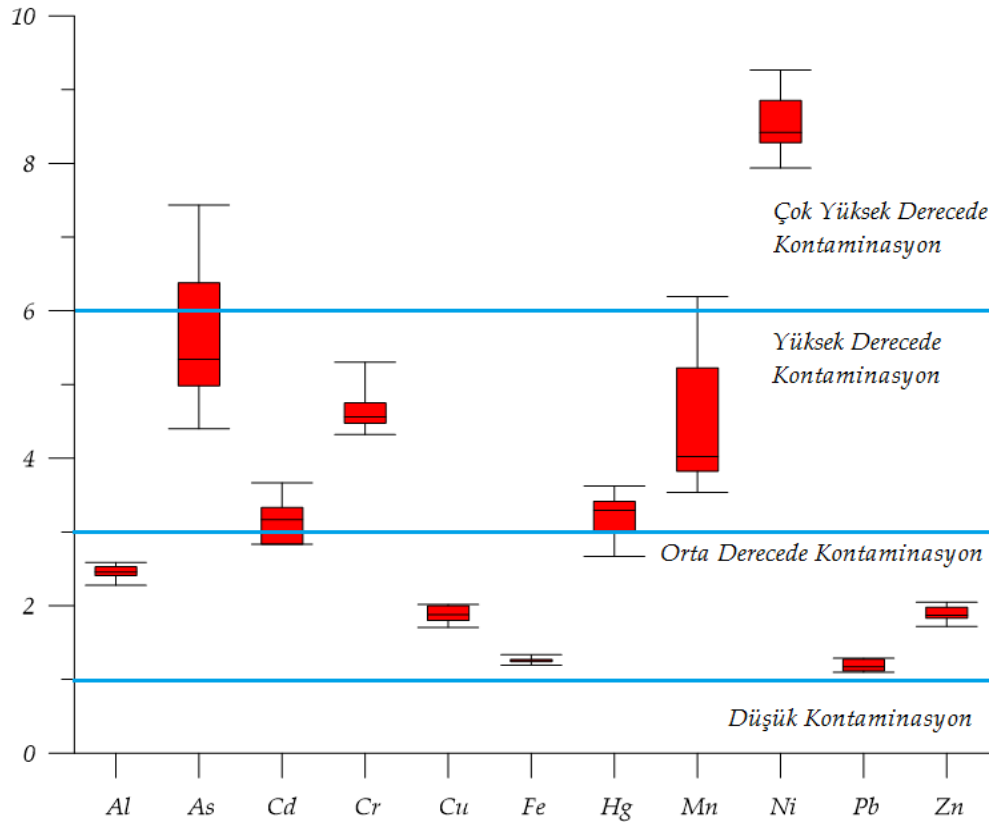


Şekil 150. Zn Kontaminasyon Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)

Pb kontaminasyonu karot ardalın verilerine göre 0.99 – 1.17, litolojik ardalana göre 1.09 – 1.27 aralığında değişmekte olup en yüksek değere 35 – 50 cm dilimleri aralığında ulaşmaktadır. Karot tabanında 1.15 olan kontaminasyon faktörü 50 – 60 cm dilimlerinde azalmaktadır (Şekil 149). Orta derecenin alt limitlerinde kontaminasyon faktörü değerleri 30 – 35 cm diliminden sonra kademeli olarak azalarak düşük kontaminasyon seviyesine inmektedir. Pb kontaminasyonu 0 - 5 cm diliminde azalma eğiliminde ve düşük kontaminasyon seviyelerindedir.



Şekil 151. Karot Ardalın Değerlerine Göre Kontaminasyon Faktörünün Box Whisker Diyagramı (Orijinal)



Şekil 152. Litolojik Ardalın Değerlerine Göre Kontaminasyon Faktörünün Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

Zn kontaminasyonu karot ardalan değerlerine göre 0.98 – 1.16, litolojik ardalan değerlerine göre 1.72 – 2.05 seviyelerinde değişmektedir. Karot tabanında orta derecenin alt limitlerinde olan kontaminasyon 30 – 35 cm dilimlerinde düşük kontaminasyon değerlerine inmiş sonrasında dalgalanmalar şeklinde artıp azalmıştır (Şekil 150). 0 - 5 cm diliminde azalma eğilimine giren Zn kontaminasyonu orta derece limitlerindedir.

Box Whisker diyagramları incelendiğinde karot ardalan değerlerine göre hesaplanan kontaminasyon faktörü hiçbir metalde orta derecede kontaminasyon limitini geçmemekte ve $Mn = As > Hg > Cu > Cd > Pb = Zn > Al > Cr > Fe > Ni$ şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 151). Litolojik ardalan değerlerine göre Ni, As, Mn çok yüksek; Cr, Cd, Hg yüksek; diğer metallerde ise orta derecede kontaminasyon gerçekleşmiştir. Litolojik ardalan değerlerine göre kontaminasyon faktörü $Ni > As > Cr > Mn > Cd > Hg > Cd > Al > Zn > Cu > Fe > Pb$ şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 152). Bu verilere göre Ni'de çok yüksek; Mn, As, Cr'de yüksek; diğer metaller için orta derecede kontaminasyon tespit edilmiştir.

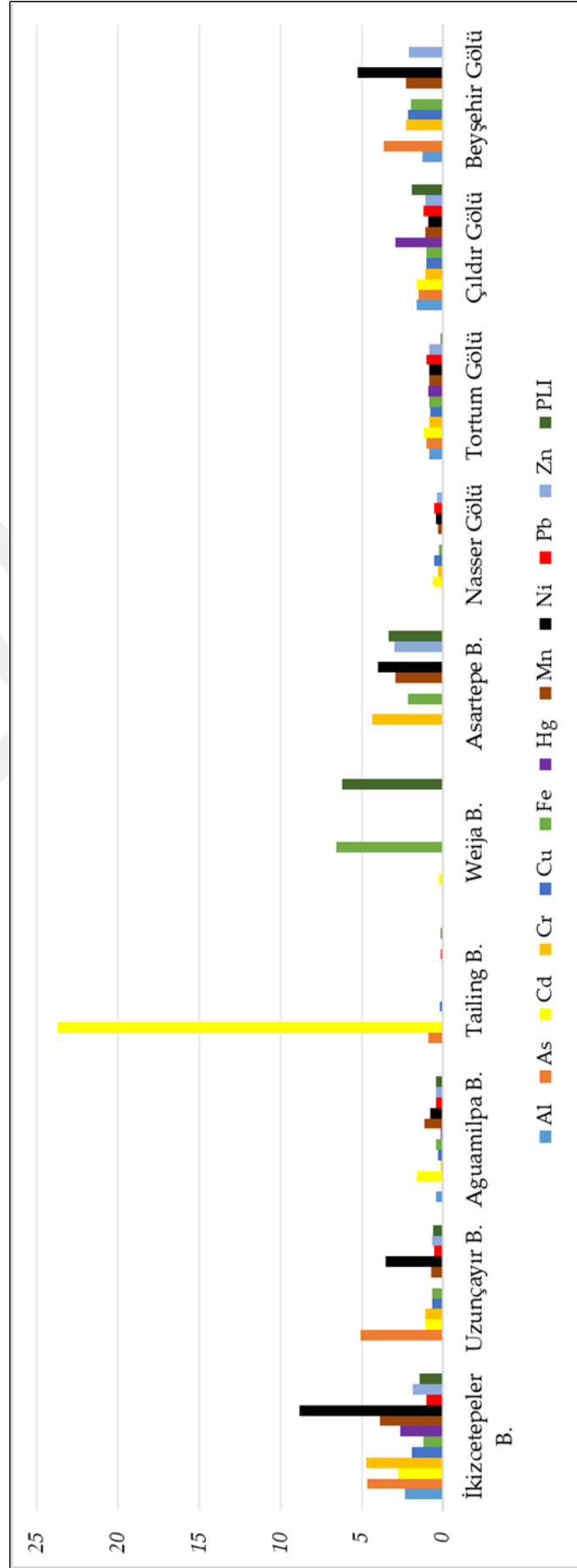
Çizelge 12. Mevcut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göllerin Kontaminasyon Faktörü Karşılaştırması

Lokasyon	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn	PLI
İkizcetepeler B.	2.32	4.65	2.77	4.73	1.92	1.18	2.61	3.85	8.83	1.04	1.85	1.44
Uzunçayır B. ¹		5.04	1.09	1.08	0.65	0.67	0.04	0.74	3.49	0.56	0.66	0.62
Aguamilpa B. ²	0.41		1.61	0.14	0.29	0.44	0.15	1.11	0.78	0.45	0.41	0.41
Tailing B. ³		0.9	23.7	0.04	0.2					0.1	0.04	0.11
Weija B. ⁴			0.22			6.55		0.02		0.09		6.18
Asartepe B. ⁵				4.37		2.14		2.92	3.99		2.96	3.32
Nasser Gölü ⁶			0.58	0.32	0.54	0.26		0.29	0.41	0.54	0.37	
Tortum Gölü ⁷	0.81	1.03	1.22	0.82	0.77	0.84	0.89	0.86	0.82	0.99	0.82	0.15
Çıldır Gölü ⁸	1.60	1.50	1.60	1.10	1.00	1.00	2.90	1.10	0.90	1.20	1.10	1.90
Beyşehir Gölü ⁹	1.28	3.66		2.28	2.15	1.94		2.27	5.25		2.11	

¹Kutlu, 2018 ²Peraza 2015 ³Sey vd., 2019 ⁴Raphael vd., 2016 ⁵Tunç, 2015 ⁶Goher vd., 2014

⁷Kükrer, 2016 ⁸Kükrer vd., 2015 ⁹Tunca, 2016

Barajların işletmeye alındığı yıllar: İkizcetepeler Baraj Gölü 1991, Uzunçayır Barajı 2003, Aguamilpa Barajı 1993, Asartepe Barajı 1980, Weija Barajı 2001, Tailing Barajı 2001.



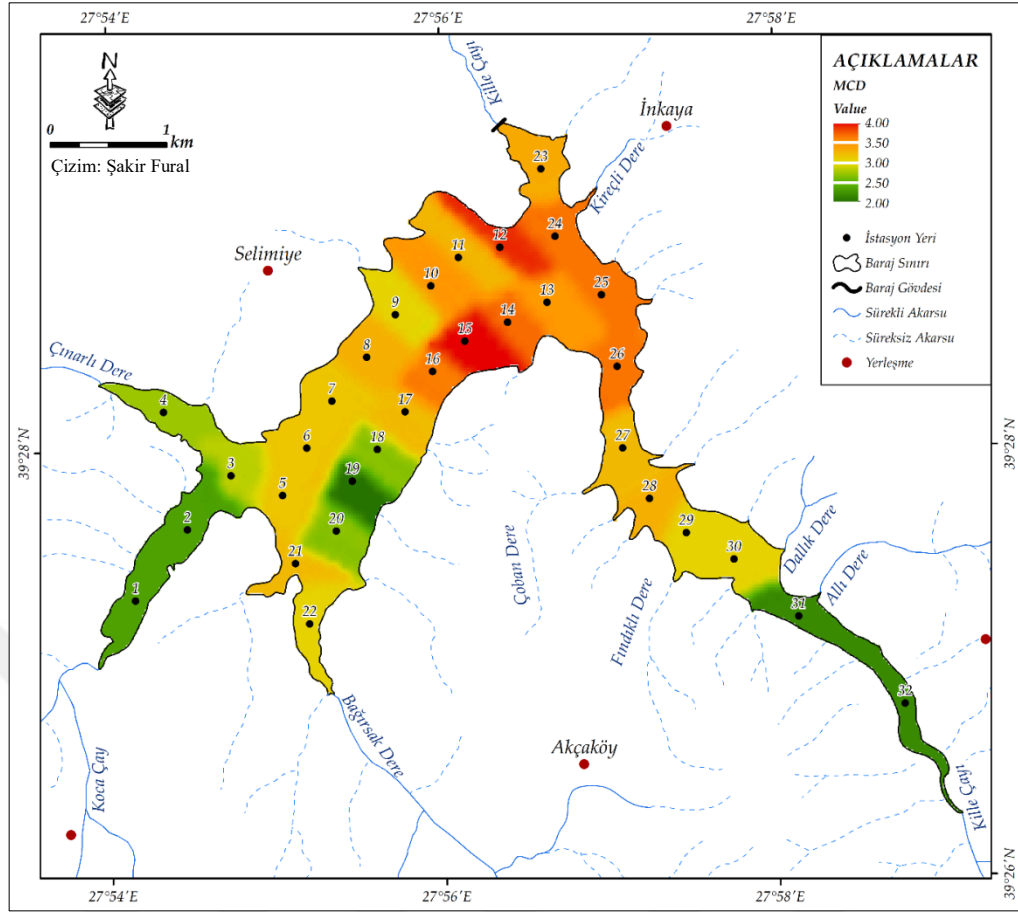
Şekil 153. Mevut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göllerin Kontaminasyon Faktörü Karşılaştırması (Orijinal)

Kontaminasyon faktöründen elde edilen bulgular mevcut literatürdeki bazı barajlar ve göller ile karşılaştırıldığında İkizcetepeler Baraj Gölü'nde gerçekleşen Ni kontaminasyonu oldukça dikkat çekmektedir (Şekil 153). Bunun yanında diğer metallerin kontaminasyon faktörü değerleri Aguamilpa Barajı, Nasser Gölü, Tortum ve Çıldır Gölü'ne göre yüksektir (Çizelge 12).

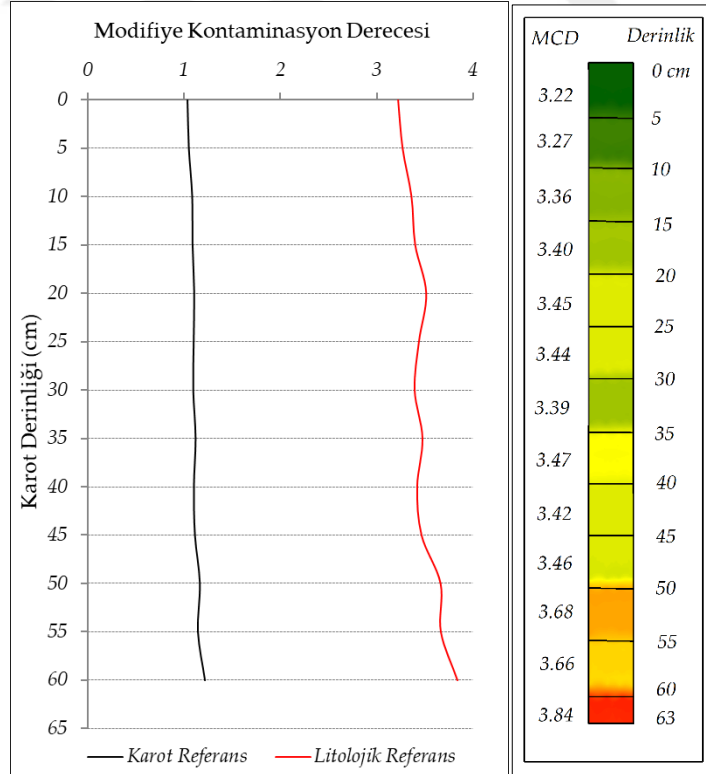
6.8. Modifiye Kontaminasyon Derecesi'nin (mCD) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal ve Dikey Dağılışı

Antropojenik kaynaklı metal kirliliğinin tespit edilmesi için kontaminasyon faktörüne ek olarak kontaminasyon derecesi indeksi geliştirmiştir (Hakanson, 1980). Ancak, kontaminasyon derecesi formülünde tespit edilen değerlerin çalışılan metal sayısı arttıkça artması yapılan farklı çalışmalardan elde edilen bulguların karşılaştırılmasını zorlaştırmıştır (Balık ve Tunca, 2015). Bu problemi çözmek için (Abraham ve Parker, 2008) tarafından Modifiye Kontaminasyon Derecesi (mCD) geliştirilmiştir. Modifiye kontaminasyon derecesi mC_d 1.5 < çok düşük kontaminasyon derecesi, $1.5 \leq mC_d < 2$ düşük kontaminasyon derecesi, $2 < mC_d \leq 4$ orta dereceli kontaminasyon, $4 \leq mC_d < 8$ yüksek kontaminasyon derecesi, $8 \leq mC_d < 16$ çok yüksek kontaminasyon derecesi, $16 \leq mC_d < 32$ çok aşırı yüksek kontaminasyon derecesi, $mC_d \geq 32$ ultra yüksek kontaminasyon derecesi şeklinde değerlendirilmektedir (Abraham ve Parker, 2008).

Litolojik ardalın değerlerinden elde edilen verilere göre, baraj gölü tabanının tamamında orta derecede mCd tespit edilmiştir. Baraj gölünde minimum değerler Koca Çay, Çınarlı Dere, Kille Çayı ağzı ile su kaynağın bulunduğu 19. örnekleme noktasında; en yüksek değer ise 15. ve 12. örnekleme noktalarında tespit edilmiştir (Şekil 154). mCD'nin dikey dağılışı incelendiğinde, değerler karot verilerine göre 1.03 – 1.21, litolojik ardalana göre 3.22 – 3.84 arasında değişmektedir. Karotun taban seviyesinden 25 – 30 cm dilimine kadar küçük dalgalanmalar ile artıp azalan modifiye kontaminasyon derecesi 20 – 25 cm dilimlerinden itibaren azalmaya başlamıştır. 0 - 5 cm diliminde de azalma eğiliminde olan değerler karot ardalın değerlerine göre çok düşük kontaminasyon derecesi, litolojik ardalın değerlerine göre orta derecede kontaminasyon derecesi sınıfındadır (Şekil 155).

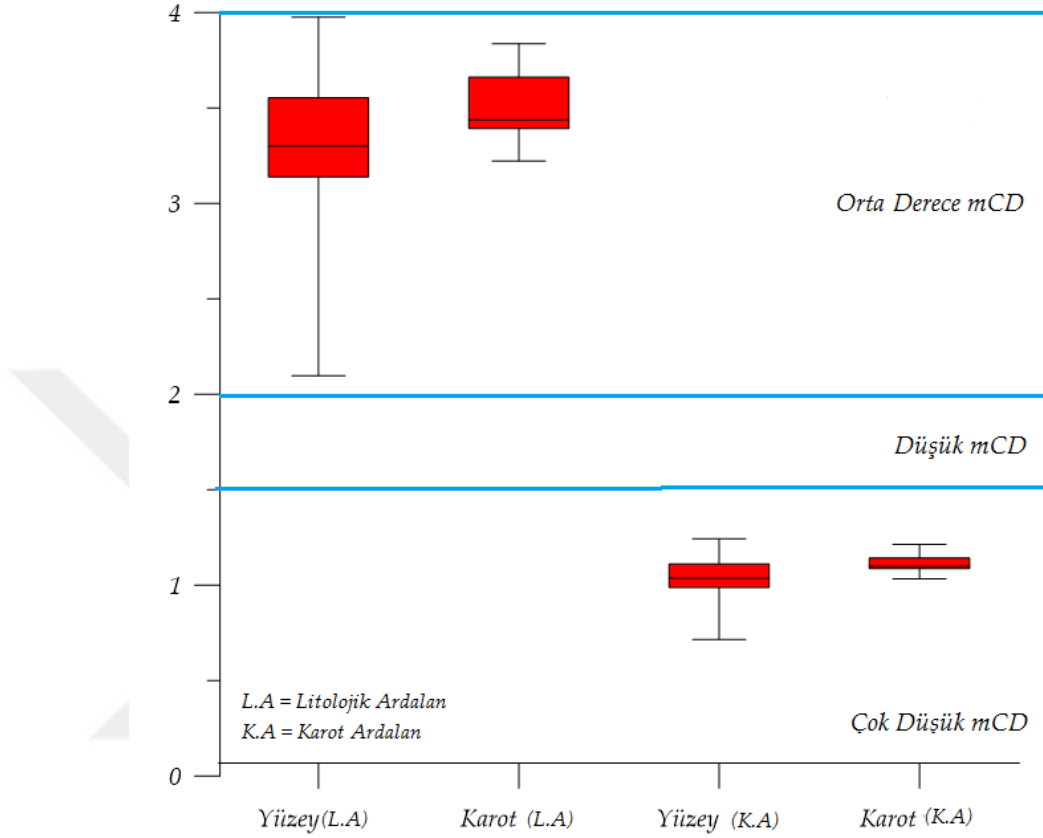


Şekil 154. Litolojik Ardalana Göre mCD'nin Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı



Şekil 155. Karot ve Litolojik Ardalara Değerlerine Göre mCD Faktörünün Dikey Dağılışı (Orijinal)

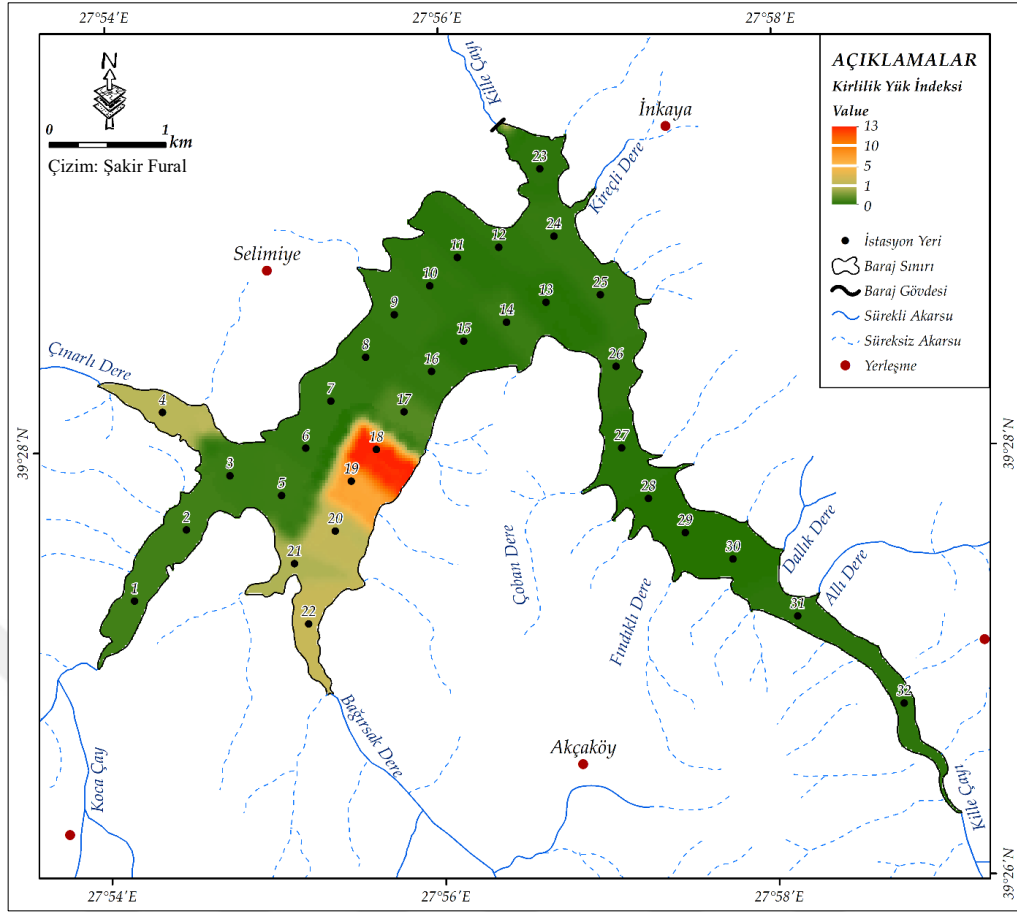
Box Whisker Diyagramı incelendiğinde, litolojik ardaan değerlerine göre baraj tabanında ve karot dilimlerinde orta derecede mCD tespit edilmiştir. Karot ardaan değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalarda baraj tabanında ve karot dilimlerinde düşük seviyede mCD tespit edilmiştir (Şekil 156).



Şekil 156. Litolojik ve Karot Ardaan Değerlerine Göre mCD Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

6.9. Kirlilik Yük İndeksi'nin (PLI) Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal ve Dikey Dağılışı

Baraj gölü çökellerinin metal değerlerine bağlı kalitesinin ve gelecek yıllarda yaşanması muhtemel risklerin tespit edilmesi için kirlilik yük indeksi (PLI) hesaplamaları yapılmıştır (Tomlinson, vd., 1980). Kirlilik yük indeksi verileri 0 temiz, kirlilik riskli yok olarak kabul edilmiş ancak 1 değerinin aşılması durumunda gelecekte kirlilik riski ortaya çıkacağı şeklinde değerlendirilmiştir (Tomlinson, vd., 1980). Çalışmanın bu bölümünde litolojik ardaan ve karot ardaan değerlerine göre PLI hesaplanmış ve elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır.

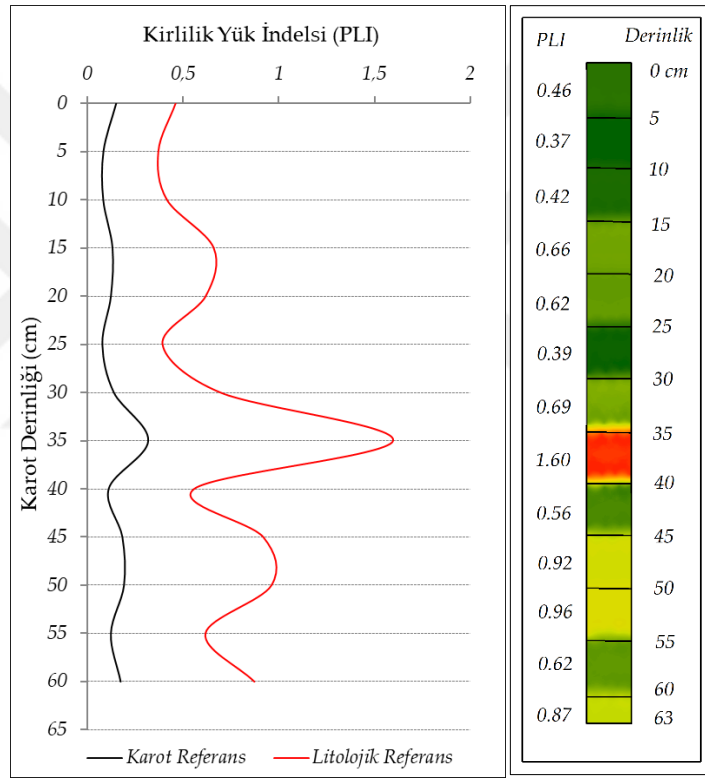


Şekil 157. İkizcetepeler Baraj Gölü'nün Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Kirlilik Yük İndeksi

İkizcetepeler Baraj Gölü'nün kirlilik yük indeksi değerlendirildiğinde, baraj tabanında en yüksek değere 18 ve 19. örnekleme noktasında ulaşılmıştır. Bunun yanında Bağrsak Dere ve yakınındaki mevsimlik akarsu ağzı ile Çınarlı Dere ağzındaki yüksek değer, bahsi geçen akarsu havzalarında antropojenik kaynaklı metal kirliliğinin varlığına işaret etmektedir (Şekil 157). Kille Çayı ve Koca Çay ağzı ile barajın iç kesimlerinde 0 – 1 arasında olan indeks değerleri belirtilen noktalarda kirlilik riski bulunmadığını göstermektedir. Kirlilik yük indeksi verilerinin lokal bir bölgede yüksek çıkması dikkat çekici bir durumdur. İndeks hesaplamalarında yüksek değerler tespit edilen noktalara arazi çalışmaları gerçekleştirilerek kaynak tanımlaması yapılmıştır. Arazi çalışması bulgularına göre Bağrsak Dere ve Çınarlı Dere ağzında yüksek çıkan PLI değerlerinin muhtemel kaynağı tarım arazileridir. 21. örnekleme noktasında yüksek çıkan değerler bölgedeki Hg kirliliğinden, 18 ve 19. örnekleme noktasındaki yüksek değerlerin ise baraj kıyısındaki tarım arazilerinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Karot ardalan değerlerine göre hesaplanan PLI verileri Çınarlı Dere ağzında 1.20, Bağrsak Dere ağzında 2.05, 18 ve 19. örnekleme

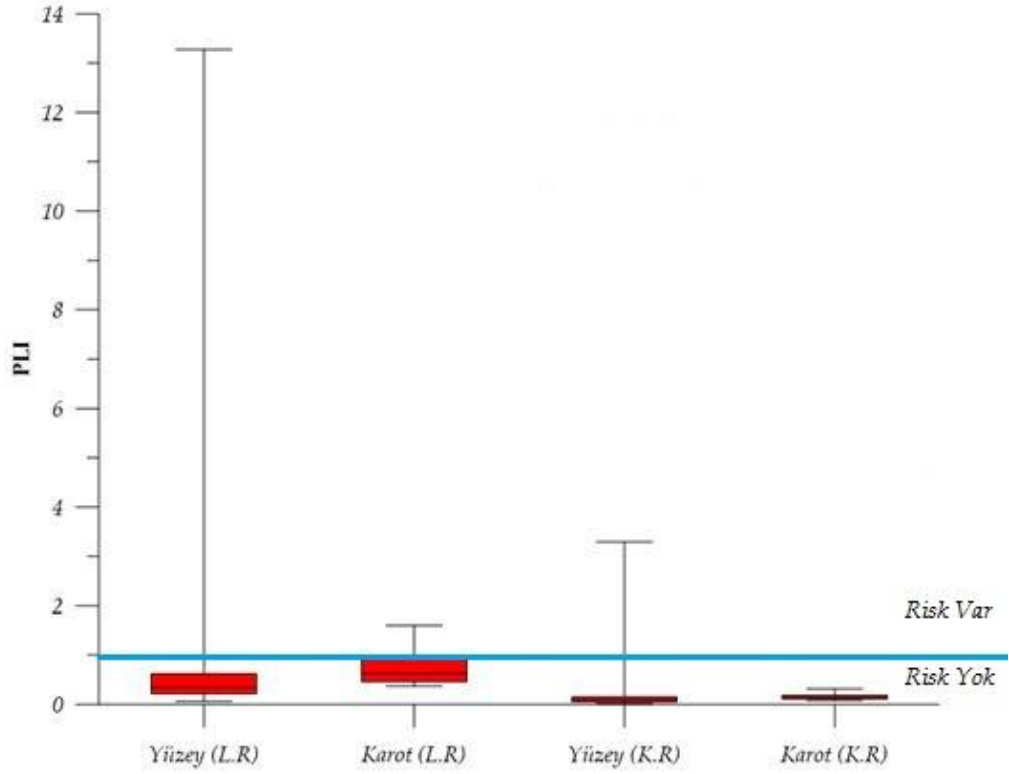
noktasında 3.25 değerlerine ulaşmış, barajın diğer noktalarında 0 – 0.5 değerleri arasında değişmiştir. Karot ardalan değerlerine göre hesaplanan PLI, litolojik ardalan verilerine göre düşük değerlerdedir.

Kirlilik Yük İndeksi verilerinin dikey dağılışı incelendiğinde; karot ardalan değerlerine göre hiçbir dilimde kirlilik yoktur. Litolojik ardalan değerlerine göre, karotun 35 – 40 cm dilimlerinde kirlilik tespit edilmiştir. Bu durum belirtilen dilime karşılık gelen zamanda havzadan antropojenik kaynaklı metal deşarjının yoğunlaştığını göstermektedir. Bahsi geçen dilimden sonra PLI değerleri tekrar azalmış ve kirlilik riski ortadan kalkmıştır. Ancak PLI değerleri 0 - 5 cm diliminde oldukça az bir miktarda artış eğilimine geçmiştir (Şekil 158).



Şekil 158. Kirlilik Yük İndeksinin Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)

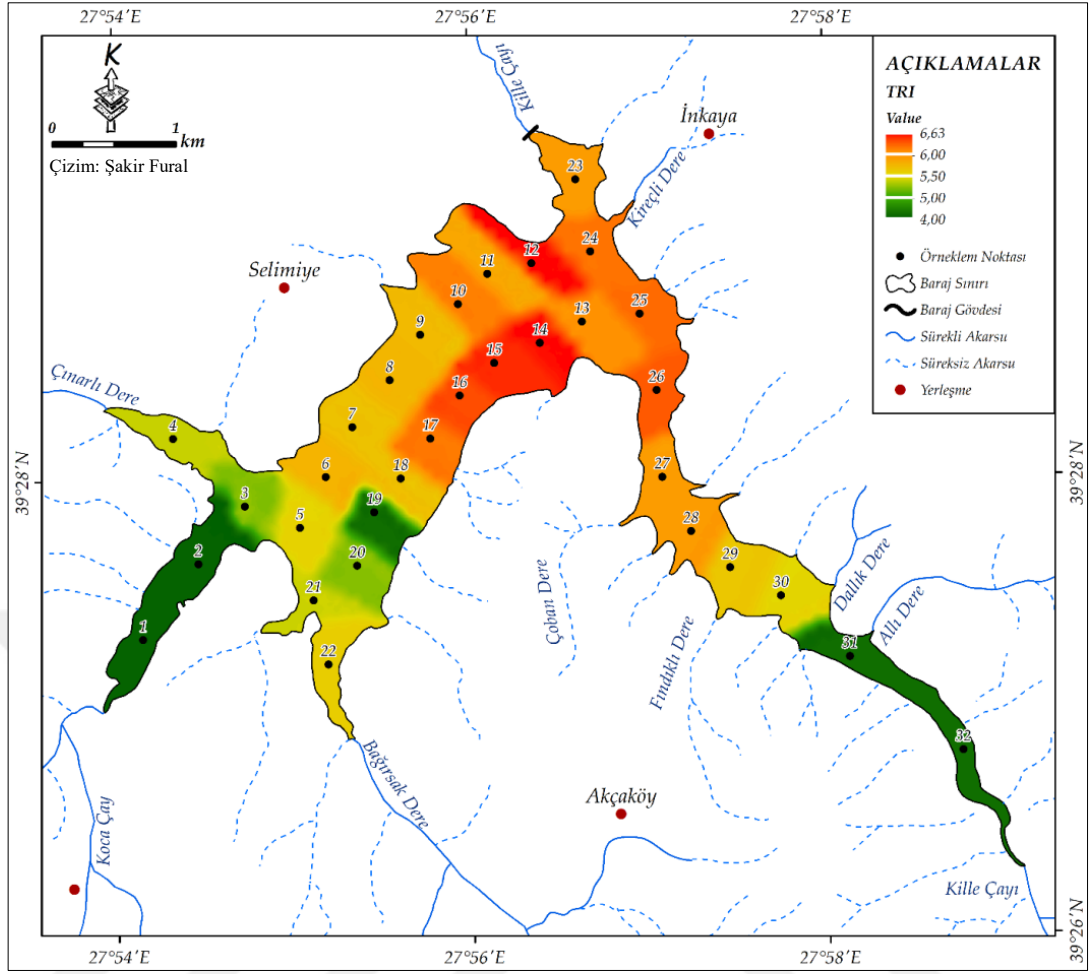
Box Whisker Diyagramına göre PLI en yüksek değere litolojik ardalan verilerine göre hesaplanan yüzey çökellerinde ulaşmıştır. En düşük değerler karot ardalan değerlerine göre hesaplanan karot verilerinde tespit edilmiştir (Şekil 159). Diyagramda yer alan yüksek değerler baraj gölü genelini kapsamamakta lokal bölgelerde oluşan kirliliğe işaret etmektedir. Genel bir değerlendirme yapıldığında, baraj gölü tabanında Bağırsak Dere ve yakınındaki mevsimlik akarsu ağzı, Çınarlı Dere ağzı, 18 ve 19. örnekleme noktaları dışında kirlilik riski tespit edilmemiştir.



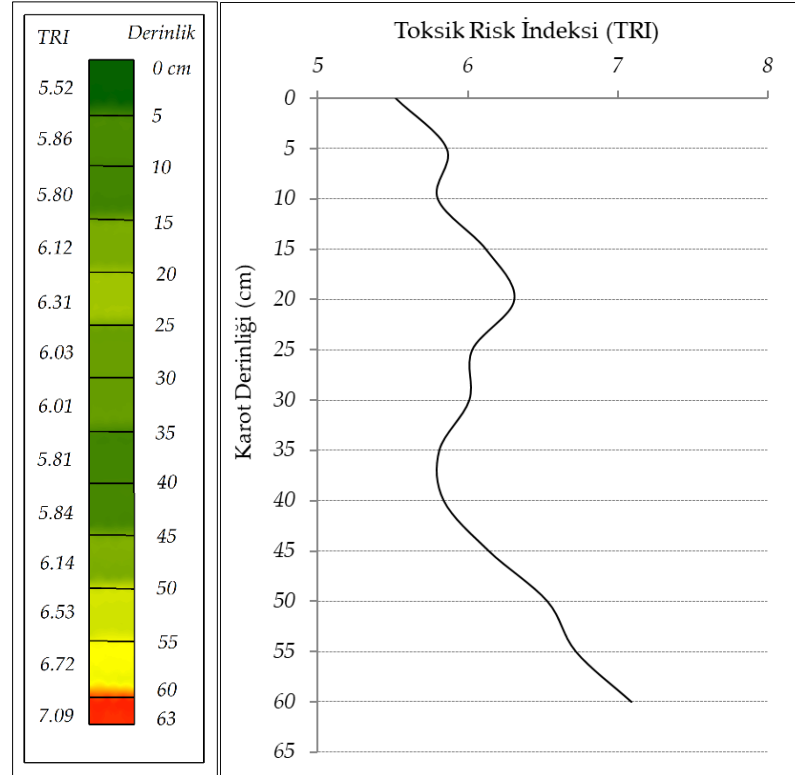
Şekil 159. Kirlilik Yük İndeksinin Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

6.10. Toksik Ekolojik Riskin Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal ve Dikey Dağılışı

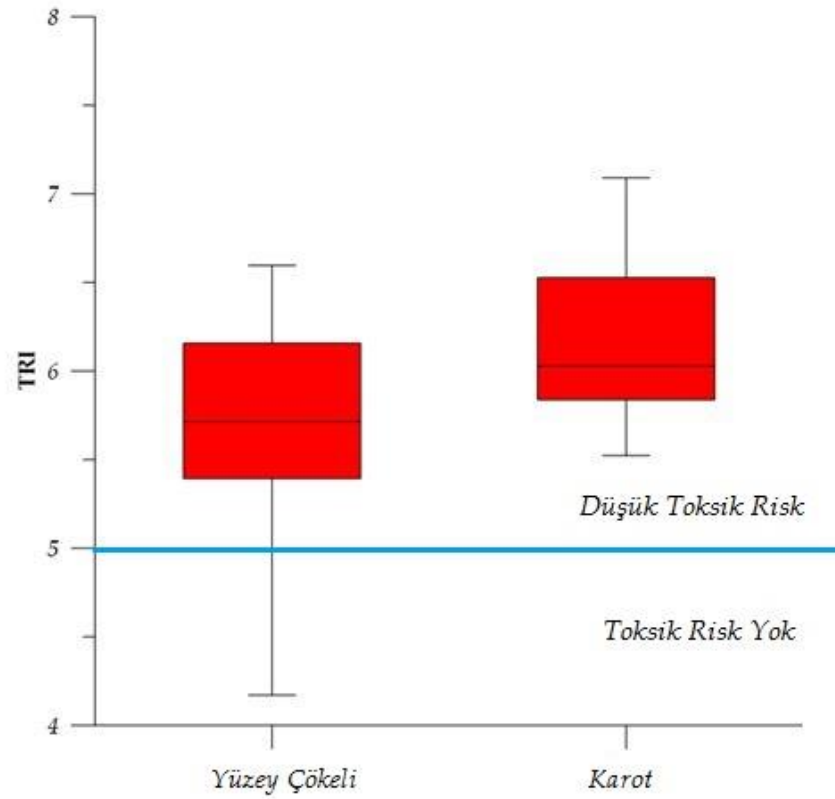
Toksik ekolojik risk metallerin toksik etki sınırlarını toksikolojik deneysel çalışmalara dayanarak belirleyen ve zararlı hale gelmeye başladığı konsantrasyon eşik değerlerini saptayan, önemli bir ekolojik risk indeksidir. TRI verileri şu şekilde değerlendirilmektedir; $TRI < 5$ toksik risk yok, $10 < TRI$ düşük toksik risk, $15 < TRI$ orta toksik risk, $20 \leq TRI$ önemli toksik risk ve $TRI \geq 20$ çok yüksek toksik risk (Zhang vd., 2016). Toksik ekolojik riskin baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı incelendiğinde; Koca Çay ve Çınarlı Dere ağzı ile Kille Çayı'nın baraja deşarj olduğu alan ve 19 ile 20. örnekleme noktalarında toksik ekolojik risk tespit edilmemiştir. Bahsi geçen noktalar dışında kalan bütün alanlarda düşük toksik ekolojik risk tespit edilmiştir (Şekil 160). Box Whisker Diyagramı medyan verilerinden elde edilen bulgulara göre, baraj gölünde düşük toksik ekolojik risk tespit edilmiştir (Şekil 162). TRI'nin mekânsal dağılışı detaylı şekilde incelendiğinde; Kille Çayı, Bağrsak Dere ve Çınarlı Dere'nin düşük seviyede toksik etki yaratan metal deşarjı gerçekleştirdiği tespit edilmiştir.



Şekil 160. Toksik Ekolojik Riskin Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı



Şekil 161. Toksik Ekolojik Risk İndeksinin Dikey Dağılışı (Orijinal)



Şekil 162. Toksik Ekolojik Riskin Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

Kille Çayı'nın baraj gölüne deşarj olduğu ilk noktalarda tespit edilen toksik ekolojik risk akım şiddetine bağlı olarak düşük çıkmıştır. Ancak detaylı bir inceleme yapıldığında baraj gölüne en yüksek değerde toksik risk yaratan metal taşıyan akarsuyun Kille Çayı olduğu görülmektedir.

Toksik ekolojik risk indeksi karot içerisinde 5.52 – 7.09 değerleri arasında (*düşük toksik risk sınırlarında*) tespit edilmiştir. Karot tabanından yüzeye doğru küçük dalgalanmalar şeklinde artıp azalan TRI değerleri 0 - 5 cm diliminde minimum seviyeye inmiştir (Şekil 161). Bu durum, baraj gölü havzasında toksik etki yaratan metal konsantrasyonlarının azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Toksik ekolojik risk indeksinin Box Whisker diyagramı verilerine göre yüzey çökellerinin medyanı 5.7, karotun medyanı 6.1 düzeyindedir. Bu değerlere göre baraj gölünde düşük toksik ekolojik risk bulunmakta ve TRI'nin karot değerleri yüzey çökeli değerlerine göre daha yüksek seviyede seyretmektedir.

6.11. Modifiye Ekolojik Risk Faktörü

Modifiye ekolojik risk indeksi (mER) metallerin doğada bıraktıkları toksik etkilerin ve ekolojik risk tehlikesinin tespit edilmesi için kullanılmaktadır. Her bir metal için ayrı ayrı ve tüm metaller için genel şekilde hesaplanan mER tespit edilen risk değerlerine göre sınıflara ayrılmıştır. Bu sınıflandırma şu şekildedir:

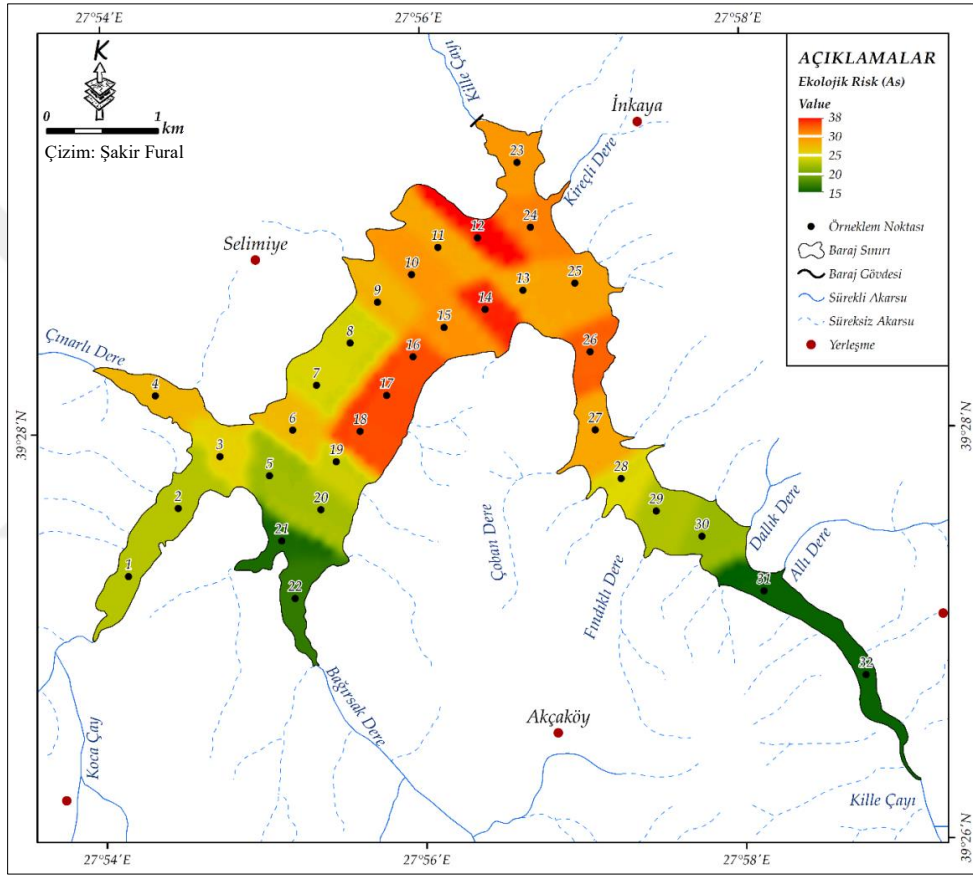
mER < 40 düşük derecede potansiyel ekolojik risk, 40 ≤ mER < 80 orta derecede potansiyel ekolojik risk, 80 ≤ mER < 160 önemli derecede potansiyel ekolojik risk, 160 ≤ mER < 320 yüksek derecede potansiyel ekolojik risk, mER ≥ 320 çok yüksek derecede potansiyel ekolojik risk (Hakanson, 1980).

6.11.1. Modifiye Ekolojik Risk Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı

Çalışma kapsamında baraj gölü tabanında modifiye ekolojik risk faktörünün mekânsal dağılışı haritaları hazırlanmıştır. Ekolojik riskin baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı ve risk kaynaklarının detaylı şekilde araştırılması için öncelikle her metal için ayrı haritalama işlemi yapılmıştır. Ardından, genel bir değerlendirme yapmak için bütün metalleri kapsayan modifiye potansiyel ekolojik risk haritası hazırlanmıştır. Modifiye ekolojik risk ve modifiye potansiyel ekolojik risk indekslerinin hesaplanmasında litolojik ve karot ardaan değerleri kullanılmıştır. Böylece; baraj yapımı öncesi dönemden, 2019 yılına kadar olan ve barajın yapım tarihinden, 2019 yılına kadar gerçekleşen ekolojik risk karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Litolojik ardaan değerlerine göre hesaplanan modifiye ekolojik riskin mekânsal dağılışı incelendiğinde; As ekolojik risk faktörünün baraj gölü tabanında 15 – 38 değerleri arasında değiştiği tespit edilmiştir (Şekil 163). Baraj gölü tabanının tamamında As bakımından düşük ekolojik risk tespit edilmiştir. Mekânsal dağılışı haritalarına göre en düşük As ekolojik riskinin Kille Çayı ve Bağrsak Dere ağzında gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum, bahsi geçen iki alt havzada antropojenik etki yaratan As kaynağı bulunmadığını göstermektedir. Çınarlı Dere ağzındaki 25 – 30 aralığına çıkan değerler alt havzada diğer alt havzalara göre bir miktar fazla antropojenik kökenli As kaynağının varlığına işaret etmektedir. As'nin muhtemel kaynağı Çınarlı Dere Havzası'nda sürdürülen tarımsal faaliyetlerdir. Çünkü As'nin başlıca antropojenik kaynakları kimyasal gübreler, pestisitler ve fosil yakıt

kullanımıdır (Atabey, 2009). 19. örnekleme noktası yakınlarındaki orta dereceye yaklaşan As ekolojik risk değerinin muhtemel sorumlusu su kaynağıdır. Baraj gölünün orta kesimindeki yüksek değerler küçük yan kollar tarafından düşük antropojenik etkili As deşarjı yapılmasından kaynaklanmaktadır. Genel bir değerlendirme yapıldığında; baraj gölünde As metali bakımından düşük derecede ekolojik risk tespit edilmiş olup orta derecede ekolojik risk sınırına yakın örnekleme noktaları ve Çınarlı Dere havzasının takip altında tutulması gerektiği tespit edilmiştir (Şekil 163).



Şekil 163. Arsenik'in Baraj Gölü Tabanındaki Ekolojik Risk Analizi (Orişinal)

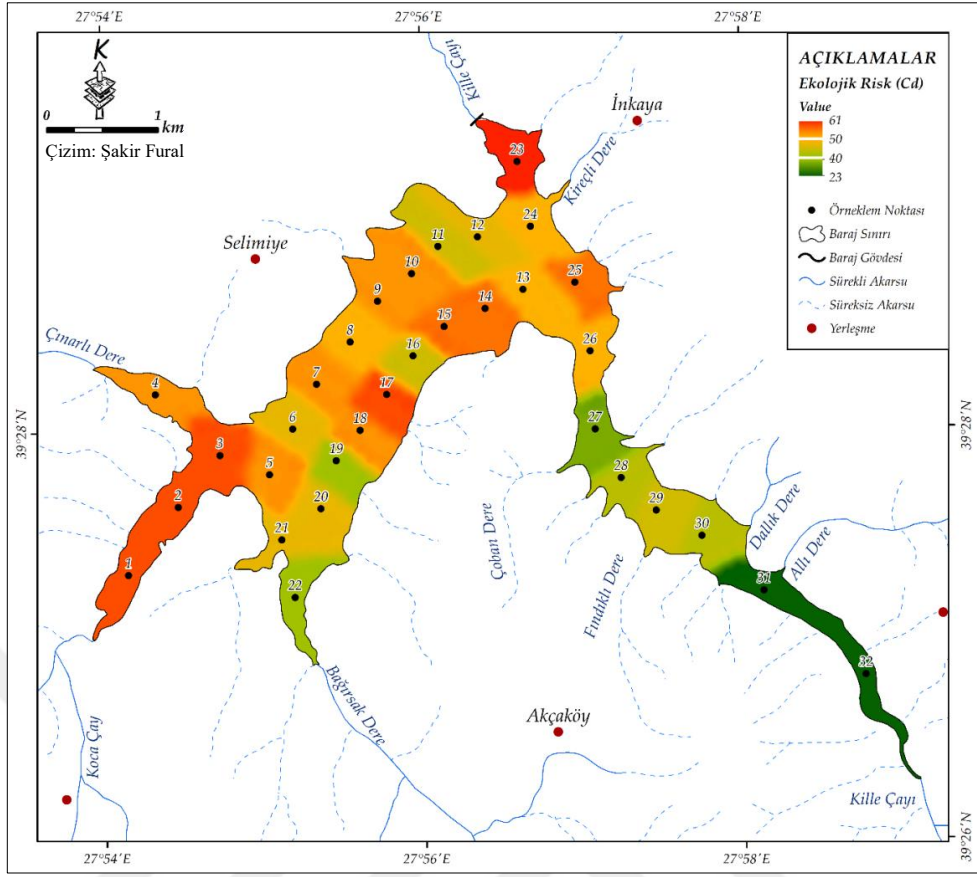
Cd ekolojik risk faktörü baraj gölü tabanında 23 – 61 değerleri arasında değişmektedir. Bağırsak Dere ve Kille Çayı ağız noktaları ile 16. – 19. örnekleme noktasında düşük derecede olan ekolojik risk, barajın diğer noktalarında orta derece seviyesine çıkmaktadır. Bu durum Koca Çay ve Çınarlı Dere havzalarında orta derecede ekolojik risk yaratacak düzeyde Cd kaynağı olduğunu göstermektedir. İnkaya kırsal mahallesi yakınlarında yer alan Kireçli Dere ve çevresindeki yan kollar ile baraj gölü yakınlarındaki bütün yan kolların ağız kısımlarında ekolojik risk 40 – 50 değerleri arasında (orta düzey ekolojik risk seviyesinde) tespit edilmiştir (Şekil

164). Bu durum baraj gölü yakınlarında antropojenik etki yaratan Cd kaynaklarının varlığına işaret etmektedir. Arazi çalışmaları sırasında bahsi geçen noktalarda yoğun şekilde tarım yapıldığı tespit edilmiştir. Cd havzada tarım faaliyetleri sırasında yoğun olarak kullanılan bitki besleme ürünleri ve fosfatlı gübrelerin önemli hammaddelerinden birisidir (Karaca ve Turgay, 2012). Bu nedenle Cd'nin yarattığı ekolojik riskin muhtemel kaynağı tarım faaliyetleridir. Genel bir değerlendirme yapıldığında, baraj gölü tabanının büyük bir kısmında orta düzeyde ekolojik risk bulunduğu tespit edilmiştir.

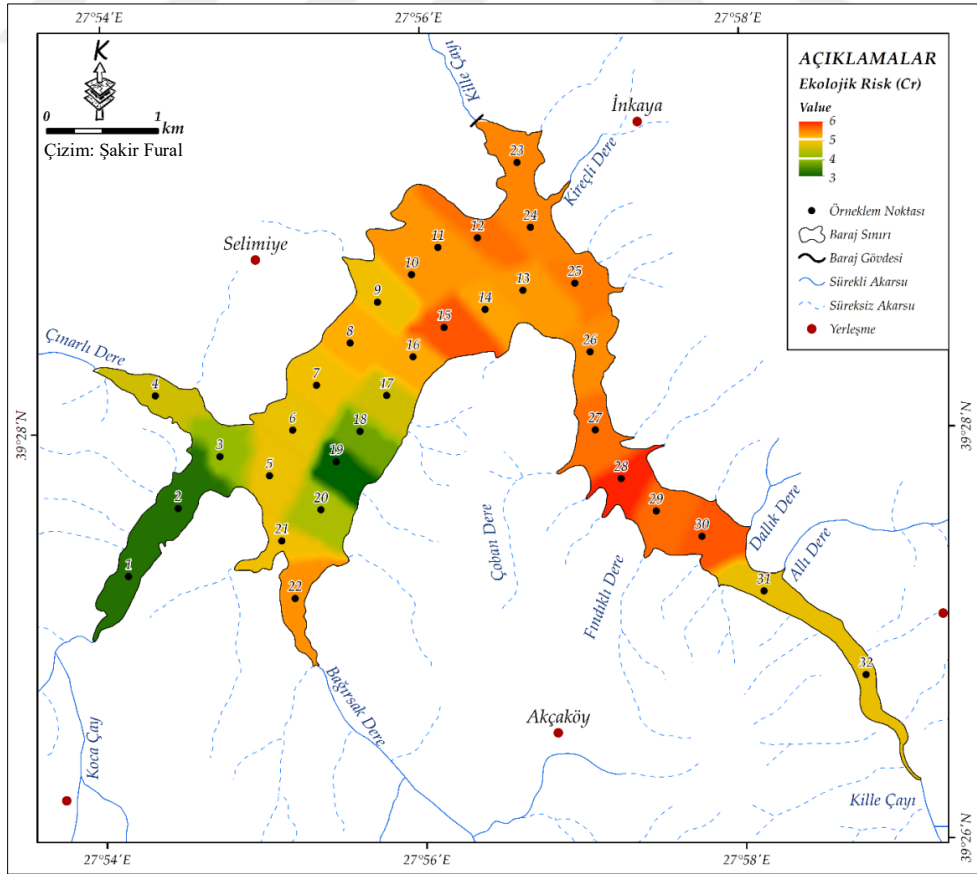
Cr ekolojik risk faktörü diğer metallere göre oldukça düşük değerlerdedir. 3 – 6 arasında değişen Cr ekolojik risk faktörü düşük ekolojik risk sınıfına girmektedir. Cr ekolojik risk indeksinin mekânsal dağılışı incelendiğinde, Koca Çay ve Çınarlı Dere ağız ile 19. örnekleme noktasında minimum değer tespit edilmiştir. Çınarlı Dere, Kireçli Dere, Kille Çayı ağız ve yakınındaki yan kollarda ise bahsi geçen akarsulara göre bir miktar yüksek değer tespit edilmiştir. Ancak genel bir değerlendirme yapıldığında baraj gölünde Cr metali için ekolojik risk tehlikesi yoktur (Şekil 165).

Cu ekolojik risk faktörü 3 – 6 arasında olup, düşük derecede ekolojik risk sınıfındadır. Düşük derecede ekolojik risk sınıfının üst limitinin 40 olduğu düşünüldüğünde baraj gölünce Cu metali açısından toksik etki ve ekolojik risk konusu değildir. Ancak mekânsal dağılışı incelendiğinde, Bağirsak Dere ve Kille Çayı'nın diğer akarsulara göre daha fazla toksik derecede Cu taşıdığı görülmektedir (Şekil 166). Arazi çalışması bulguları ve arazi kullanım haritaları incelendiğinde, bu durumun muhtemel kaynağının tarım faaliyetleri olduğu görülmektedir. Genel bir değerlendirme yapıldığında, baraj gölünde Cu metali bakımından ekolojik risk tehlikesi bulunmamaktadır.

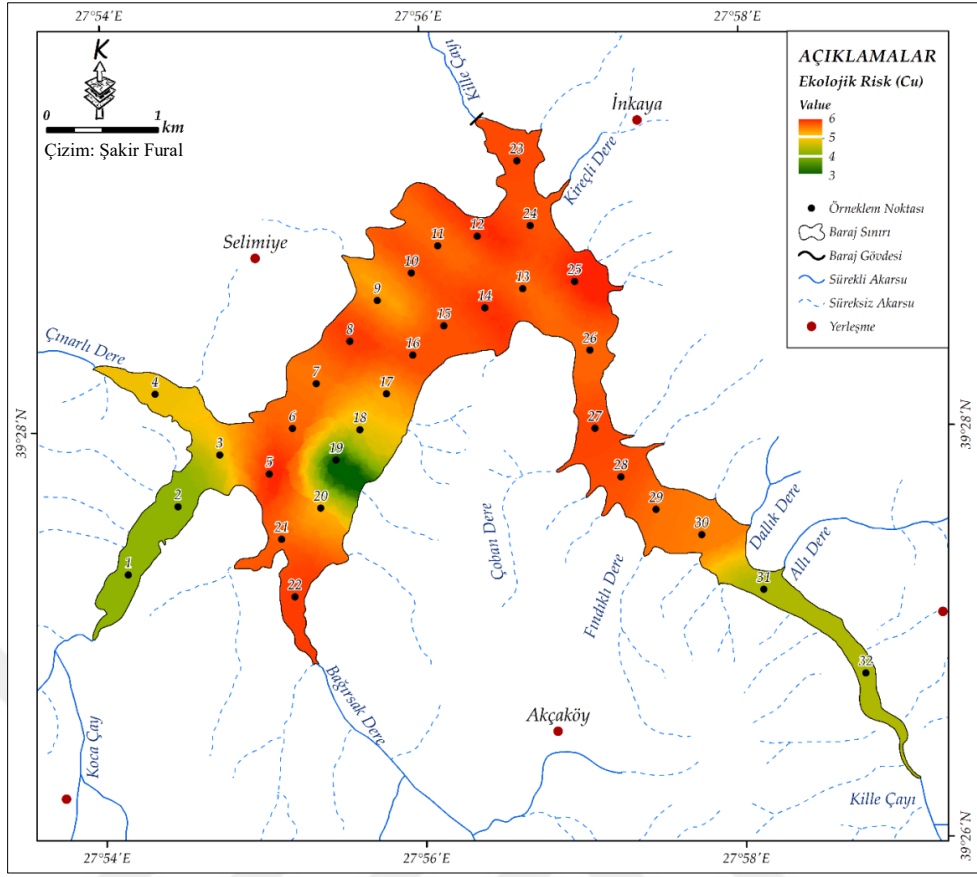
Hg ekolojik risk faktörü 23 – 94 arasında değişmektedir. Koca Çay ve Kille Çayı ağız ile 19. örnekleme noktası çevresinde düşük ekolojik risk, Bağirsak Dere ve Çınarlı Dere ağız ile baraj gölünün orta kesimlerinde orta derecede ekolojik risk tespit edilmiştir. 21. örnekleme noktasında önemli derecede ekolojik risk tespit edilmiştir. Bu kadar dar bir alanda diğer örnekleme noktalarına göre son derece yüksek değerlerin görülmesi dikkat çekici bir durumdur. Genel bir değerlendirme yapıldığında; Kille Çayı ve Koca Çay'ın ağız kısımları ve 19. örnekleme noktası çevresinde düşük ekolojik risk, barajın iç kesimlerinde orta derecede ekolojik risk, Bağirsak Dere ağızında önemli derecede ekolojik risk tespit edilmiştir.



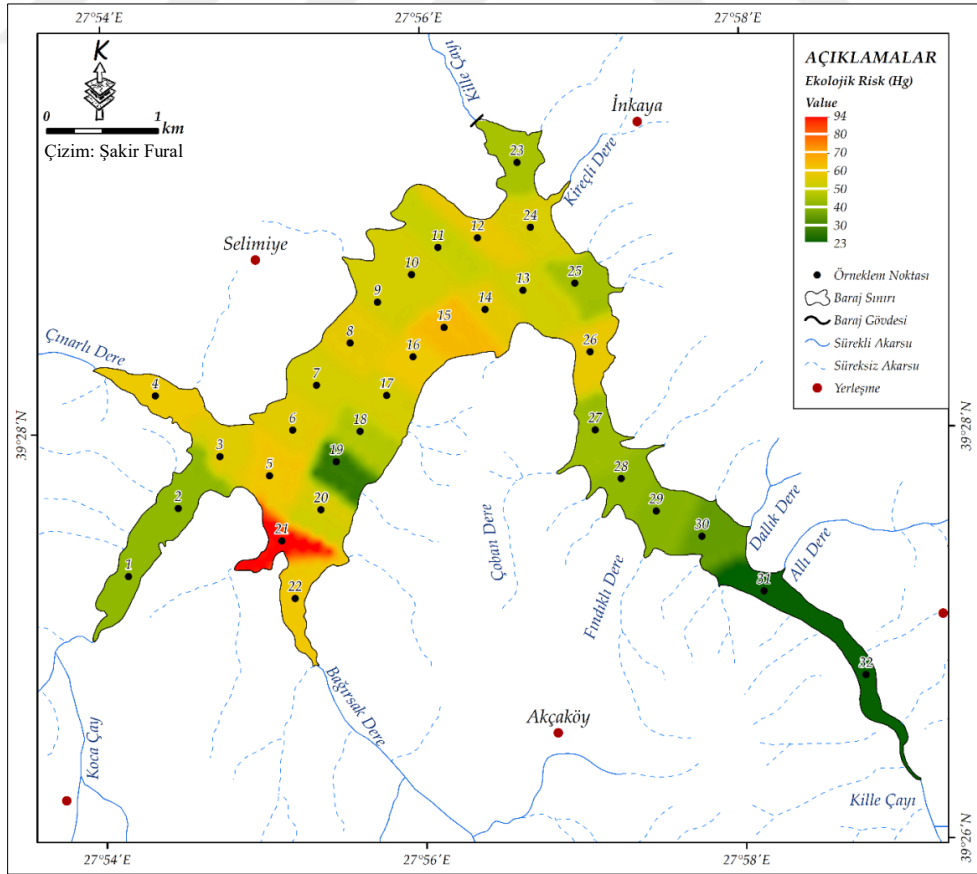
Şekil 164. Kadmiyum'un Baraj Gölü Tabanındaki Ekolojik Risk Analizi



Şekil 165. Krom'un Baraj Gölü Tabanındaki Ekolojik Risk Analizi



Şekil 166. Bakır'ın Baraj Gölü Tabanındaki Ekolojik Risk Analizi



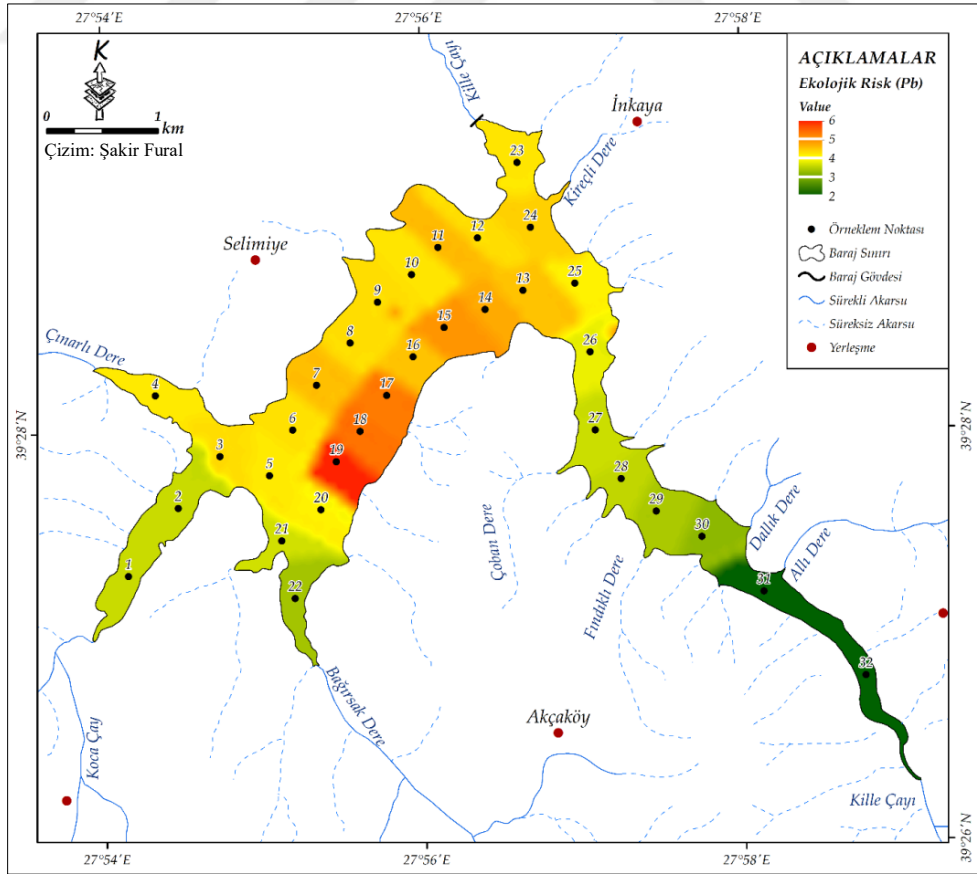
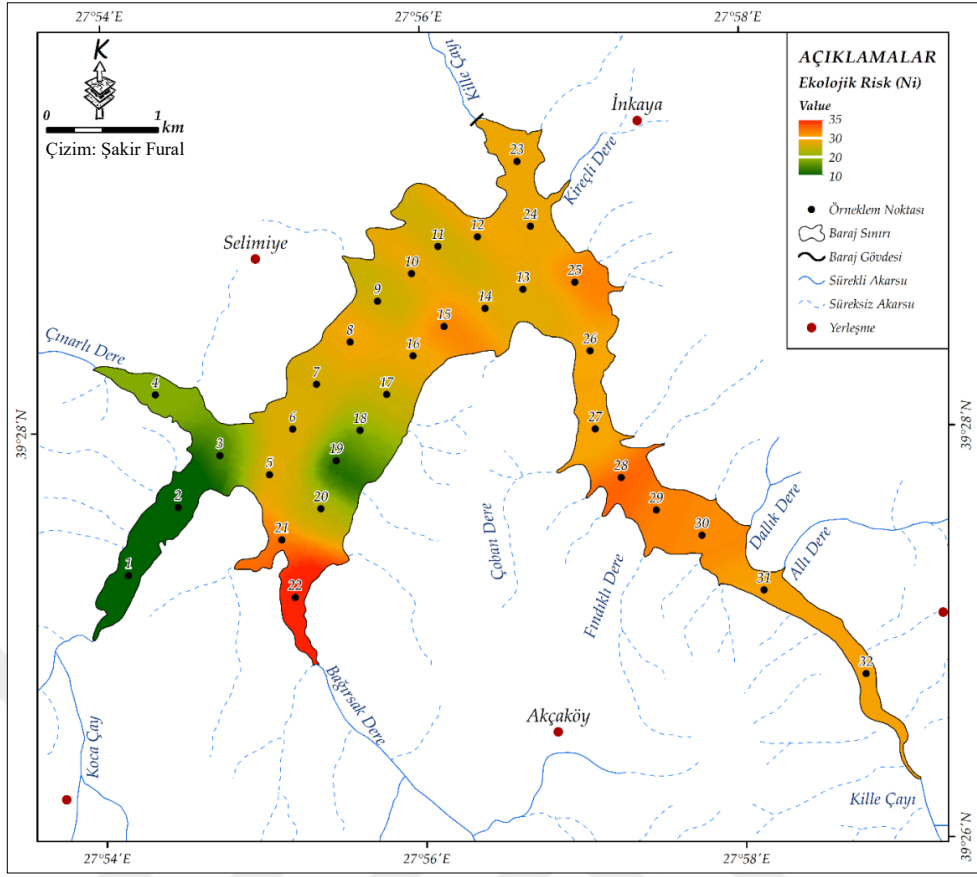
Şekil 167. Civa'nın Baraj Gölü Tabanındaki Ekolojik Risk Analizi

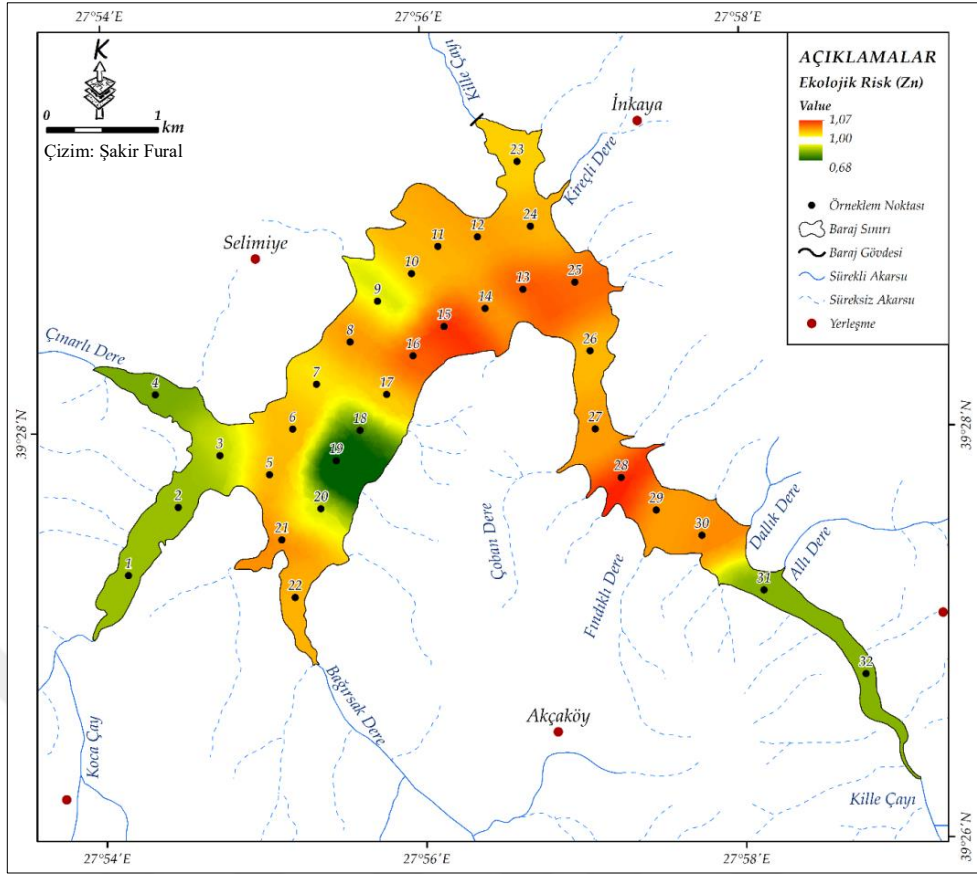
21. örnekleme noktasında tespit edilen önemli derecede ekolojik riskin kaynağı araştırılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda belirtilen nokta yakınlarından kayaç örneği alınmış ve yapılan analizler sonucunda ekolojik riskin litolojik kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

Ni metalinin ekolojik risk değerleri 10 – 35 arasında değişmekte ve bu değerler düşük ekolojik risk sınıfına girmektedir. Ancak Kille Çayı ve Bağırsak Dere ağzında orta derecede ekolojik risk sınırlarına yaklaşmıştır. Mekânsal analiz sonuçları incelendiğinde Koca Çay ve Çınarlı Dere düşük, Kille Çayı ve Bağırsak Dere ise orta derecede ekolojik riske yakın seviyede Ni deşarjı gerçekleştirmektedir. Genel bir değerlendirme yapıldığında; baraj gölünde Ni için ekolojik risk sorunu olmadığı ancak Bağırsak Dere ve Kille Çayı ağzındaki örnekleme noktalarının takip altında tutulması gerektiği tespit edilmiştir (Şekil 168). Ni metalinin muhtemel kaynağı mermer ocağı ya da Bağırsak Dere havzasının litolojik özellikleridir.

Pb ekolojik risk değerleri 3 – 6 arasında değişmekte ve düşük ekolojik risk sınıfına girmektedir. Mekânsal analiz sonuçları incelendiğinde; Kille Çayı, Koca Çay, Bağırsak Dere ağzında 3 – 4 arasında olan değerler, Çınarlı Dere ağzı ve barajın iç kesimlerinde 4 – 5 seviyelerine çıkmaktadır. En yüksek ekolojik risk değerlerine 19. örnekleme noktasındaki su kaynağı çevresinde rastlanmaktadır (Şekil 169). Bu durum bahsi geçen noktada yer alan su kaynağının akarsulara göre daha fazla toksik derecede Pb deşarjı gerçekleştirdiğini göstermektedir. Ekolojik risk sınıflandırmasına göre bir değerlendirme yapıldığında baraj gölü tabanında Pb bakımından ekolojik risk tehlikesi bulunmamaktadır.

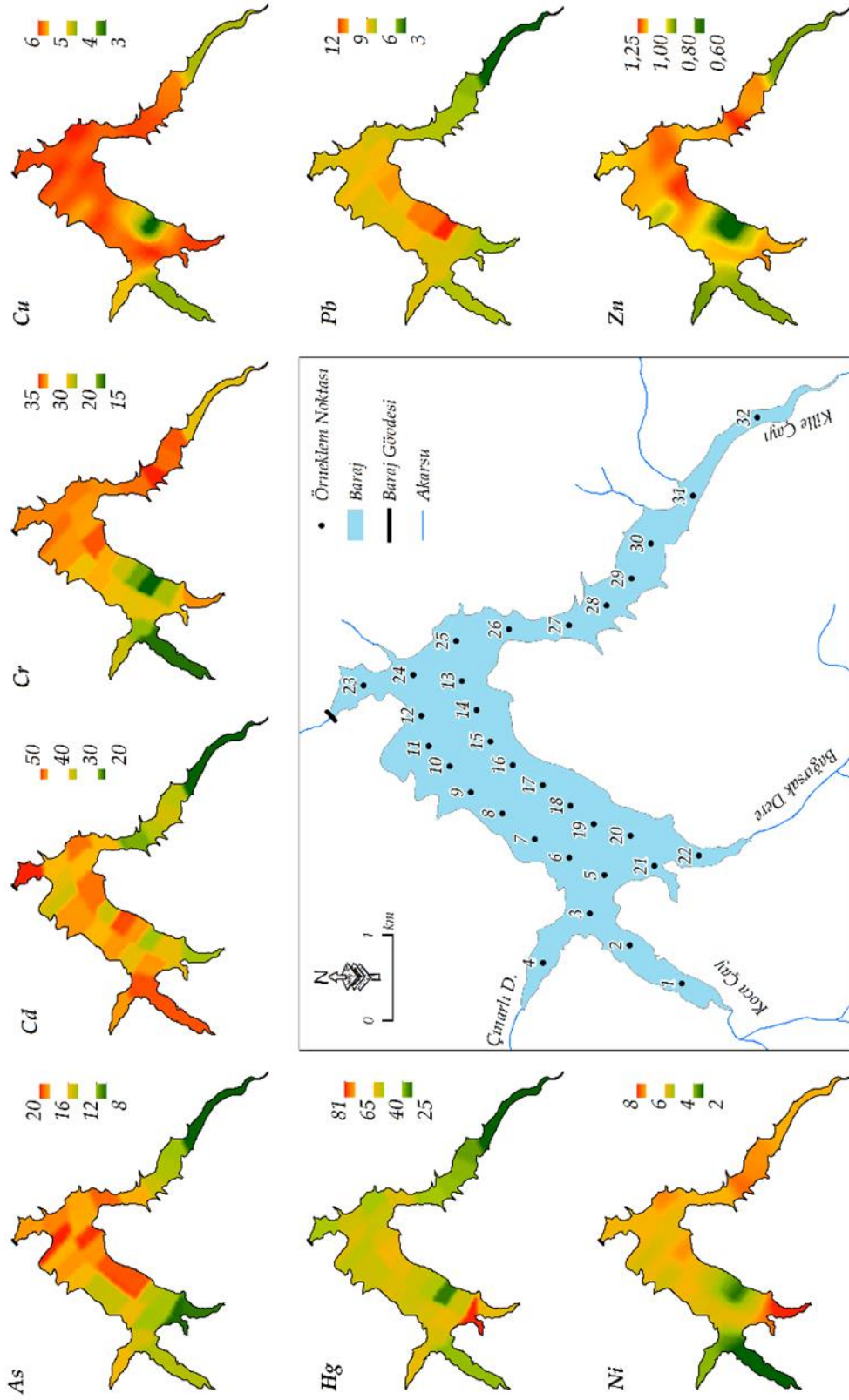
Zn ekolojik risk tehlikesi en düşük en düşük (2 – 6) olan metallerden biridir. Düşük ekolojik risk sınıfının en taban seviyelerinde ölçülen Zn metalinin ekolojik riskinin mekânsal analizi incelendiğinde; Koca Çay, Çınarlı Dere ve 19. örnekleme noktasındaki su kaynağından en düşük seviyede toksik etkili Zn taşıdığı görülmektedir. Buna karşılık, Kille Çayı ve Bağırsak Dere ağızlarında diğer noktalara göre yüksek değerler ölçülmüştür (Şekil 170). Ancak baraj gölünde Zn için ekolojik risk tehlikesi bulunmamaktadır.



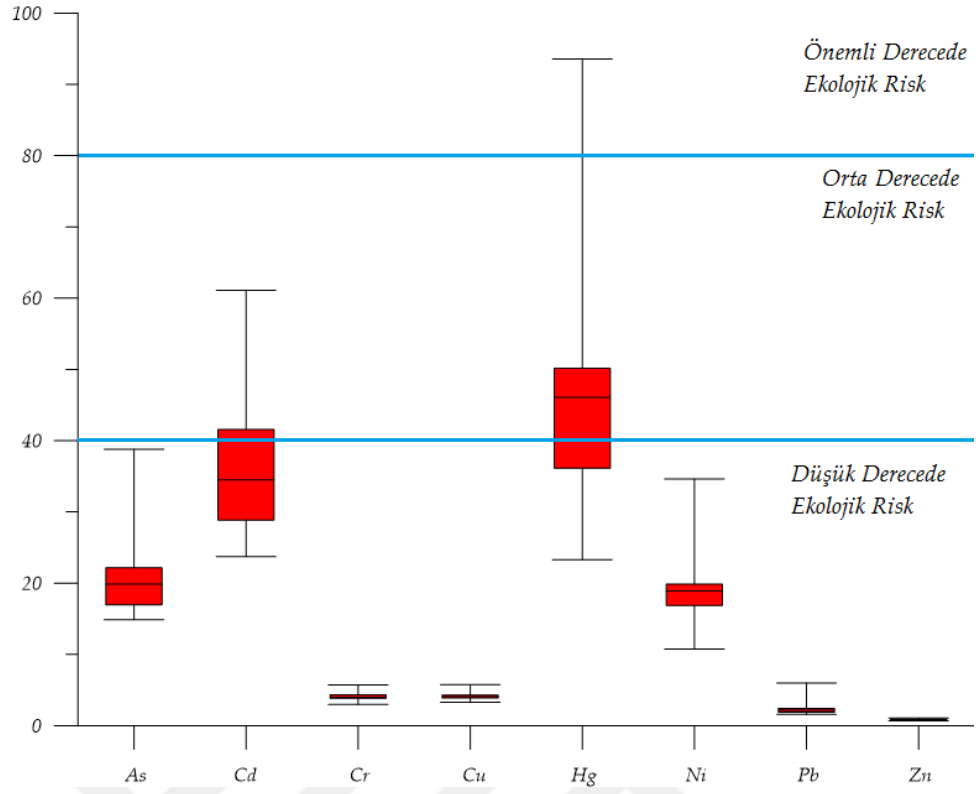


Şekil 170. Çinko'nun Baraj Gölü Tabanındaki Ekolojik Risk Analizi

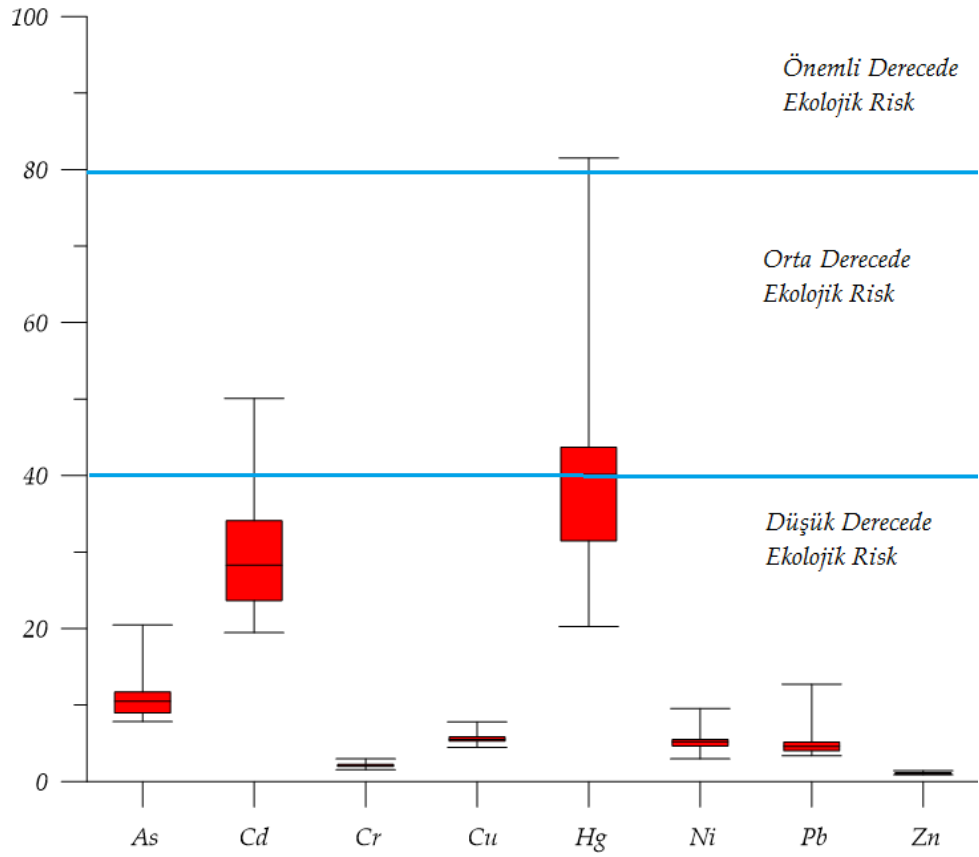
Baraj gölü tabanında ekolojik risk litolojik ardaan değerlerine göre $Hg > Cd > As > Ni > Cu > Cr > Pb > Zn$, karot ardaan değerlerine göre $Hg > Cd > As > Ni > Cu > Pb > Cr > Zn$ şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 172 ve 173). Ortalama litolojik ardaan değerlerine göre Hg için önemli derecede, Cd için orta derecede, As ve Ni için orta dereceye çok yakın diğer metaller için düşük seviyede ekolojik risk tespit edilmiştir. Ardaan değerlerin 1991 yılından örneklerin alındığı 2019 yılına kadar olan süreci kapsayan karot verilerinde ekolojik risk yaratan metaller aynı ancak risk seviyesi farklıdır. Ortalama karot ardaan değerlerine göre Hg için önemli derecenin en alt limitinde, Cd için orta derecede, diğer metaller için düşük ekolojik risk tespit edilmiştir (Şekil 171).



Şekil 171. Karot Ardalan Değerlerine Göre Hesaplanan Modifiye Ekolojik Risk Faktörünün Mekânsal Dağılışı (Şakir Fural)



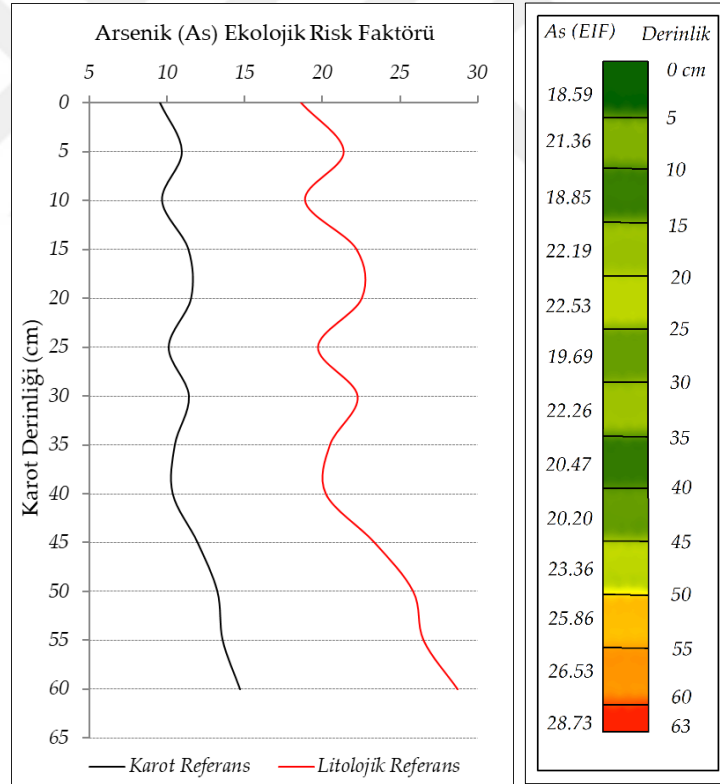
Şekil 172. Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Ekolojik Risk Faktörünün Box Whisker Diyagramı (Orijinal)



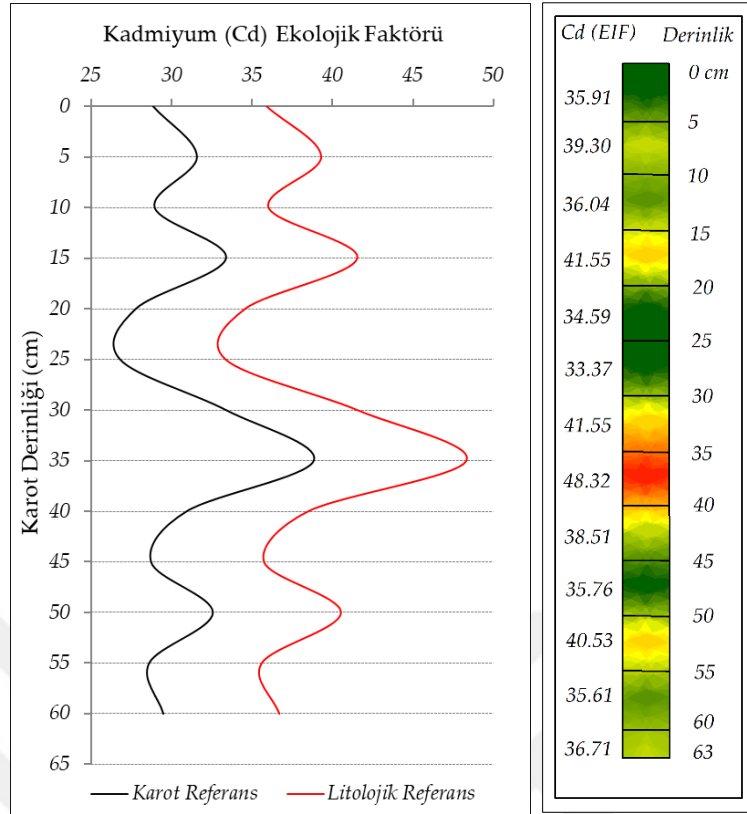
Şekil 173. Karot Ardalan Değerlerine Göre Ekolojik Risk Faktörünün Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

6.11.2. Modifiye Ekolojik Risk Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Dikey Dağılışı

Modifiye ekolojik risk faktörünün baraj gölü tabanındaki dikey dağılışının incelenmesi ekolojik riskin zamansal değişiminin tespit edilmesi açısından son derece önemlidir. Modifiye ekolojik risk faktörü mekânsal dağılışıta olduğu gibi iki farklı ardalın değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Böylece litolojik ardalın değeri ile baraj yapımı öncesinden 2019 yılına kadar gerçekleşen ekolojik risk ve barajın yapımından örneklerin alındığı 2019 yılına kadar gerçekleşen ekolojik risk tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, As ekolojik risk faktörünün karot ardalın değerlerine göre 9.89 – 16.72 litolojik ardalın değerlerine göre 18.59 – 28.73 arasında değiştiği ve yüzeye yaklaştıkça azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 174). Bu durum baraj gölüne deşarj edilen As miktarının zaman içerisinde azaldığını göstermektedir. Karot dilimlerinin hiçbir seviyesinde As bakımından ekolojik risk tehlikesi tespit edilmemiştir.



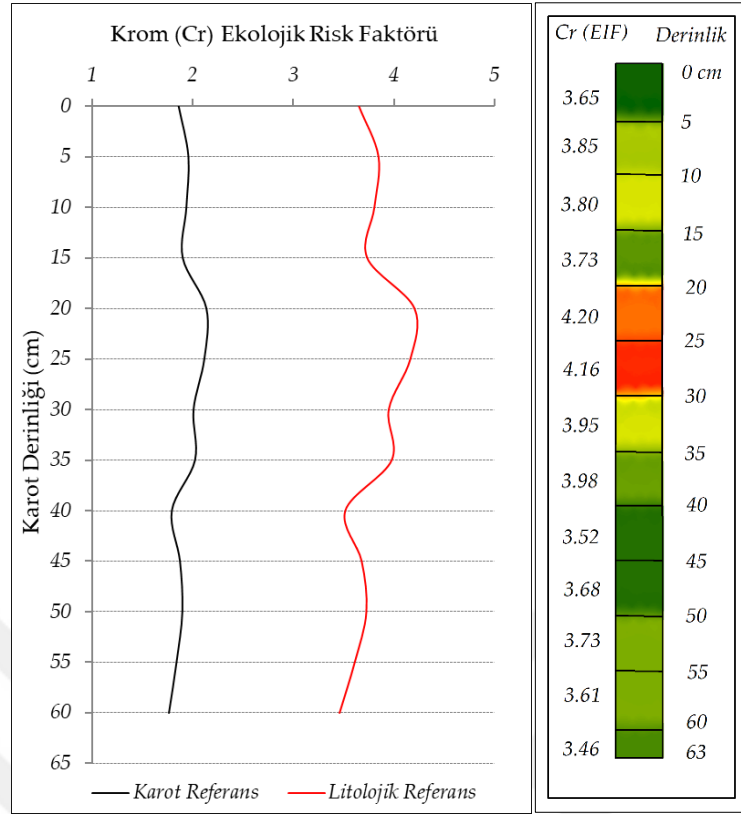
Şekil 174. As Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



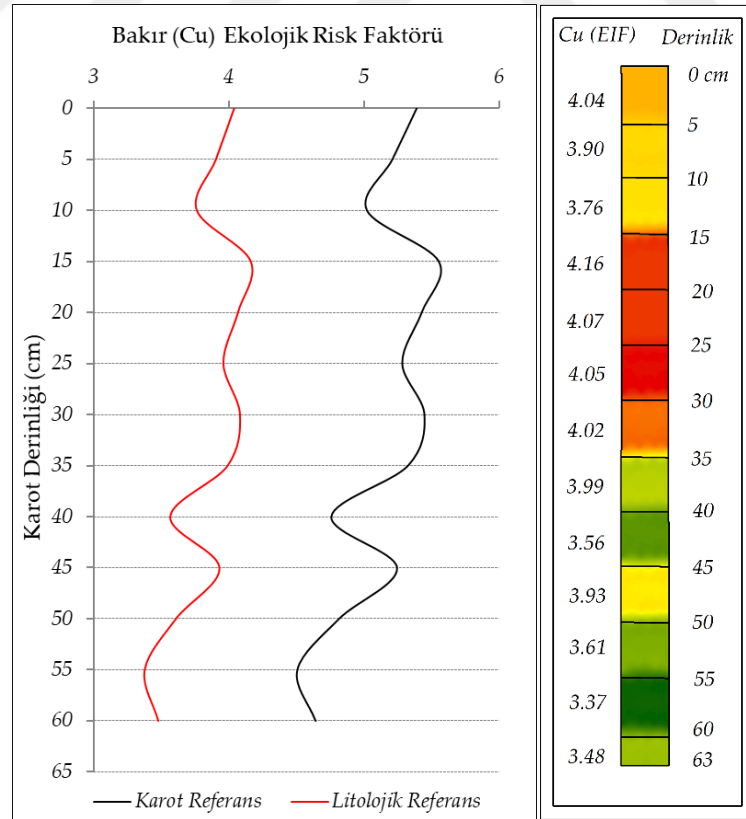
Şekil 175. Cd Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)

Cd ekolojik risk faktörü karot ardalan değerlerine göre 30.01 – 38.82, litolojik ardalan değerlerine göre 33.37 – 48.32 arasında değişmekte ve karotun 30 – 40 cm dilimleri arasında orta derecede ekolojik risk yaratmaktadır. Bu durum bahsi geçen dilimlere karşılık gelen zaman aralığında baraj gölüne yüksek antropojenik etkili Cd deşarjı gerçekleştiğini göstermektedir. Cd belirtilen dilimlerde maksimum değerlere ulaşmış, ardından azalma eğilimine girerek 15 – 20 cm dilimlerinde tekrar orta derecede ekolojik risk yaratmıştır (Şekil 175). Ancak sonraki dönemde deşarjın azalması ile tekrar azalma eğilimine geçmiş ve 0 - 5 cm diliminde azalma eğilimindedir. Litolojik ardalan değerlerine göre Cd orta derecede ekolojik risk yaratmaktadır.

Cr ekolojik risk faktörü karot ardalan değerlerine göre 1.93 – 2.37, litolojik ardalan değerlerine göre 3.46 – 4.20 arasında değişmektedir. En yüksek değer karotun 20 – 30 cm dilimlerinde tespit edilmiş olup, karot içerisinde Cr bakımından ekolojik risk söz konusu değildir (Şekil 176). Cr ekolojik risk faktörünün 0 - 5 cm diliminde azalma eğiliminde olması antropojenik kaynaklı girdilerin azaldığını göstermektedir.



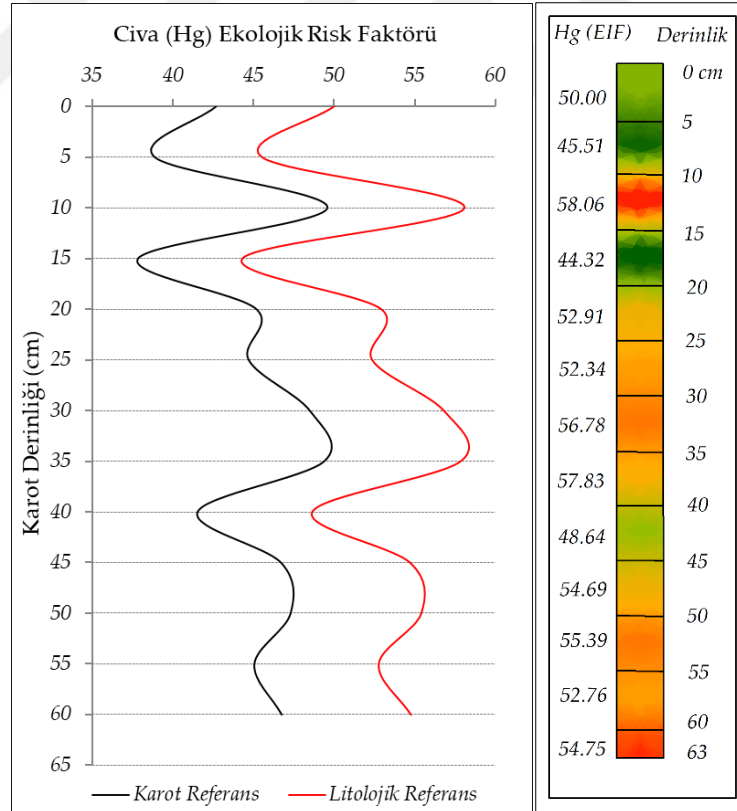
Şekil 176. Cr Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



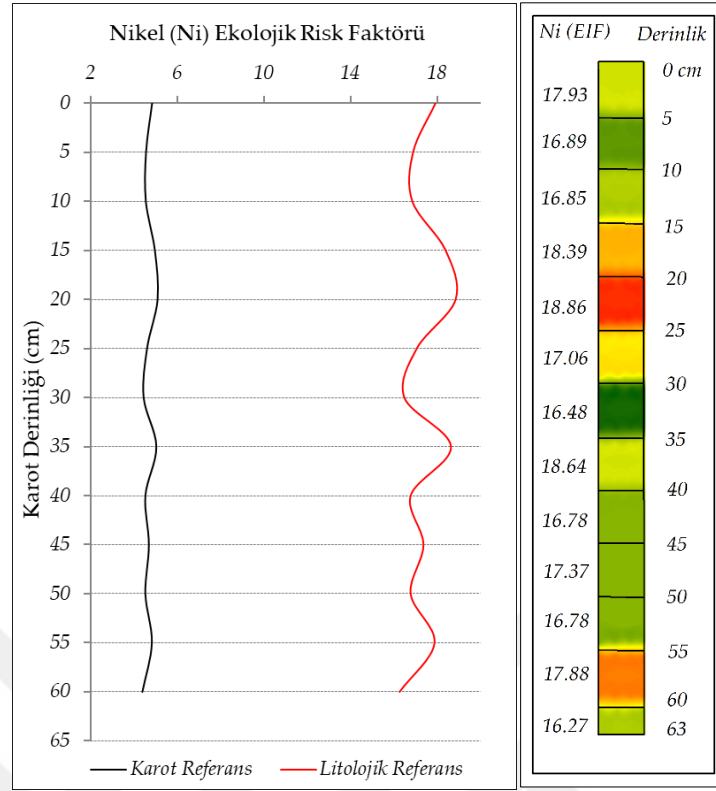
Şekil 177. Cu Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)

Cu ekolojik risk faktörü karot ardaan değerlerine göre 4.99 – 5.91, litolojik ardaan değerlerine göre 3.37 – 4.16 arasında değişmekte ve en yüksek değer 15 – 35 cm dilimleri arasında gözlenmektedir (Şekil 177). Bu durum bahsi geçen dilimler arasında diğer zamanlara göre daha fazla Cu deşarjı gerçekleştiğini göstermektedir. 0 - 5 cm diliminde baraj gölünde Cu bakımından ekolojik risk yoktur. Ancak Cu ekolojik risk faktörü değerleri 0 - 5 cm diliminde artışa geçmiştir.

Hg ekolojik risk faktörü karot ardaan değerlerine göre 40.04 – 54.38 litolojik ardaan değerlerine göre 44.32 – 58.06 arasında değişmektedir. Bu değerlere göre karotun bütün dilimlerinde *orta derecede Hg ekolojik riski* bulunmaktadır. Hg ekolojik riski karotun en dip noktasında maksimum değere yakın (54.75) tespit edilmiş, 10 – 15 cm dilimine kadar dalgalanmalar şeklinde artış azalmıştır. 10 – 15 cm dilimleri arasında en yüksek değere ulaşan Hg ekolojik risk faktörü 5 – 10 cm dilimleri arasında azalarak 45.51 seviyesine inmiş ancak 0 - 5 cm diliminde tekrar artış eğilimine geçmiştir (Şekil 178). Bu durum baraj gölüne Hg deşarjının devam ettiği anlamına gelmektedir.



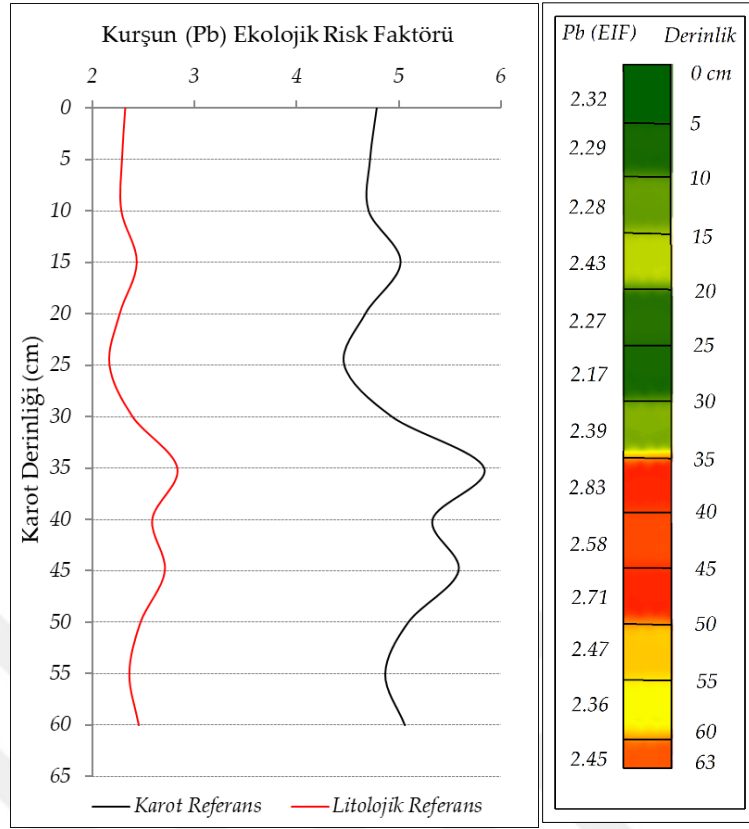
Şekil 178. Hg Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardaan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



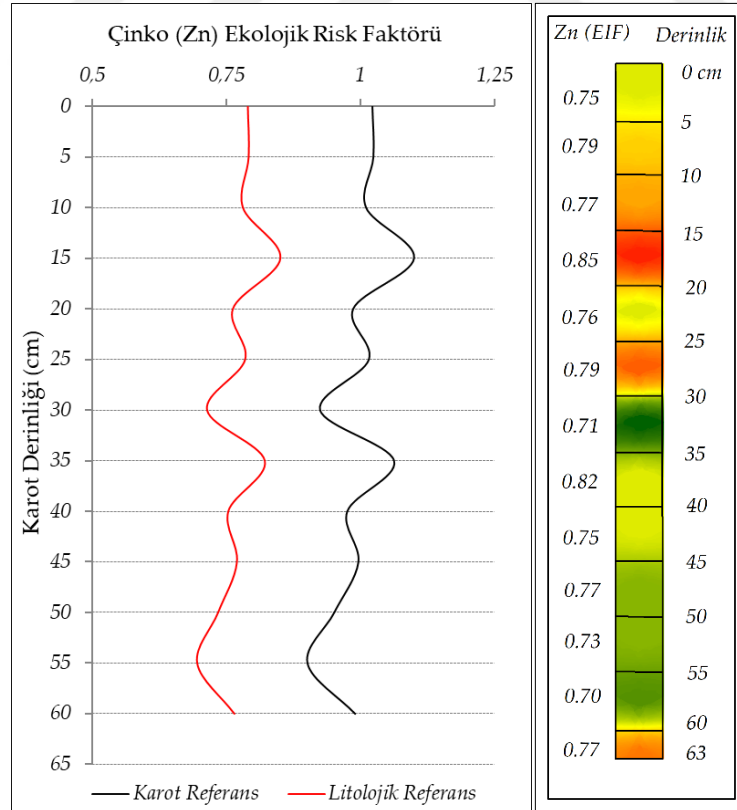
Şekil 179. Ni Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardalan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)

Ni ekolojik risk faktörü karot ardalan değerlerine göre 4.71 – 5.50, litolojik ardalan değerlerine göre 16.27 – 18.86 arasında değişmekte olup ekolojik risk tehlikesi bulunmamaktadır (Şekil 179). Ancak ekolojik risk değerinin 0 - 5 cm diliminde artış eğiliminde olması dikkat çekici bir durumdur. Bahsi geçen artış eğiliminin izlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

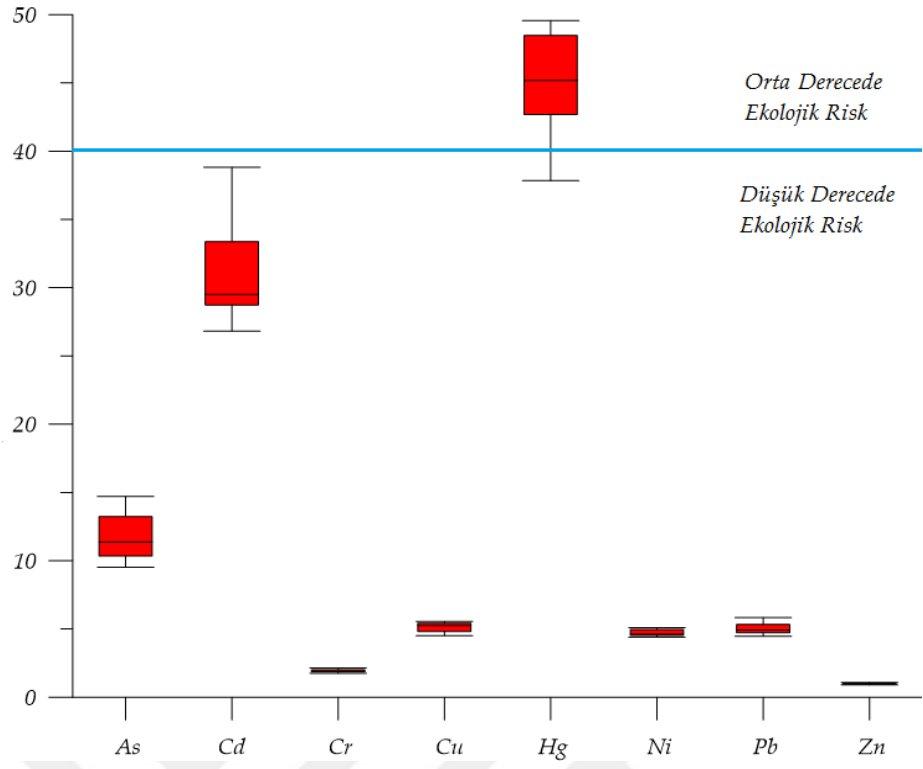
Pb ekolojik risk değerleri karot ardalanına göre 4.97 – 5.83, litolojik ardalan değerlerine göre 2.17 – 2.83 arasında değişmekte ve bu değerler 0 - 5 cm diliminde azalma eğilimindedir. Elde edilen verilere göre, baraj gölünde Pb açısından ekolojik risk bulunmamaktadır (Şekil 180). Pb ekolojik risk faktörünün düşük çıkmasında ve 0 - 5 cm diliminde azalma eğiliminde olmasında kurşunsuz benzin kullanımının yasaklanması ve dünya genelinde Pb salınımı için alınan önlemlerin etkili olduğu düşünülmektedir. Çünkü küresel olarak en fazla mücadele edilen antropojenik etkili metallardan birisi Pb'dir.



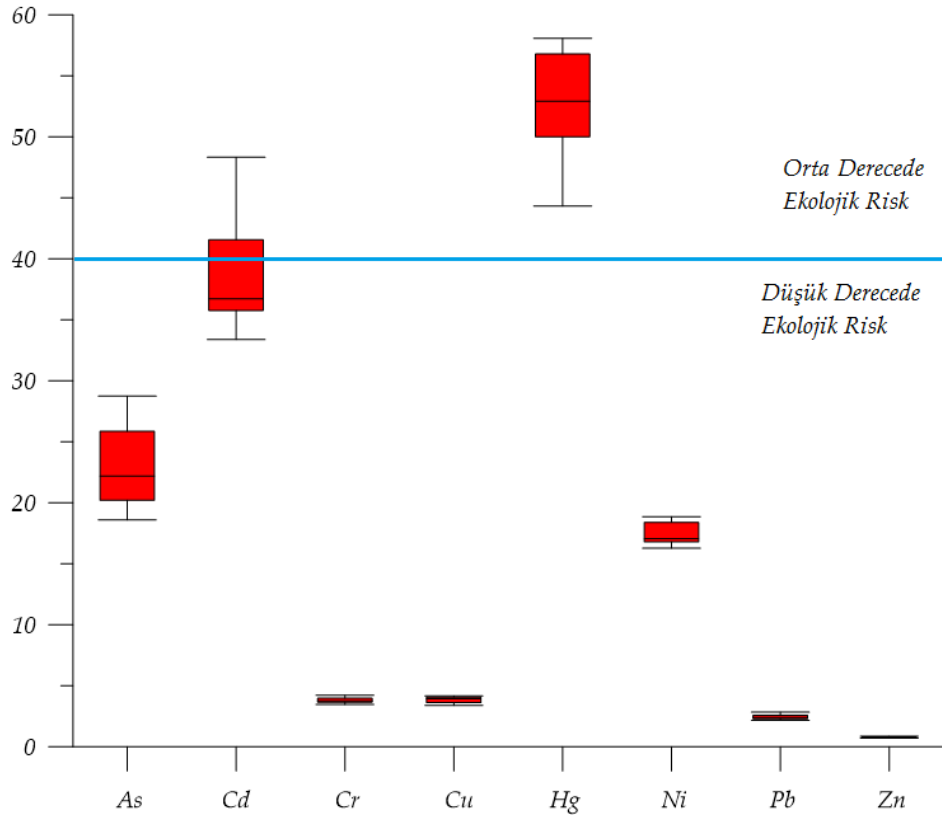
Şekil 180. Pb Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



Şekil 181. Zn Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Ardan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



Şekil 182. Ekolojik Risk Faktörünün Karot Ardalan Değerlerine Göre (ER) Box Whisker Diyagramı (Orijinal)



Şekil 183. Ekolojik Risk Faktörünün Karot Ardalan Değerlerine Göre (ER) Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

Zn ekolojik risk faktörü karot ardalana göre 0.98 – 1.16, litolojik ardalana değerlerine göre 0.71 – 0.85 arasında değişmekte ve 0 - 5 cm diliminde azalma eğilimindedir. Bu değerlere göre baraj gölünde Zn ekolojik riski bulunmamaktadır (Şekil 181).

Ekolojik risk faktörünün Box Whisker diyagramı incelendiğinde karot ardalana değerlerine göre; *Cd ve Hg metalleri orta derecede ekolojik risk sınıfına girerken diğer metaller ekolojik risk yaratmamaktadır.* Litolojik ardalana değerlerine göre yapılan hesaplamalarda, metallerin risk faktörleri bir miktar yükselmiş ancak *Cd ve Hg'nin orta derecede ekolojik risk yaratması dışında bir sorun tespit edilmemiştir* (Şekil 182 ve 183). Ekolojik risk faktörü karot ardalana değerlerine göre $Hg > Cd > As > Cu > Pb > Ni > Cr > Zn$ şeklinde, litolojik ardalana değerlerine göre $Hg > Cd > As > Ni > Cu > Cr > Pb > Zn$ şeklinde sıralanmaktadır. Ekolojik risk faktörünün dikey dağılışında dikkat çeken önemli hususlardan birisi *Cu, Pb, Zn* metallerinin karot ardalana değerlerine göre hesaplanan risk faktörlerinin litolojik ardalana değerlerine göre yüksek çıkmasıdır. *Cu, Pb, Zn* metalleri ekolojik risk tehlikesi yaratmamaktadır. Ancak barajın kuruluşundan (1991) örneklerin alındığı 2019 yılına kadar geçen 28 yıllık sürede baraj yapımı öncesinden daha fazla zenginleşmeleri ve buna bağlı olarak risk sınıfına girmese de daha fazla ekolojik risk değerine sahip olmaları dikkat çekicidir. Bu durumun ortaya çıkmasında *Cu ve Zn'nin* havzada yapılan tarım faaliyetlerin, *Pb'nin* ise barajın su tutmaya başlamasıyla 19. örnekleme noktasındaki su kaynağının gerçekleştirdiği deşarj ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir.

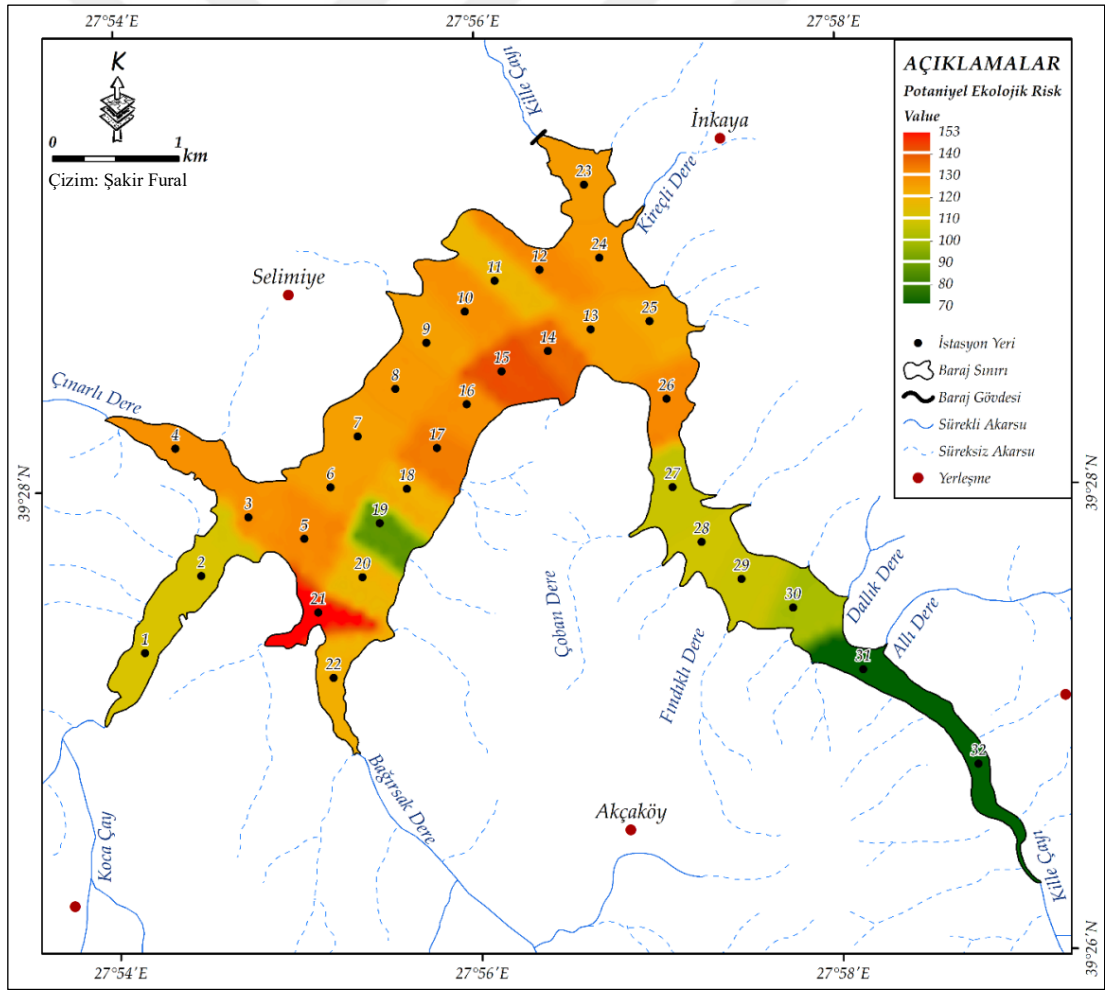
6.12. Modifiye Potansiyel Ekolojik Risk Faktörü

Modifiye potansiyel ekolojik risk faktörü bütün metallerin toplam risk faktörlerini dikkate alarak hazırlanmıştır. İnceleme alanıyla ilgili genel değerlendirme yapmak için kullanılan indeks türünden elde edilen bulgular şu şekilde değerlendirilmektedir:

mPER ≤ 150 düşük potansiyel ekolojik risk, 150 – 300 orta düzeyde potansiyel ekolojik risk, 300 – 600 önemli derecede potansiyel ekolojik risk, 600 $\geq$ çok yüksek derecede potansiyel ekolojik risk (Hakanson, 1980).

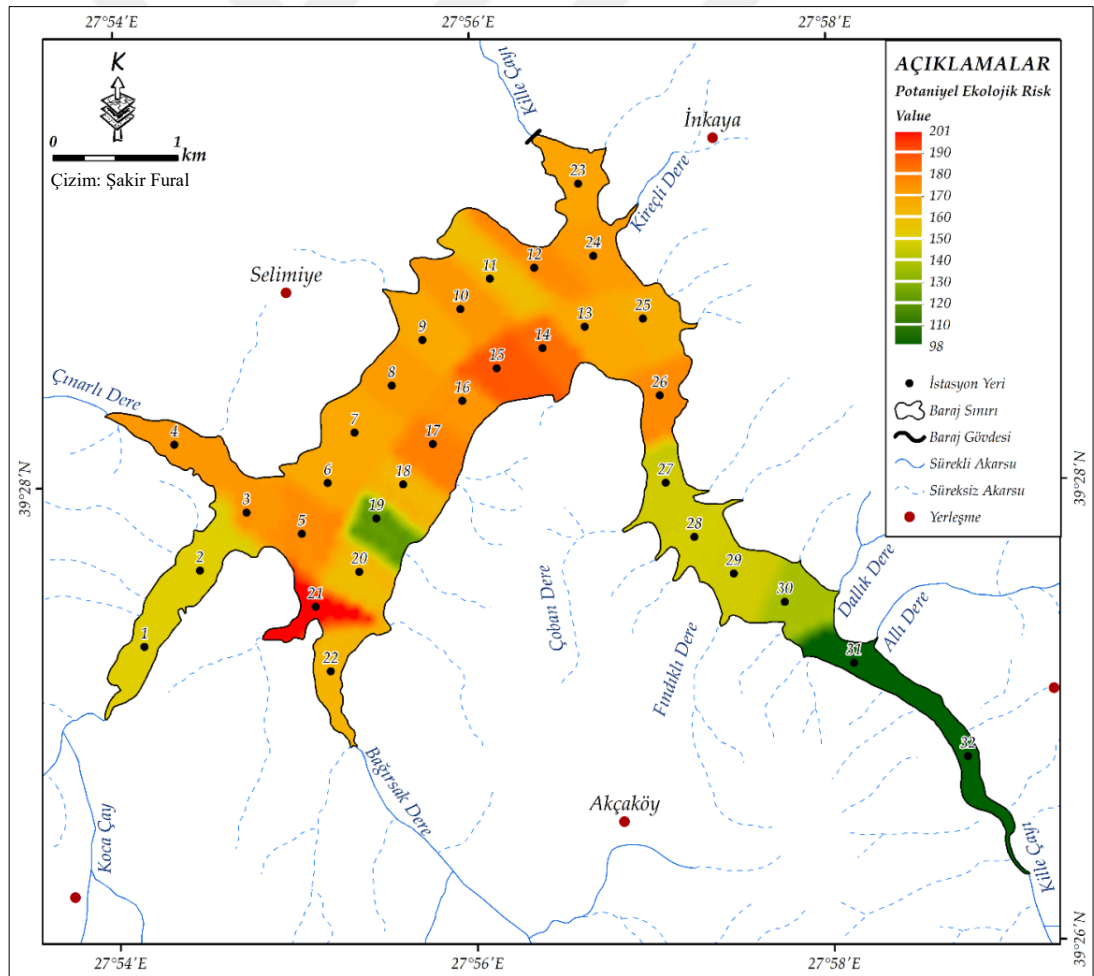
6.12.1. Modifiye Potansiyel Ekolojik Risk Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı

Çalışmanın bu bölümünde modifiye potansiyel ekolojik risk faktörünün baraj gölü tabanındaki mekânsal dağılışı incelenmiştir. Diğer ekolojik risk indekslerinde olduğu gibi karot arda lan değerleri ve litolojik arda lan değerlerine göre hesaplamalar yapılarak elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır. Karot arda lan değerlerine göre yapılan potansiyel ekolojik risk hesaplamalarında 21. örnekleme noktası dışında barajın bütün kısımlarında düşük ekolojik risk tespit edilmiştir. 21. örnekleme noktasında litolojik faktörlere bağlı olduğu tespit edilen yüksek Hg konsantrasyonu bu noktada orta düzeyde potansiyel ekolojik risk yaratmaktadır. Ancak karot arda lan değerlerine göre genel bir değerlendirme yapıldığında; Kille Çayı ağzı, Koca Çay ağzı ve 19. örnekleme noktası dışında kalan bütün alanlarda orta derecede potansiyel ekolojik risk sınırına yaklaşılmıştır (Şekil 185).



Şekil 184. Karot Arda lan Değerlerine Göre Potansiyel Ekolojik Risk Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı

Modifiye potansiyel ekolojik riskin litolojik ardaan değerlerine göre mekânsal analizi incelendiğinde; Kille ayı ve 19. Örnekleme noktasında düşük, barajın diğer kısımlarında orta düzeyde potansiyel ekolojik risk tespit edilmiştir. Baraj gölü tabanında potansiyel ekolojik risk değerlerinin en düşük olduğu nokta Kille ayı ağzı ile 19. Örnekleme noktası vreleridir. Bahsi geçen noktalarda 98 – 120 aralığında değişen potansiyel ekolojik risk Koca ay ağzında 120 – 130, Bağırsak Dere ve ınarlı Dere ağzında 150 – 170 seviyelerine çıkmaktadır. Baraj gölünün i kesimlerinde genel olarak 170 – 180 değerleri arasında olan potansiyel ekolojik risk, 21. Örnekleme noktasında 201 seviyesine ulaşmıştır (şekil 186 ve 187). Bu durum, bahsi geçen örnekleme noktasında tespit edilen Hg ekolojik risk değerlerinden kaynaklanmaktadır. Litolojik ardaan verilerine göre genel bir değerlendirme yapıldığında; Kille ayı ağzı ve 19. Örnekleme noktası dışında kalan bütün örnekleme noktalarında orta derecede potansiyel ekolojik risk tespit edilmiştir.



şekil 185. Litolojik Ardaan Değerlerine Göre Potansiyel Ekolojik Risk Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Mekânsal Dağılışı



Şekil 186. Baraj Gölünde En Yüksek Potansiyel Ekolojik Risk Tespit Edilen 21. Örnekleme Noktası



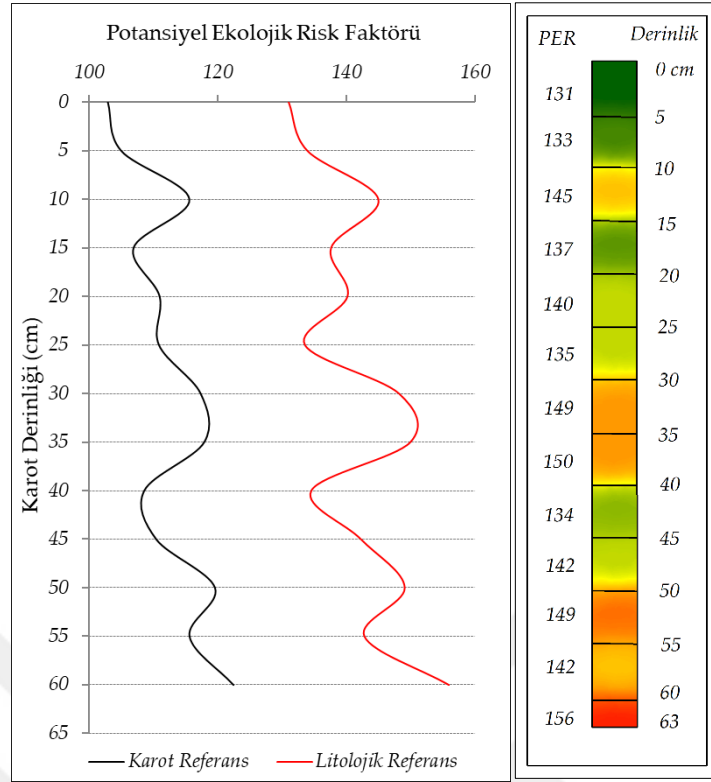
Şekil 187. 21. Örnekleme Noktasından Gerçekleştirilen Tarımsal Sulama

6.12.2. Modifiye Potansiyel Ekolojik Risk Faktörünün Baraj Gölü Tabanındaki Dikey Dağılışı

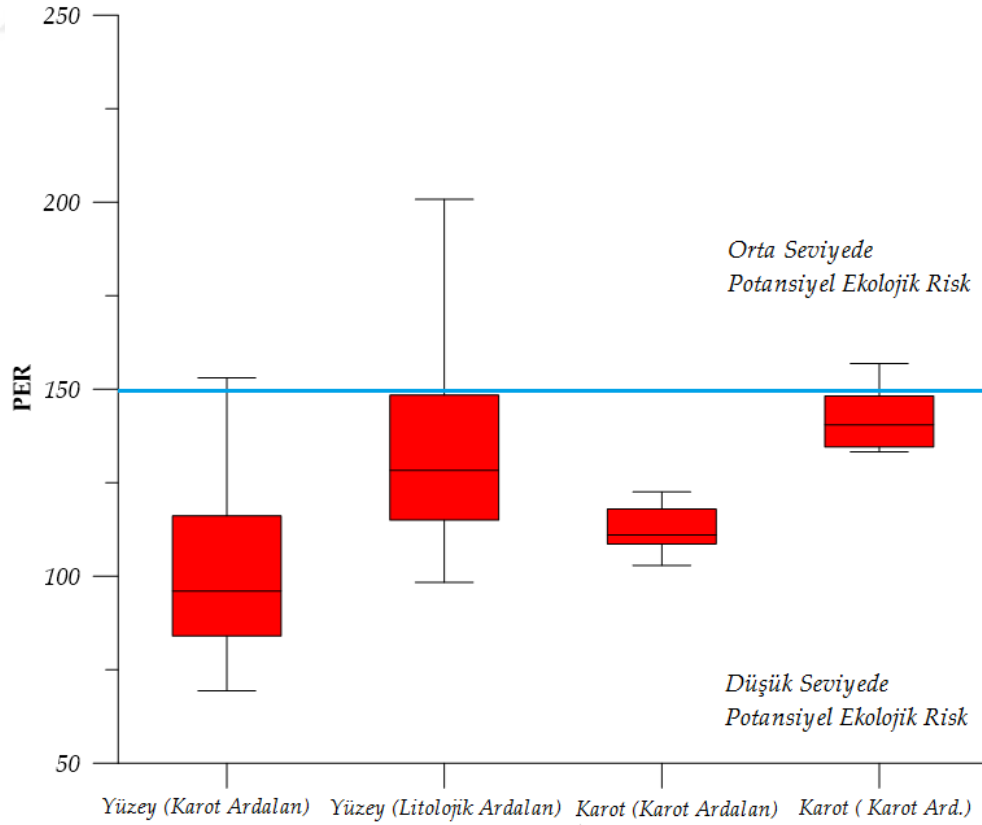
Çalışmanın bu bölümünde modifiye potansiyel ekolojik risk faktörünün dikey dağılışı litolojik ar dalan ve karot ar dalan değerlerine göre incelenmiştir. Potansiyel ekolojik riskin litolojik ar dalan değerlerine göre dikey dağılışı incelendiğinde karot tabanında *orta derecede potansiyel ekolojik risk* tespit edilmiştir. Ardından küçük bir azalma gerçekleşerek *düşük potansiyel ekolojik risk* sınırlarına inilmiştir. Ancak 30 – 40 cm dilimlerinde tekrar *orta derecede potansiyel ekolojik risk* gerçekleşmiştir. Bahsi geçen dilimden 0 - 5 cm dilimine kadar küçük dalgalanmalar ile artıp azalan *potansiyel ekolojik risk*, 0 - 5 cm diliminde *azalma eğiliminde ve düşük potansiyel ekolojik risk sınırındadır*.

Karot ar dalan değerlerine göre karotun bütün dilimlerinde *düşük potansiyel ekolojik risk* tespit edilmiştir (Şekil 188). Her iki ar dalan değerine göre yapılan hesaplamalarda ekolojik riskin 0 - 5 cm diliminde azalma eğiliminde olması son derece olumludur. Bu durum baraj gölü havzasında antropojenik baskının azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Potansiyel ekolojik riskin Box Whisker diyagramlarına göre litolojik ar dalan değerlerine göre hesaplanan yüzey ve karot potansiyel ekolojik risk seviyeleri karot ar dalan verilerine göre hesaplanandan daha yüksektir (Şekil 189). Bunun sebebi karot ar dalan değerlerine göre yapılan hesaplamanın barajın kuruluşundan 2019 yılına kadar geçen 28 yıl gibi kısa bir süreyi kapsarken litolojik ar dalan değerlerinin baraj yapımı öncesinden örneklerin alındığı 2019 yılına kadar geçen süreyi kapsamıyla ilgilidir.

İkizcetepeler Baraj Gölü'nde tespit edilen ekolojik risk ve potansiyel ekolojik risk diğer baraj ve doğal göller ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 13). Bu verilere göre baraj gölünde gerçekleşen As ekolojik riski Uzunçayır ve D.Duze baraj göllerinden düşük diğer baraj ve doğal göllerden yüksektir. Cd ekolojik riski Uzunçayır Barajı dışında kalan bütün sahalardan düşüktür. Cr ekolojik riski Dali, Aygır ve Çıldır Gölü dışındaki bütün sulak alanlardan yüksektir. Cu ekolojik riski Uzunçayır ve Tailings Barajı dışındaki bütün sahalardan düşüktür. Hg ekolojik riski Uzunçayır Barajı ve Aygır Gölü dışındaki diğer alanlardan düşüktür. Ni ekolojik riski karşılaştırma yapılan bütün sulak alanlardan yüksek, Pb ekolojik riski Tailing Barajı dışındaki bütün sahalardan düşüktür. Zn ekolojik riski Uzunçayır Barajı dışında kalan diğer alanlardan düşüktür (Şekil 190).



Şekil 188. Potansiyel Ekolojik Risk Faktörünün Karot ve Litolojik Aralan Değerlerine Göre Dikey Dağılışı (Orijinal)



Şekil 189. Potansiyel Ekolojik Risk Faktörü (PER) Box Whisker Diyagramı (Orijinal)

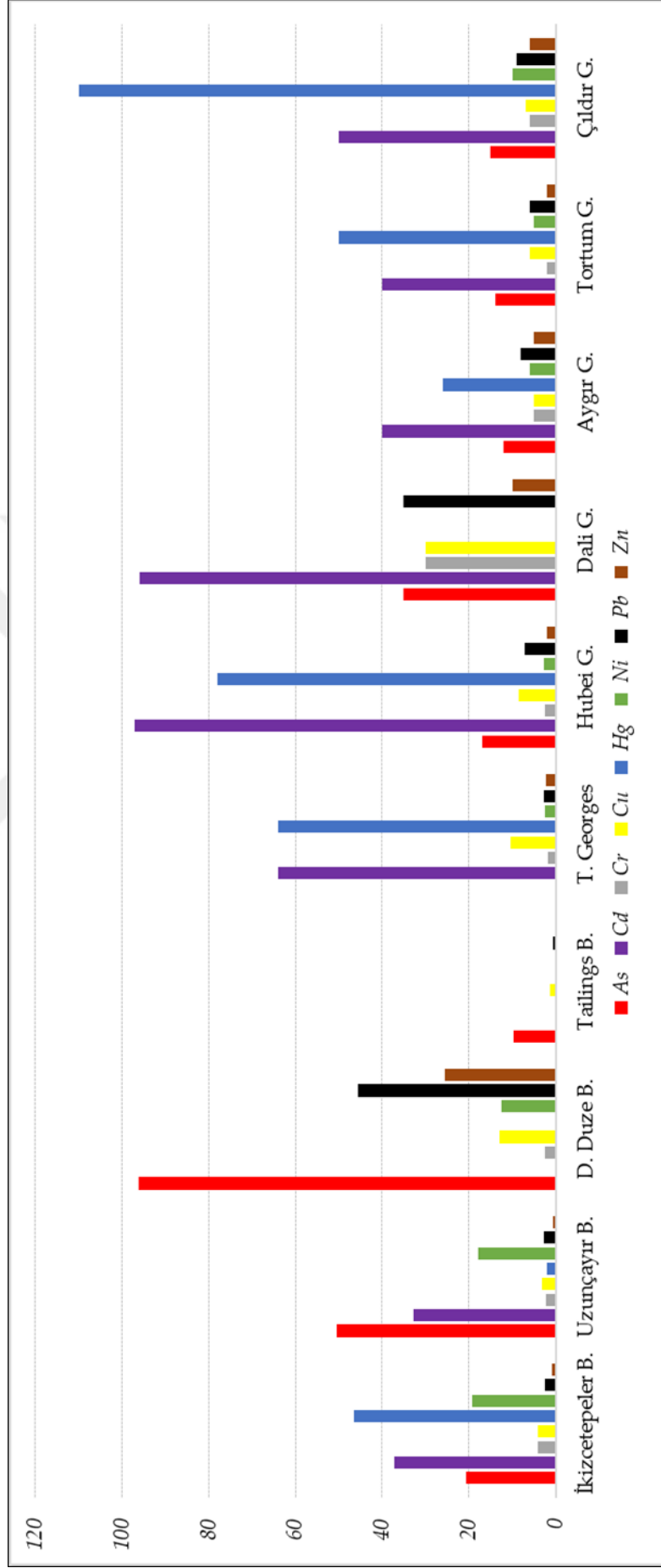
Çizelge 13. Mevut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göllerin Ekolojik Risk İndeksi (ER) ve Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi (PER) Karşılaştırması

Lokasyon	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	PER
İkizcetepeler B.	20.67	37.23	4.11	4.22	46.59	19.33	2.38	0.81	135
Uzunçayır B. ¹	50.44	32.85	2.15	3.26	1.92	17.77	2.82	0.65	111
D. Duze B. ²	96.14	2532	2.55	13.01		12.4	45.6	25.5	2727
Tailings B. ³	9.6	711	0.1	1.2			0.5	0.04	722
T. Georges ⁴		64	1.69	10.4	64	2.41	2.72	2.15	147
Hubei G. ⁵	16.9	97.1	2.5	8.6	78	2.6	7.1	1.9	215
Dali G. ⁵	35	96	30	30			35	10	236
Aygır G. ⁶	12	40	5	5	26	6	8	5	107
Tortum G. ⁷	14	40	2	6	50	5	6	2	125
Çıldır G. ⁸	15	50	6	7	110	10	9	6	213

¹Kutlu, 2018 ²Tytla ve Kostecki 2019 ³Sey ve Belford, 2019 ⁴Liu vd., 2015 ⁵Xu vd., 2019 ⁶Kükrer, 2018 ⁷Kükrer 2016 ⁸Kükrer vd., 2015

Barajların işletmeye alındığı tarihler: İkizcetepeler Baraj Gölü 1991, Uzunçayır Barajı 2003, D. Duze Barajı 1995, Tailings Barajı 2001, T. Georges Barajı 2006.

Potansiyel ekolojik risk indekslerinin karşılaştırması yapıldığında İkizcetepeler Baraj Gölü'nün potansiyel ekolojik risk seviyesi Uzunçayır Barajı, Aygır ve Tortum Gölü dışında kalan bütün doğal göl ve barajlardan düşüktür. Bu durum baraj gölünde mevcut literatüre göre önemli seviyede ekolojik risk bulunmadığını göstermektedir (Çizelge 13 – Şekil 190).



Şekil 190. Mevut Literatürdeki Bazı Baraj ve Göllerin Ekolojik Risk İndeksi (ER) Karşılaştırması (Orijinal)

6.13. Metaller, Organik Karbon, Klorofil Bozunma Ürünleri ve CaCO₃ 'ün Muhtemel Kaynaklarının Tanımlanması

Çalışmanın bu bölümünde metaller ve diğer ekolojik risk faktörlerinin kaynaklarının tanımlanması için çok değişkenli istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen veriler mekânsal dağılış haritaları ile karşılaştırılarak yorumlanmış ve alt havza bazında değerlendirmeler yapılmıştır.

6.13.1. Pearson Korelasyon Analizi

Pearson korelasyon analizi metallerin, organik karbonun, klorofil bozunma ürünlerinin ve CaCO₃'ün havza içerisindeki muhtemel kaynaklarını, taşınma süreçlerini ve bu değişkenler arasındaki anlamlı ilişkileri belirlemek için kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yukarıda bahsi geçen değişkenlerin kaynaklarının alt havza bazında tespit edilmesi için mekânsal dağılış haritaları hazırlanmış ve oldukça önemli bulgulara ulaşılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde korelasyon analizi bulguları ile mekânsal dağılış haritalarından elde edilen bulgular karşılaştırılarak kaynak tanımlamaları yapılmaya çalışılmıştır. Çizelgede yer alan koyu renkler aralarında pozitif ilişki bulunan metalleri ve diğer ekolojik risk parametrelerini temsil etmektedir.

Analiz kapsamında bazı metaller ve organik karbon, klorofil bozunma ürünleri ve CaCO₃ arasında güçlü pozitif korelasyonlar tespit edilmiştir. Bu durum bahsi geçen metallerin ve diğer parametrelerin kaynaklarının ve taşınma süreçlerinin benzer olduğunu göstermektedir (Wang, vd., 2012). Organik maddeler metallerin taşınma süreçlerinde önemli rol üstlenmektedir. Bu nedenle metallerin taşınma süreçlerini doğru analiz etmek için organik maddeler ve metaller arasındaki korelasyonlar incelenmelidir (Zhang vd., 2016). Çalışma kapsamında elde edilen organik karbon dağılış verileri ile *Zn*, *Al* ve *CaCO₃* arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Mekânsal dağılış haritaları incelendiğinde bahsi geçen metaller ve organik karbon girdisinin en yüksek olduğu alan Kille Çayı ağzına karşılık gelen örnekleme noktalarıdır (Şekil 56 - 62 - 65 - 75). Mekânsal dağılış haritaları ve korelasyon analizi verilerinin birbiri ile örtüşmesi Kille Çayı'nın baraj gölüne *Zn*, *Al*, *CaCO₃* ve *organik karbon* deşarj ettiğini kanıtlamaktadır.

Çizelge 14. Değişkenler Arasındaki Pearson Korelasyon Katsayıları (Orijinal)

	Cu	Pb	Zn	Ni	Mn	Fe	As	Cd	Cr	Al	Hg	OC	CDP	CaCO ₃
Cu														
Pb	-0,1297													
Zn	0,8973	-0,2026												
Ni	0,7720	-0,3659	0,7596											
Mn	0,4545	0,1254	0,4950	0,3725										
Fe	0,7695	0,0533	0,8432	0,6942	0,7190									
As	0,2272	0,6680	0,1357	-0,1103	0,5521	0,3737								
Cd	0,2402	0,6021	0,1360	-0,2758	0,1277	0,1426	0,5394							
Cr	0,8663	-0,3242	0,8666	0,8991	0,5148	0,7569	0,1367	-0,0867						
Al	0,7930	-0,0367	0,8771	0,6180	0,6604	0,8722	0,4310	0,2124	0,8361					
Hg	0,6002	0,3906	0,4742	0,2443	0,2302	0,3681	0,2628	0,5731	0,2638	0,2959				
OC	0,1889	-0,2541	0,3773	0,1164	0,1776	0,1930	0,0449	0,0341	0,3277	0,4361	0,0113			
CDP	0,4915	-0,0297	0,4342	0,2155	0,2080	0,4303	0,3577	0,2265	0,4466	0,5655	0,1301	0,2814		
CaCO ₃	0,4491	-0,3010	0,3651	0,2017	0,0024	0,0939	0,1622	0,0970	0,4384	0,4109	0,0884	0,5078	0,6149	

Klorofil bozunma ürünleri ile Cu, Zn, Fe, Cr, Al ve CaCO₃ arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Mekânsal dağılışı haritaları incelendiğinde CDP ile bahsi geçen metallerin karasal kaynaklardan başta Bağırsak Dere olmak üzere akarsular tarafından taşındığı görülmektedir. Metallerin taşınma ve birikme süreçlerinin tespit edilmesinde bir diğer önemli gösterge CaCO₃ dağılışıdır (Shetye, vd. 2009). Çalışma kapsamında elde edilen bulgular değerlendirildiğinde CaCO₃ ile Cu, Zn, Cr, Al, OC ve CDP arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Mekânsal dağılışı haritalarından elde edilen bulgulara göre bahsi geçen metallerin CaCO₃ ile birlikte karasal kaynaklardan başta Çınarlı Dere ve Bağırsak Dere olmak üzere akarsular tarafından deşarj edildiği tespit edilmiştir. Metallerle ait korelasyon analizi Çizelge 14'te yer almaktadır. Çizelgeye göre metallerin büyük kısmı birbirleri ile pozitif korelasyon göstermektedir. Ancak Pb, As ve Cd diğer metaller ile oldukça az ilişkilidir. Bu durum bahsi geçen metallerin kaynak ve taşınma süreçlerinin farklı olduğunu göstermektedir. Pb ve As'nin en yüksek zenginleşmeye 19. örnekleme noktası çevresinde ulaştığı görülmektedir. Sahanın baraj yapılmadan önce hazırlanan (1980) 1/25.000 ölçekli J19 b2 topografya harita paftası incelendiğinde belirtilen örnekleme noktası yakınında bir su kaynağı olduğu görülmektedir. Korelasyon analizi ve mekânsal dağılışı haritalarına göre Pb ve As deşarjı bahsi geçen karstik kaynak tarafından yapılmaktadır. En önemli As ve Pb kaynaklarından birisi başta Pirit olmak üzere diğer volkanik kayaçlar ve karbonatlı kayaçlardır (Ure ve Barrow, 1982; Atabey, 2009). 19. örnekleme noktası yakınında kireçtaşı ve andezitler yer almaktadır (Şekil 24). Yani baraja 19. Örnekleme noktasından deşarj edilen Pb ve As'nin muhtemel kaynağı litolojik faktörlerdir. Çınarlı Dere ağzındaki As'nin muhtemel kaynağı tarım arazilerinde kullanılan pestisitlerdir. Cd'nin muhtemel kaynağı olarak tarımsal gübre kullanımı tespit edilmiştir. Bu tespiti mekânsal analiz verileri desteklemektedir. Cd baraj gölü tabanında Çınarlı Dere ve Koca Çay'ın ağız kısımlarında orta derecede ekolojik risk yaratmıştır. Bahsi geçen akarsu havzalarının ortak özelliği tarım faaliyetlerinin yoğun olarak sürdürülmesidir. Cd'nin fosfatlı gübrelerin hammaddeleri arasında olduğu düşünüldüğünde antropojenik kaynağın tarım olma ihtimali artmaktadır.

6.13.2. Faktör Analizi

Çalışma kapsamında incelenen metaller, OC, CDP ve CaCO_3 gibi değişkenlerin birkaç temel grupta toplanıp değerlendirilmesi amacıyla faktör analizi gerçekleştirilmiştir. Faktör analizi kapsamında elde edilen verilere göre 4 adet faktör belirlenmiştir (Çizelge 15). Bu faktörler toplam değişimin %83.41'ini açıklamaktadır. 1. faktör değişimin % 42.92'sinden sorumlu olup Cu, Zn, Ni, Mn, Fe, Cr, Al metallerinden oluşmaktadır. Korelasyon analizi ve mekânsal dağılış haritalarında birlikte hareket ettiği tespit edilen metaller karasal ve litolojik kökenli olup bütün akarsular tarafından belirli konsantrasyonlarda baraj gölüne deşarj edilmektedir. 2. faktör değişimlerin %18.43'ünü açıklamakta, Pb ve As metallerinden oluşmaktadır. Korelasyon analizi ve mekânsal dağılış haritalarında benzer kaynaklara sahip olduğu belirlenen Pb ve As metalleri baraj gölüne su kaynağı tarafından deşarj edilmekte ve litolojik kökenlidir. OC, CDP ve CaCO_3 'ün birlikte yer aldığı faktör 3 toplam değişimin %13.49'unu oluşturmaktadır. Korelasyon analizi, faktör analizi ve mekânsal dağılış haritalarında birlikte taşındıkları tespit edilen bu değişkenler karasal kökenli olup farklı akarsular tarafından deşarj edilmektedir.

Çizelge 15. Faktör Analizi

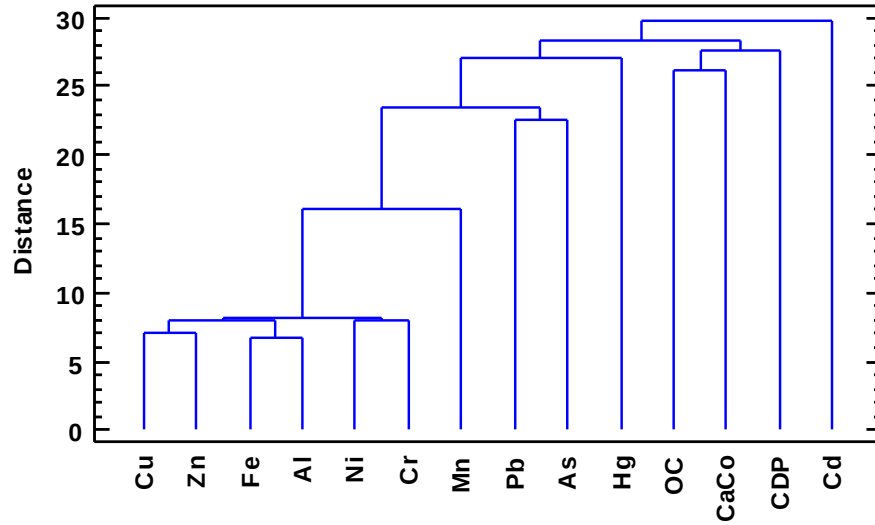
	<i>Faktör 1</i>	<i>Faktör 2</i>	<i>Faktör 3</i>	<i>Faktör 4</i>
Cu	0,853928	-0,0303204	0,194867	0,397755
Pb	-0,224637	0,80313	-0,274914	0,195405
Zn	0,896884	-0,0805418	0,190827	0,261009
Ni	0,857477	-0,428104	-0,0647929	0,0372676
Mn	0,688694	0,505175	-0,058413	-0,141827
Fe	0,936917	0,241223	0,0116765	0,0487253
As	0,242775	0,893156	0,171107	0,00462371
Cd	-0,0968883	0,603125	0,171858	0,622958
Cr	0,912819	-0,151059	0,285135	-0,0326642
Al	0,853956	0,276288	0,333895	0,00313544
Hg	0,2859	0,0675688	-0,137454	0,87211
OC	0,0568623	0,0303492	0,764316	-0,00113031
CDP	0,361289	0,110749	0,658135	-0,163667
CaCO_3	0,0639325	-0,111539	0,894221	0,0746469

Faktör 4'te yer alan Cd ve Hg ise diğer değişkenlere göre farklı bir kaynaktan deşarj edilmiştir. Mekânsal dağılış haritaları incelendiğinde Cd'nin tarım

faaliyetlerinin sürdürüldüğü Çınarlı Dere ve Koca Çay'dan deşarj edildiği tespit edilmiştir (Şekil 67). Çınarlı Dere Havzası'nın %48.75'i, Koca Çay Havzası'nın %35.80'i tarım arazisidir (Şekil 42 ve 44).

6.13.3. Cluster Analizi

Çalışma kapsamında incelenen değişkenleri benzerliklerine göre sınıflandırmak amacıyla Cluster analizleri gerçekleştirilmiştir. İstatiksel analizde metaller, OC, CDP ve CaCO_3 gibi değişkenler kümelenecek kaynak tanımlamasının yapılmasını kolaylaştıracak veriler elde edilmiştir.



Şekil 191. Cluster Analizi (Orijinal)

Cluster analizine göre *Cu*, *Fe*, *Zn*, *Al*, *Ni*, *Cr*, *Mn* ortak bir kaynaktan taşınmıştır (Şekil 191). Dendrogram içerisinde *Pb*'nin sağında kalan metaller doğal ve antropojenik etkiler ile zenginleşen proksileri oluşturmaktadır. Mekânsal dağılışı haritalarına göre bahsi geçen metaller akarsular tarafından karasal kaynaklardan taşınmaktadır. *OC*, *CDP* ve CaCO_3 farklı akarsular tarafından taşınmaktadır. Bu durum CaCO_3 'ün muhtemel kaynağının sıcak mevsimlerde yaşanan buharlaşma sonucu oluşan çökeltme olmadığı bulgusunu desteklemektedir. Cluster analizi verilerine göre CaCO_3 'ün muhtemel kaynağı alt havzaların litolojik özellikleridir. *Pb* ve *As* 19. örnekleme noktasındaki su kaynağından, *Hg* 21. örnekleme noktası yakınlarındaki litolojik faktörlerden ve *Cd* ise tarımsal faaliyetler sonucunda baraja deşarj olmuştur. Cluster analizi verileri mekânsal dağılışı haritaları, korelasyon analizi, faktör analizi ve arazi çalışması verilerinden elde edilen bütün bulgular ile örtüşmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmanın bu bölümünde, araştırma kapsamında elde edilen bulguların değerlendirilmesiyle ortaya çıkan sonuçlar ve tespit edilen problemlere değinerek, olası çözüm önerileri üretilmiş ve sunulmuştur.

7.1. Sonuç

Çalışma kapsamında, baraj yapımı öncesi dönemden ve baraj yapımından örneklerin alındığı 2019 yılına kadar geçen sürede antropojenik etkilere bağlı olarak ortaya çıkan metal içerikli ekolojik risklerin tespit edilmesine yönelik analizler yapılmıştır. Bu kapsamda, baraj yapılmadan önceki dönemden 2019 yılına kadar geçen sürede gerçekleşen antropojenik etkinin tespit edilmesi için baraj gölü havzasında 7 farklı noktadan kayaç örnekleri alınmıştır. Alınan kayaç örnekleri genel olarak Orta Miyosen'e ait olan volkanik kayaç türlerinden oluşmuştur. Kayaç örnekleri üzerinde yapılan metal analizleri sonrasında verilerin ortalamaları alınarak litolojik ardalın değeri tespit edilmiş ve ekolojik risk indekslerinin hesaplanmasında ardalın değeri olarak kullanılmıştır.

Baraj gölünün kurulduğu 1991 yılından örneklerin alındığı 2019 yılına kadar geçen 28 yıllık süre içerisinde gerçekleşen antropojenik etkilerin tespit edilmesi için baraj gölü tabanından karot örneği alınmış ve buradan elde edilen veriler karot ardalın değeri olarak kullanılmıştır. Böylece çalışma iki farklı ardalın değerine göre elde edilen bulgulara dayandırılmış, iki farklı veri setinden elde edilen bulgular arasında karşılaştırmalar yapılmış ve baraj yapılmadan önceki dönem ile barajın yapımı sonrası dönemde ortaya çıkan ekolojik risk miktarı birbirinden ayrı şekilde değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular değerlendirildiğinde; İkizcetepeler Baraj Gölü'nde litolojik ardalın değerleri dikkate alınarak yapılan hesaplamalara göre; *Hg önemli derecede, Cd orta derecede, As ve Ni orta dereceye yakın*, diğer metaller ise *düşük ekolojik risk* yaratmaktadır. Bu değerler baraj yapılmadan önceki dönemden, örneklerin alındığı 2019 yılına kadar geçen süredeki antropojenik etki hakkında fikir vermektedir.

Karot ardaan değerlerine göre yapılan ekolojik risk indeksi hesaplamalarına göre; *Hg önemli derecede, Cd orta derecede* ekolojik risk seviyesinde olup, *diğer metaller için ekolojik risk tespit edilmemiştir*. Bu verilere göre, baraj gölü için ekolojik risk sorunu yaratabilecek olan metaller *Hg, Cd, As ve Ni* olarak tespit edilmiştir. Karot ardaan değerleri ve litolojik ardaan değerleri arasında dikkat çeken en önemli fark, karot ardaan değerlerine göre ekolojik risk yaratmayan *Ni ve As'nin* litolojik ardaan değerlerine göre orta dereceye yakın ekolojik risk yaratmasıdır.

Bu durum, Ni konsantrasyonunun karot ardaan değerlerinde *39.7 ppm*, litolojik ardaan değerlerinde *4.36 ppm* seviyesinde olmasından kaynaklanmaktadır. Litolojik ardaan değerlerinde düşük konsantrasyonda olan *Ni'nin*, orta dereceye yakın ekolojik risk yaratması havzada antropojenik etkilerle ortaya çıkan Ni kaynağına işaret etmektedir. Mekânsal analiz verilerine göre Bağırsak Dere ve Kille ayı baraj gölüne *55 ppm* seviyelerinde *Ni* deşarj etmektedir. *Ni* zenginleşmesi Kille ayı ağzında 5, Bağırsak Dere ağzında 7 seviyesinde barajın diğer noktalarında 4'n altındadır. Bu verilere göre *Ni*, Bağırsak Dere ve Kille ayı ağzında önemli derecede zenginleşerek *orta dereceye yakın (35) ekolojik risk* yaratmıştır. Bağırsak Dere ve Kille ayı havzalarında gerçekleştirilen arazi çalışmalarında *Ni* kaynağı olabilecek muhtemel endüstriyel işletme olarak, iki havza sınırının keşişim noktasında kalan *mermer ocağı* tespit edilmiştir. Ancak, Ni volkanik kayaç bünyelerinde yüksek konsantrasyonda bulunabilir. Bağırsak Dere Havzası'nda volkanik kayaçlar geniş alan kaplamaktadır. Bu nedenle, litolojik faktörlere bağlı olarak orta derecede zenginleşen Ni havzanın güneyinden akarsular tarafından taşınmış olabilir. Bahsi geçen duruma mevcut literatürdeki bazı çalışmalarda farklı metaller için rastlanmıştır. Örneğin; Başaran'ın 2010 yılında Kapulukaya Barajı'nda yaptığı çalışmada *Hg ve Pb* metallerinin kaynağı olarak doğal ortam özellikleri tespit edilmiştir.

As litolojik ardaan değerlerine göre *orta dereye yakın ekolojik risk* yaratmaktadır. Mekânsal analiz verilerine göre Koca ay ve ınarlı Dere baraj gölüne *25 – 30 ppm* seviyesinde As deşarj etmektedir. Zenginleşme faktörü ve ekolojik risk faktörü mekânsal analiz verilerine göre As 19. Örnekleme noktasında ve ınarlı Dere ağzında orta derecede zenginleşmiş ve baraj gölü genelinde orta dereceye yakın ekolojik risk yaratmıştır. Burada en dikkat çekici husus 19. Örnekleme noktasında bulunan kaynağın orta derecede zenginleşme seviyesinde As deşarj etmesidir. ınarlı Dere Havzası ve 19. Örnekleme noktası çevresinde yapılan

arazi çalışmalarında endüstriyel üretime rastlanmamıştır. Ancak Çınarlı Dere havzasında sürdürülen tarımsal faaliyetler antropojenik etkiler nedeniyle ortaya çıkan As kaynağı olabilir. Çünkü As başta pestisit olmak üzere, çeşitli tarımsal ilaçlarının bileşiminde yer almaktadır (Atabey, 2009). 19. örneklene noktasından gerçekleştirilen deşarjın mevcut literatür ve jeoloji haritası verilerine göre litolojik kökenli olduğu tahmin edilmektedir. Çınarlı dere ağzındaki muhtemel As kaynağı tarım faaliyetleridir. Çünkü, Çınarlı Dere (*Taşköy Dere*) Havzası'nın %48'lik kısmını tarım arazileri oluşturmaktadır. Bahsi geçen arazilerde kullanılan pestisitlerin baraj gölüne deşarj olmaması için bir neden yoktur. As sulak alan ekosistemleri için oldukça kirleticidir. Kırmızıgül'ün 2010 yılında gerçekleştirdiği çalışmasında Gökçekaya Barajı'nın kirletilmesinde As'nin önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. Gedik ve arkadaşlarının 2018 yılında Borçka Barajı'nda yaptıkları çalışmada maden ocaklarından kaynaklanan As'nin baraj gölünde kirliliğe neden olduğu tespit edilmiştir.

Cd litolojik ve karot ardaan değerlerine göre *orta derecede ekolojik risk* yaratmaktadır. Mekânsal analiz verileri incelendiğinde Koca Çay ve Çınarlı Dere (*Taşköy Deresi*) baraj gölüne 0.21 ppm seviyesinde Cd deşarj etmektedir. Bahsi geçen akarsu ağızları ve 18 - 19 - 20. örnekleme noktalarında *orta derecede zenginleşen Cd* bahsi geçen noktalarda *orta derecede ekolojik risk seviyesine* (61) ulaşmıştır. Koca Çay Havzası'ndan alınan kayaç örneğinde Cd konsantrasyonu 0.23 ppm olarak tespit edilmiştir. Ancak diğer litolojik örnekleme noktalarında Cd konsantrasyonu 0.1 – 0.11 arasında değişmiş, ortalama litolojik değer 0.06 ppm olarak tespit edilmiştir. Bu durumda, Koca Çay Havzası'nda ortaya çıkan ekolojik risk litolojik kökenlidir. Ancak Çınarlı Dere Havzası'ndan alınan kayaç örneğinde Cd konsantrasyonu 0.01 ppm, akarsuyun baraja deşarj ettiği Cd ise 0.21 ppm'dir. Bu durumda, Çınarlı Dere Havzası'nda antropojenik kaynaklı Cd bulunmaktadır. Koca Çay ve Çınarlı Dere (*Taşköy Dere*) havzalarına gerçekleştirilen arazi çalışmalarında Cd kaynağı olabilecek endüstriyel faaliyete rastlanmamıştır. Cd fosfatlı gübrelerin önemli bir hammaddesidir. Çınarlı Dere Havzası'nın neredeyse yarısında (%48.75) tarım yapılmaktadır. Bu nedenle, havzadaki antropojenik Cd kaynağı olarak tarım faaliyetleri tespit edilmiştir. Çınarlı Dere Havzası kireçtaşlarının en geniş alan kapladığı alt havzadır. Litolojik özellikleri gereği havza en düşük drenaj yoğunluğuna sahiptir (1.59 km/km²). Bu durum akarsuyun antropojenik kaynaklı

Cd'yi baraja tam kapasite ile deşarj edememesine ve ekolojik riskin gerçek değerden belirli miktarda düşük çıkmasına neden olabilir. Sulak alan havzalarında gerçekleşen tarım faaliyetlerine bağlı ortaya çıkan Cd kirliliğine mevcut literatürde birçok çalışmada dikkat çekilmiştir. Çevik ve arkadaşlarının 2009 yılında Seyhan Barajı'nda yaptıkları çalışmada, Kar'ın 2011 yılında Yamula Barajı'nda yaptığı çalışmada, Murat'ın 2015 yılında Gelingüllü Barajı'nda yaptığı çalışmada, Tokatlı ve arkadaşlarının 2011 yılında Çatören Barajı'nda yaptığı çalışmada ve Başaran'ın Seyfe Gölü'nde yaptığı çalışmada tarımsal gübrelemenin sulak alan çökellerinde Cd kirliliğine neden olduğu tespit edilmiştir.

Hg litolojik ve karot ardaan değerlerine göre *önemli derecede ekolojik risk* yaratmaktadır. Mekânsal analiz verilerine göre Hg'nin yarattığı önemli derecede ekolojik risk Bağrsak Dere ve yakınındaki süreksiz akarsu ağzına karşılık gelen 21. örnekleme noktası çevresinde dar bir alanda etkili olmaktadır. Ekolojik riskin dar bir alanda etkili olması ve bölgeye kadar gelen eski bir karayolunun olması buraya dışardan araçla taşınarak Hg içeren atık madde döküldüğü ihtimali üzerinde durulmasına neden olmuştur. Ancak gerçekleştirilen arazi çalışmalarında alınan kayaç örneklerinde Hg konsantrasyonu *0.101 ppm* olarak tespit edilmiştir. Diğer noktalardan alınan kayaçlarda *0.005 ppm* seviyelerinde olan ve ortalama litolojik ardaan değeri *0.024 ppm* olan Hg konsantrasyonun 4. litolojik örnekleme noktasında bu kadar yüksek değerde çıkması Hg'nin kaynağının litolojik kökenli olma ihtimalini güçlendirmiştir. Bunun yanında, metal konsantrasyonlarının mekânsal analiz verileri incelendiğinde 21. örnekleme noktasına Bağrsak Dere yakınındaki süreksiz akarsu kolundan *0.110 ppm* seviyesinde Hg deşarj edildiği tespit edilmiştir. Karasal kaynaklardan akarsular tarafından gerçekleşen deşarj ile kayaç örneği arasındaki değerin oldukça yakın olması dikkat çekmektedir. Birbirini destekleyen iki veri örnekleme noktasında doğal ve antropojenik kaynaklı Hg konsantrasyonunun ayırt edilmesi için fikir vermektedir. Zira karadan taşınan *0.110 ppm* ile kayaç konsantrasyonu olan *0.101 ppm* birbirinden çıkarılınca antropojenik etki olarak geriye *0.009 ppm* kalmaktadır. Bunun yanında, Topal ve arkadaşları tarafından baraj gölündeki polisiklik aromatik hidrokarbon miktarının belirlenmesi için 2014 yılında gerçekleştirilen çalışmada, en kirlili ve riskli bölge olarak aynı nokta tespit edilmiştir. Başaran'ın 2010 yılında Kapulukaya Barajı'nda yaptığı çalışmada Hg ekolojik riskinin kaynağı olarak litolojik faktörler tespit edilmiştir. Bazı sulak alan ekosistemlerinde doğal faktörlere bağlı olarak yüksek konsantrasyonlara ulaşan Hg

litolojik özelliklere bağlı olarak bazı sulak alan ekosistemlerinde analiz limitlerinin altında kalmaktadır. Örneğin, Erdoğan'ın 2014 yılında Karacaören I Barajı'nda, Tumantozlu'nun 2010 yılında Karacaören II Barajı'nda yaptığı çalışmalarda Hg ölçüm limitlerinin altında kalacak kadar düşük konsantrasyonda tespit edilmiştir. Ancak mevcut literatürdeki bazı çalışmalarda antropojenik kaynaklı Hg'nin sulak alanlarda kirlilik ve ekolojik risk yarattığı tespit edilmiştir. Er'in 2016 yılında Suat Uğurlu Barajı'nda gerçekleştirdiği çalışmada, Kükrer ve arkadaşlarının 2015 yılında Çıldır Gölü'nde, 2020 yılında Çardak Lagünü'nde yaptıkları çalışmada antropojenik kökenli Hg önemli kirleticiler arasında yer almıştır.

Ekolojik riskin baraj gölü tabanında dikey dağılışının tespiti için alınan karot örneklerine ait veriler, bulgular ve yorumlar kısmında detaylı olarak değerlendirilmiştir. Ancak litolojik ve karot ardalan değerlerine göre ayrı ayrı hesaplanan dikey dağılış grafiklerinde en dikkat çeken husus *Cu*, *Fe*, *Pb* ve *Zn* metallerinin karot ardalan değerine göre hesaplanan zenginleşme faktörlerinin litolojik ardalan değerlerine göre hesaplanan zenginleşme değerlerinin üzerinde olmasıdır. Bu durumun ortaya çıkmasında 1991 yılında barajın kurulmasıyla havza içerisine sulama kanalları yapılması oldukça etkili olmuştur. Sulama kanalları ile havzaya su taşınması kuru tarım yapılan alanlarda sulu tarıma geçilmesine neden olmuş ve faal olarak kullanılmayan araziler ekilmeye başlamıştır. Bu durum zirai gübre kullanımını arttırmıştır. İnceleme alanında yapılan arazi çalışmalarında suda yüksek çözünürlüğe sahip (700 gr/litre) Üre, Amonyum Nitrat, Amonyum Sülfat, isimli gübrelerin yoğun olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Bahsi geçen gübrelerin kimyasal bileşiminde bitki besleme amacıyla kullanılan *Cu*, *Fe*, *Zn* metalleri bulunmaktadır. *Pb* gübre içeriklerinde bulunmamaktadır ancak baraj tabanındaki 19. örnekleme noktasında bulunan su kaynağının baraj altında kalmasıyla baraj gölüne doğrudan deşarj yapmaktadır. Bu nedenle, *Pb*'nin karot ardalan değerine göre zenginleşme faktörü yüksek çıkmıştır.

Genel bir değerlendirme yapıldığında; baraj gölü tabanında potansiyel ekolojik risk faktörü litolojik ardalan verilerine göre 98 – 201, karot ardalan verilerine göre 70 - 153 arasında değişmektedir. Bu değerlere göre, Kille Çayı ağzı ve 19. örnekleme noktası çevresinde düşük, diğer alanlarda orta derecede ekolojik risk potansiyeli tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular litolojik ardalanlara göre değerlendirildiğinde; baraj gölünde *Hg*, *Cd*, *As* ve *Ni* metallerine bağlı olarak orta derecede ekolojik riskin bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

7.2. Öneriler

Baraj gölünde ekolojik risk potansiyelinin artmaması için;

- ❖ Baraj gölünde tespit edilen orta derecede ekolojik risk kaynağı olarak tarım faaliyetleri ve litolojik özellikler ön plana çıkmaktadır. Özellikle Cd kaynağı olarak tarım faaliyetlerinin ön plana çıkması, havzada sürdürülen arazi kullanımı ve kontrolsüz tarım faaliyetlerinin denetlenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Sulak alan havzalarında gerçekleştirilen tarım faaliyetlerinin denetlenmesi önerisi; Çevik ve arkadaşları tarafından 2009 yılında Seyhan Barajı, Kar tarafından 2011 yılında Yamula Barajı, Er tarafından 2016 yılında Suat Uğurlu Barajı için sunulmuştur.
- ❖ Baraj gölünün kıyı kenar çizgisinden itibaren yapılan tarım faaliyetleri araştırma bulguları ve mevcut literatüre göre ekolojik riskin artmasına neden olmaktadır. Bunun engellenmesi için mutlak, kısa ve orta mesafeli koruma alanlarında izlenebilir tarım uygulamalara izin verilmemeli, gerekli denetlemeler yapılmalı ve koruma zonları içinde kalan kırsal mahallelerde konuyla ilgili eğitim, seminer vb. toplantılar gerçekleştirilmelidir.
- ❖ 1990 – 2018 yılları arasındaki arazi kullanımı değerlendirildiğinde; baraj gölü havzasındaki ormanlık alanlar azalırken, tarım alanları ve çalılık arazilerin sürekli arttığı tespit edilmiştir. Bu sorunun çözümü için, havza içerisindeki orman tahribatının engellenmesi konusunda gerekli denetimler yapılmalı ve ağaçlandırma çalışmaları gerçekleştirilmelidir.
- ❖ Hg meteline bağlı olarak önemli derecede ekolojik risk ve orta derecede potansiyel ekolojik risk sorunu olan 21. örnekleme noktası yakınlarında yer alan tarım alanlarının bölgeden sulanmaması için gerekli önlemler alınmalıdır. Aksi takdirde, Hg'nin besin zinciri yoluyla insanlara geçme riski artacaktır. Tumantozlu'nun 2010 yılında Karacaören II Barajı'nda, Kar'ın 2011 yılında Yamula Barajı'nda, Erdoğan'ın 2014 yılında Karacaören I Barajı'nda, Kaçar'ın 2015 yılında Ilısu Barajı'nı besleyen akarsularda yaptığı çalışmalarda metallerin balık ve bitki bünyesine geçerek besin zincirine katıldığı tespit edilmiştir.

- ❖ Baraj gölü çevresinde arazi kullanımının *Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın 28.11.2017 tarih, 30224 sayılı İçme ve Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmeliği'nin 9. Maddesine* göre tanımlanan koruma zonlarına uygun şekilde olması için önlem alınması gerekmektedir. Bunun yanında, koruma zonları içerisindeki kırsal mahallelerde arazi kullanımına dikkat edilmesi hususunda bilgilendirme toplantıları yapılmalıdır. Yerel halkın konuyla ilgili bilgilendirilmesi, sorunların daha hızlı ve pratik şekilde çözülmesine önemli katkılar sağlayabilir.
- ❖ Baraj gölü havzasının drenaj yoğunluğu en yüksek olan akarsuyu Koca Çay'dır. Bu durum Koca Çay Havzası'nda ortaya çıkan antropojenik etkilerin diğer akarsulara göre daha hızlı şekilde baraja ulaştırılacağı anlamına gelmektedir. Koca Çay Havzası'nda ekolojik risk yaratma potansiyeli en yüksek olan antropojenik faaliyet tarımdır. Bu yüzden, Koca Çay Havzası'nda izlenebilir tarım faaliyetlerine diğer alt havzalara göre daha fazla önem verilmesi teşvik edilmelidir.
- ❖ Okkan ve Karakan'ın 2016 yılında İkizcetepeler Baraj Gölü'nü besleyen akarsu debilerinin gelecek yıllardaki durumunu tespit etmek için yaptıkları çalışmada, debi miktarlarının 2015 – 2030 yılları arasında %23 oranında azalacağı tespit edilmiştir. Nüfus projeksiyonlarına göre Balıkesir il merkezi nüfusunun 2025 yılında %5.58 seviyelerinde artacağı tahmin edilmektedir. Bu durum; sanayi, tarım ve hizmet sektöründeki artan su ihtiyacı hariç tutulduğunda bile Balıkesir il merkezinin gelecek yıllarda su ihtiyacının artmaya devam edeceğini ve barajdan daha fazla su çekileceğini göstermektedir. İstatiksel verilerle yapılan tahminlere göre, 2030 yılında baraj gölünün su seviyesi azalacaktır. Bu durum, baraj gölü antropojenik etkilere karşı çok iyi korunsa bile, su seviyesinin azalması nedeniyle metal konsantrasyonu ve ekolojik risk seviyesinin artacağı anlamına gelmektedir. Bahsi geçen sorunun ortadan kaldırılması için su tasarrufu projelerinin geliştirilmesi ve Balıkesir'in sürekli artan su ihtiyacının karşılanması amacıyla yeni bir baraj projesinin hayata geçirilmesi gerekliliği tartışılmalıdır.

KAYNAKÇA

- Abraham, G., and Parker, R. (2008). Assessment of Heavy Metal Enrichment Factors and the Degree of Contamination in Marine Sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, (136), 227-238.
- Adelson, J., Helz, G., and Miller, C. (2001). Reconstructing the Rise of Recent Coastal Anoxia: Molybdenum in Chesapeake Bay Sediments. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 2 (65), 237-252.
- Akyürek, B., ve Soysal, Y. (1975). Kırkağaç - Soma (Manisa) Savaştepe - Koruca - Ayvalık (Balıkesir) Bergama (İzmir) Civarının Jeolojisi. *MTA Enstitüsü Balıkesir Bölge Arşivi*, No: 475.
- Altun, M. (2013). *Sülfat İndirgeyen Bakterilerle Krom ve Arseniğin Yüksek Hızlı Biyoreaktörlerde Arıtımı*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Atabey, E. (2009). *Arsenik ve Etkileri*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Bai, J., Cui, B., Chen, B. (2011). Spatial Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments from a Typical Plateau Lake Wetland, China. *Ecol Modelling*, (222), 301– 306.
- Bakar, C., ve Baba, A. (2009). Metaller ve İnsan Sağlığı: Yirminci Yüzyıldan Bugüne ve Geleceğe Miras Kalan Çevre Sağlığı Sorunu. *1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı Bildiriler Kitabı*, Nevşehir, s. 162 - 185.
- Bakır, A. (2016). *Van Gölü'ne Dökülen Akarsuların Geçtiği Alanlardaki Su ve Çamur Örneklerinde Ağır Metal Miktarlarının Farklı İklim Koşullarındaki Değişimlerinin İncelenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Van: Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Balık, İ., ve Tunca, E. (2015). Sedimentteki Metal Kirliliğini Değerlendiren Yöntemler Üzerine Bir Derleme. *Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi*, (10), 37-47.
- Barlas, N., Ahbab, M. A., ve Aydoğan, M. (2005). Assessment of Heavy Metal Residues in the Sediment and Water Samples of Uluabat Lake, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* (74), 286-293.
- Başaran, G. (2010). *Kapulukaya Baraj Gölü (Kırıkkale) ve Aşağı Havzası Su, Sediment ve Sucul Bitki Örneklerinde Ağır Metal Kontrasyonlarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Kırıkkale: Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Başaran, V. B. (2011). *Seyfe Gölü Su Kalitesi ve Dip Çamuru Ağır Metal Özelliklerinin Belirlenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Bayrak, G. (2004). *Gala Gölü ve Çevresinde Ağır Metal Derişiminin Dinamiğı*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Edirne: Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bilir, N., ve Yıldız, A. (2004). *İş Sağlığı ve Güvenliğı*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları.
- Bing, H., Wu, Y., and Nahm, W. H. (2013). Accumulation of Heavy Metals in the Lacustrine Sediment of Longgan Lake, Middle Reaches of Yangtze River, China. *Environ Earth Science* (69), 2679 - 2689.
- Brady, J. P., Ayoko, G. A., Martens, W. N., and Goonetilleke, A. (2015). Development of a Hybrid Pollution Index for Heavy Metals in Marine and Estuarine Sediments. *Environ Monit Assess*, (187), 306 - 311.
- Bulut, C. (2015). *Eğirdir Gölü ve Göldeki Bazı Su Ürünleri Türlerinde Ağır Metal Düzeyleri ve Stres Parametrelerinin Araştırılması*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Cürebali, İ. (2004). Madra Çayı'nın Hidrografik Özelliklerine Sayısal Yaklaşım. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (11), 11-24.
- Çalışkan, N. (2017). *Sapanca Gölü Havzası'ndan Alınan Toprak ve Sediment Örneklerinde Ağır Metal Kirliliğinin Ardışık Ekstraksiyon Yöntemiyle Araştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çelik, G. (2000). *Çevre Yönetiminde Ekolojik Risk Değerlendirmesi ve Uluabat Ramsar Alanı İçin Problem Formülasyonu*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Bursa: Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çetin, E., Güher, H., ve Gaygusuz, Ç. (2016). Altinyazı Baraj Gölünde (Edirne) Yaşayan Bazı Balık Türlerinde Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi. *Turkish Journal of Aquatic Sciences*, (31), 1 - 14.
- Çevik, F., Göksu, M. L., Derici, O. B., and Fındık, Ö. (2009). An Assessment of Metal Pollution in Surface Sediments of Seyhan Dam by Using Enrichment Factor, Geoaccumulation Index and Statistical Analyses. *Environ Monit Assess*, (10), 309 - 317.
- Çiftçi, M. (2015). *Seydisuyu Havzası (Eskişehir) Su ve Sediment Kalitesinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Demaison, G., and Moore, G. (1980). Anoxic Environments and Oil Source Bed Genesis. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, (1), 1179 - 1209.
- Demirezen, D. (2002). *Sultan Sazlığı ve Çevresindeki Sucul Ekosistemlerde Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi*. Doktora Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dostbil, M. (2010). *Mogan Gölü'nde Su ve Sedimentte Ağır Metal Düzeylerinin Tespiti: Sazan (Cyprinus carpio) ve Kadife (Tinca tinca) Balık Dokuları*

Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Dökmeci, İ., ve Dökmeci, A. (2005). *Toksikoloji Zehirlenmelerde Tanı ve Tedavi*. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevi Yayınları.
- Duman, F. (2005). *Sapanca ve Abant Gölü Su, Sediment Ve Sucul Bitki Örneklerinde Ağır Metal Konsantrasyonlarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Eid, E., Shaltout, K., El-Sheikh, M., et al. (2012). Seasonal Courses of Nutrients and Heavy Metals in Water, Sediment and Above and Below-Ground Typha Domingensis Biomass in Lake Burullus. Perspectives for Phytoremediation Flora, *Morphol Distrib Funct Ecol Plants*, (207), 783–94.
- Engin, M. S. (2012). *Kızılırmak Deltasında Yetişen Bazı Sucul Bitkilerin Ağır Metal Biriktirme Özelliklerinin Araştırılması ve Deltadaki Sulak Alanların Kirlilik Haritalarının Çıkarılması*. Doktora Tezi. Samsun: 19 Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Er, B. A. (2016). *Su Çerçeve Direktifine Göre Suat Uğurlu Baraj Gölünün Ötrofik Durumunun Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Samsun: 19 Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ercan, T., Çevikbaş, A., Günay, E., Ateş, M., Can, B. ve Küçükayman, A. (1984). Bigadiç Çevresinin Jeolojisi Mağmatik Kayaçların Petrolojisi ve Kökensel Yorumu. *MTA Enstitüsü Balıkesir Bölge Arşivi*, No: 475.
- Erdoğan, M. (2014). *Karacaören I Baraj Gölü'ndeki Su, Sediment ve Sazan (Cyprinus carpio L.,1758) Örneklerinde Bazı Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ergün, E. (2003). *Klorofil A ve B'nin Türev Spektrofotometrik Yöntemle Tayini*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Falkenmark, M., Lundqvist, J., and Widstrand, C. (1989). Macro-Scale Water Scarcity Requires Micro-Scale Approaches. *Natural Resources Forum*, (13), 258 - 267.
- FAO. (2007). *The State Of Food And Agriculture*. Rome, Italy: World Wildlife Fund.
- Folger, D. (1974). Texture and Organic Carbon Content of Bottom Sediments in Some Estuaries of the United States. *Environmental Framework of Estuaries, Geol. Sac. America*, (1), 391 - 408.
- Fural, Ş. (2016). *Köprü Çayı Havzası'nın Jeomorfolojik Özelliklerinin Morfometrik Yöntemler İle Analizi*. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Fural, Ş., Kükrer S., Cürebal, İ., (2019) Temporal and Spatial Disturbition of the Organic Carbon Content in Sediments of İkizcetepeler Dam Lake (Balıkesir),

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, (12): 2204-2208.

- Fytianus, K., and Lourantau, A. (2004). Speciation of Elements in Sediments Sample Collected at Lakes Volvi and Korina. *Environ Monit Asses* (30), 11-17.
- Gaudette, H., Flight, W., Toner, L., and Folger, D. (1974). An Inexpensive Titration Method for the Determination of Organic Carbon in Recent Sediments. *Journal of Sedimentary Research* (44), 249-253.
- Gedik, K., Terzi, E., ve Yeşilçiçek, T. (2018). Biomonitoring of Metals in Mining-Affected Borcka Dam Lake Coupled With Public Health Outcomes. *Human and Ecological Risk Assessment*, (07), 222 - 270.
- Goher, M., Farhat, H., Abdo, M., and Salem, G. (2014). Metal Pollution Assessment in the Surface Sediment of Lake Nasser, Egypt. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, (40), 203-224.
- Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., ve Timur, S. (2009). Metallerin Çevresel Etkileri III. *Metalurji Dergisi*, (138), 1-15.
- Hahn, J., Opp, C., Evgrafova, A., and Groll, M. (2018). Impacts of Dam Draining on the Mobility of Heavy Metals and Arsenic in Water and Basin Bottom Sediments of Three Studied Dams in Germany. *Science of The Total Environment* (163), 640 - 641.
- Hakanson, L. (1980). An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control: A Sedimentological Approach. *Water Research*, (14), 975-1001.
- Hou, D., He, J., Lü, C., et al. (2014). Distribution Characteristics and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals (Cu, Pb, Zn, Cd) in Water and Sediments from Lake Dalinouer, China. *Ecotoxicol Environ*, (93), 135-44.
- İnan, F. (2019). *Ekolojik Koşullara Göre Arazi Kullanım Kabiliyeti Sınıflandırması: Altıeylül İlçesi (Balıkesir)*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Jiang, X., Wang, W., Wans, S. (2012). Initial Identification of Heavy Metal Contamination in Taihu Lake, a Eutrophic Lake in China. *Environ Sci*, (24), 1539-1548.
- K. Ö., Kartal, G., Güven, A., ve Timur, S. (2009). Metallerin Çevresel Etkileri I. *Metalurji Dergisi* (136), 11 - 22.
- Kaçar, E. (2015). *Dicle Nehrinin Ilısu Baraj Gölü Bölgesindeki Su, Sediment ve Bazı Balıklardaki Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Diyarbakır: Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kahvecioğlu, Ö., Sireli, G. K., Güven, A. ve Timur, S. (2004). Metallerin Çevresel Etkileri I. *Metalurji Dergisi*, (136), 1-12.
- Kalıpçı, E., Cüce, H. ve Toprak, S. (2017). Damsa Barajı (Nevşehir) Yüzey Suyu Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemi ile Mekânsal Analizi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* (7), 312 - 319.

- Kaptan, H. (2014). *Eğirdir Gölü (Isparta) Suyunda, Sedimentinde ve Gölde Yaşayan Sazan (Cyprinus carpio L., 1758) Bazı Doku ve Organlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kar, M. (2011). *Yamula Barajı (Kayseri) Su, Sediment ve Tatlısu Kefali (Squalus Cephalus) Örneklerinde Ağır Metal Düzeylerinin Mevsimsel Değişiminin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karaca, A., ve Turgay, O. C. (2012). Toprak Kirliliği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, (1), 13-19.
- Karadede, H. (1997). *Atatürk Baraj Gölü'nde Su, Sediment ve Balık Türlerinde Ağır Metal Birikiminin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Diyarbakır: Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karakaya, F. (2011). *Silifke - Alanya Arası (Akdeniz) Sahil Kumlarının Ağır Metal İçerikleri ve Kökeni*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Niğde: Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kartal, G., Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., ve Timur, S. (2009). Metallerin Çevresel Etkileri II. *Metalürji Dergisi* (137), 11 - 20.
- Kaya, Y. A. (2007). *Çubuk II Barajı Dip Çamuru Örneklerinde Ağır Metal Dağılımının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kazak, Ö. (2012). *Aşağı Seyhan Nehri Yüzey Sedimentlerinde Ağır Metal Kontrasyonlarının İçeriği ve Dağılımı*. Yüksek Lisans Tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Keskin, F. (2012). *Köyceğiz Gölü Sedimentinde Ağır Metal Fraksiyonlarının İncelenmesi*. Doktora Tezi. Muğla: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kılıç, E. D. (2015). *Çoruh Nehri (Bayburt) Dere Yatağı Çökellerinin Jeokimyasal Özellikleri ve Ağır Metal İçeriğinin İncelenmesi*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Gümüşhane: Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kır, İ., Özcan, S. T., ve Tuncay, Y. (2007). Kovada Gölü'nün Su ve Sedimentindeki Bazı Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi* (24), 155 - 158.
- Kıracı, A. (2014). *Azap Gölü'nün Sediment ve Sularındaki Ağır Metal Miktarlarının Belirlenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kırmızıgül, O. (2013). *Gökçekaya Baraj Gölü Dip Sedimentinin Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Kızılçaoğlu, A. (2002). *Kille Çayı Havzası'nın (Balıkesir) Jeomorfolojisi ve Uygulamalı Jeomorfolojisi*. Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü .
- Klaassen, C. (2009). *Ağır Metaller ve Ağır Metal Antagonistleri*. (L. Brunton, J. Lazo, K. Parker, Ö. Süzer, Çev.) İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri.
- Koca, F., Kızıldağ, N., Darıcı, C., ve Duman, F. (2016). Determination of Heavy Metal Concentrations in Sediments of Sarımsaklı Dam Lake. *Uluslararası Ekoloji Sempozyumu*, Kars. 1 - 10.
- Köse, E. (2012). *Porsuk Çayı Su, Sediment ve Bazı Balık Türlerinde Ağır Metal Miktarının Araştırılması*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Krzysztof, L., and Danuta, W. (2003). Application of Principal Component Analysis for the Estimation of Source of Heavy Metal Contamination in Surface Sediments from the Rybnik Reservoir. *Chemosphere Science* (51), 723-733.
- Kükrer, S. (2016). Tortum Gölü Yüzey Sedimentlerindeki Metal Birikiminin Ekolojik İndeksler Yolu ile Kapsamlı Risk Değerlendirmesi. *Türk Tarım Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (12), 1185 - 1191.
- Kükrer, S. (2018). Vertical and Horizontal Distribution, Source Identification, Ecological and Toxic Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Lake Aygır, Kars, Turkey. *Environmental Forensics*, (19), 122-133.
- Kükrer, S., ve Mutlu, E. (2019). Assessment of Surface Water Quality Using Water Quality Index and Multivariate Statistical Analyses in Saraydüzü Dam Lake Turkey. *Environ Monit Assess*, 191(71).
- Kükrer, S., Erginal, A. E., Kılıç, Ş., vd., (2020). Ecological Risk Assessment of Surface Sediments of Çardak Lagoon Along a Human Disturbance Gradient, *Environ Monit Assess*, 192 (359).
- Kükrer, S., Erginal, A. E., Şeker, S., ve Karabıyıklıoğlu, M. (2015). Distribution and Environmental Risk Evaluation of Heavy Metal in Core Sediments from Lake Çıldır (NE Turkey). *Environ Monit Assess*, 180 (453).
- Laval, M. D. (1985). Spectrophotometric Method of Controlled Pheophytinization for the Determination of both Chlorophylls and Pheophytins in Plant Extracts. *Analytical Biochemistry* (149), 121-129.
- Lipton, J., Galbraith, H., Burger, J., and Wartenberg, D. (1993). A Paradigm for Ecological Risk Assessment. *Environmental Management* (17), 1-5.
- Liu, E., Sjen, J., and Yhang, L. (2010). Assessment of Heavy Metal Contamination in the Sediments of Nansihu Lake Catchment, China. *Environ Monit Assess*, 161: 217–237.
- Liu, M., Yuyi, Y., and Yun, X. (2015). Concentrations, Distribution, Sources, and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Agricultural Topsoil of the ThreeGorges Dam Region, China. *Environ Monit Assess*, (147), 187-200.

- Lorenzen, C. (1971). Chlorophyll - Degradation Products in Sediments of Black Sea. *Woods Hole Oceanographic Institution Contribution*, (28), 426-428.
- Luczynskaa, Z., and Kang, M. (2018). Risk Assessment of Toxic Metals in Marine Sediments from the Arctic Ocean Using a Modified BCR Sequential Extraction Procedure. *Environ. Sci. Health*, (53), 278-293.
- Mac Donald, D., Ingersoll, C., and Berger, T. (2000). Development and Evaluation of Consensus - Based Sediment Quality Guidelines for Fresh- Water Ecosystems. *Arch Environ Contam Toxicol*, (39), 20 - 31.
- Macdonald, D., Carr, R., Calder, F., and Long, E. (1996). Development and Evaluation of Sediment Quality Guidelines for Florida Coastal Waters. *Ecotoxicology*, (5), 253-278.
- Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Metal Madenler Alt Komisyon Bakır- Pirit Çalışma Grubu. (2001). *Metal, Madenler, Bakır - Pirit Çalışma Grubu Raporu*.
- Mariusz, S., Johanna, J., and Marchin, S. (2019). Heavy Metals in Bottom Sediments of Reservoirs in the Lowland Area of Western Poland: Concentrations, Distribution, Sources and Ecological Risk. *Water Research*, (56), 2 - 20.
- Marnane, I. (2018). Hg: A Permanent Threat to Enviroment and Human Healt. *European Environment Agency Bulletin*.
- Meng, X., and Li, S. (1985). Study on Background Value of Soil Environment of the Jilin Province. *Environ Science*. (40), 70-91.
- Meyers, P., and Teranes, J. (2001). Environmental Change Using Lake Sediments. *Sediment Organic Matter*, 239-269.
- Murat, F. (2015). *Gelingülü Barajındaki (Yozgat) Balık Türlerindeki Bazı Ağır Metal Seviyelerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Kars: Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Müller, G. (1969). Index of Geo-Accumulation in Sediments of the Rhine River. *Geochemical Science*, (2), 108-118.
- Okkan, U., ve Karakan, E. (2016). İklim Değişikliğinin İkizcetepeler Barajı Akımlarına Etkilerinin Modellenmesi: 2015 - 2030 Projeksiyonu. *İMO Teknik Dergisi*, 7379 - 7401.
- Özmen, H., Külahçı, F., Çukurovalı, A., and Doğru, M. (2004). Concentrations of Heavy Metal and Radioactivity in Surface Water and Sediment of Hazar Lake. *Chemosphere* (55), 401-408.
- Özözen, G. (2005). *Demirköprü ve Avşar Barajlarından Alınan Balık, Su ve Sediment Örneklerinde Bazı Ağır Metal Konsantrasyonlarının Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Manisa: Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Pehlivan, H. (2017). *Marmara Denizi Güneyi (Kocasu Deltası) Sedimentlerinde Ağır Metal Miktarının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Peraza, J., Anda, J., Farias, F., and Rode, M. (2015). Assesment of Heavy Metals in Sediments of Aguamilpa Dam, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, (187), 4359 - 4370.
- Pınar, O. E. (2014). *Antalya Körfezi'nde Ekonomik Öneme Sahip Bazı Balık Türlerinde Ağır Metal Birikimi*.Yüksek Lisans Tezi. Giresun: Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Raphael, K., Vincent, K., and David, E. (2016). Assessment of Heavy Metal Contamination in the Weiija Dam, Ghana. *Journal of Natural Sciences Research*, (6), 18-26.
- Salihoğlu, G., and Karaer, F. (2004). Ecological Risk Assessment and Problem Formulation for Lake Uluabat, a Ramsar State in Turkey. *Environmental Management*, (33), 899-910.
- Sancer, O. (2015). *Kovada Gölü'nün Suyunda, Sedimentinde ve Gölde Yetişen Kamış (Phragmites australis (Cav.) Trin.ex Steudel 1841) Bitkisinde Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Saral, R. (2000). *Tuz Gölünde Tuz Üretim Prosesinde Ağır Metal Değişimi*. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü,Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Selinus, O., Alloway, B., Centeno , J., Finkelman, R., Fuge, R. and Lindh, U. (2005). *Essentials of Medical Geology, Impacts of Natural Enviroment on Puclice Health*. Elsevier Academic Pres.
- Selvi, K. (2012). *Umurbey Çayı ve Barajı'nda (Çanakkale) Suda, Sedimentte ve Bazı Makro Omurgasız Canlılarda Ağır Metal Birikimi ve Toksisitesi*. Doktora Tezi. Çanakkale: Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sey, E., and Belford, E. (2019). Levels of Heavy Metal and Contamination Statüs of a Decommishioned Tailing Dam in Ghana. *Environmental Quality*, (35), 33-50.
- Siegenthaler, U., and Sarmiento, J. (1993). Atmospheric Carbon Dioxide and Ocean. *Nature Science* (365), 119 - 125.
- Sienko, R. (1983). *Temel Kimya (Chemistry: Principles ans Proporties)*,. (N. Gündüz , T. Gündüz, C. Tüzün, E. Pulat, S. Üneri, A. Zeren, S. Özgüner, Çev.) İstanbul: Savaş Yayınları Fen Bilimleri Dizisi.
- Smal, H., Ligeza, S., Wójcikowska, A., ve Baran, S. (2015). Spatial Distribution and risk Assessment of Heavy Metals in Bottom Sediments of Two Small Dam Reservoirs (south-east Poland). *Archives of Environmental Protection*, (41), 67 - 80.

- Strahler. (1957). Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions American Geophysical Union Science*, 915 - 920.
- Suter, G. W., and Norton, S. B. (2019). Ecological Risk Assessment., *Encyclopedia of Ecology* (402-406).
- Sutherland, R. A. (2000). Bed Sediment-Associated Trace Metals in an Urban Stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, (39), 611- 627.
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1995. The geochemical Evolution of the Continental Crust. *Reviews of Geophysics*, (33) 241-265.
- Tao, Y., Yuan, Z., Xiaona, H., and Wei, M. (2012). Distribution and Bioaccumulation of Heavy Metals in Aquatic Organisms of Different Trophic Levels and Potential Health Risk Assessment from Taihu Lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* (81), 55 - 64.
- Tokatlı, C., Çicek, A., ve Köse, E. (2017). Biyo – Ekolojik Risk İndeksleri Kullanılarak Seydisuyu Havzası Sediment Kalitesinin Değerlendirilmesi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (7), 115-123.
- Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R., and Jeffery, D. W. (1980). Problems in the Assessment of Heavy-Metal Levels in Estuaries and the Formation of a Pollution Index. *Helgolander Meeresunters*, (33), 566-575.
- Topal, T., Tecer, L. H., and Tuncel, S. G. (2014). Chemical Characteristics and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Sediments of the İkizce Tepeler Dam Lake of Northwestern Turkey. *Environmental Analytical Chemistry*, (2), 2-7.
- Tsakovski , S., Kudlak, B., Simeonov , V., vd. (2012). Relationship between Heavy Metal Distribution in Sediment Samples and Their Ecotoxicity by the use of the Hasse Diagram Technique. *Anal Chim Acta*, (719), 16-23.
- Tumantozlu , H. (2010). *Karacaören II Baraj Gölündeki Su, Sediment ve Sazan (Cyprinus carpio L., 1758) Örneklerinde Bazı Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tunca, E. Ü. (2016). Beyşehir Gölü'nde Su ve Sedimentte Ağır Metal Birikimi ve Sedimentte Antropojenik Kontaminasyon Değerlendirmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (2), 205 - 219.
- Tunç, S. O. (2015). *Asartepe Baraj Gölü'nün (Ankara) Ağır Metal Kirliliğinin ve Birikiminin Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Muğla: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Turcg, B., Albuquerque, A., Corderio, R., Sifeddine, A., Simones , F. F., and Souza, A. (2002). Accumulation of Organic Carbon in Five Brazilian Lakes during to Holocene. *Sedimentary Geology*, (148), 319 - 342.
- Turekian, K., and Wedepohl, K. (1961). Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *GSA Bulletin*, (72), 175-192.

- Türkmen, A., ve Aras, S. (2011). İskenderun Körfezi'nde Deniz Suyu ve Sedimentte Oluşan Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*,(3), 1 - 23.
- Tytła, M., and Kostecki, M. (2019). Ecological risk Assessment of Metals and Metalloid in Bottom Sediments of Water Reservoir Located in the key Anthropogenic “hot spot” Area (Poland). *Environmental Earth Sciences*,(179), 2-17.
- USİAD. (2007). *Ulusal Su İhtiyacı Politikamız*. İstanbul: Ulusal Sanayici ve İş Adamları Derneği Yayınları.
- Uwah, I., Dan, S., Etiuma, R., and Umoh, U. (2013). Evaluation of Status of Heavy Metals Pollution of Sediments in Qua-Iboe River Estuary and Associated Creeks, South Eastern Nigeria. *Environment and Pollution*, (4), 110 - 122.
- Uzun, S. (2017). *Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi Atık Sularının Sır Barajı'nda Meydana Getirdiği Ağır Metal Kirliliği*.Yüksek Lisans Tezi. Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Walkley, A. (1935). Environmental Framework of Estuaries Etermining Organic Carbon and Nitrogen in Soils. *Jour. Agr. Sci*, (25), 598-630.
- Walkley, A. (1947). A Critical Examination of a Rapid Method Determining Organic Carbon in Soils-Effect of Variations in Digestion Conditions and of Inorganic Soil Constituents. *Soil Science*,(63), 251-264.
- Walkley, A., and Black, I. (1934). An Examination of the Degthareff Method far Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science*, (27), 29-38.
- World Health Organization (WHO). (1993). *Guidelines for Drinking Water Quality*. Geneva.
- WWF. (2012). *Living Planet Report*. Washington, DC: World Wildlife Fund.
- WWF TÜRKİYE. (2014). *Türkiye'nin Su Riskleri Raporu*. İstanbul: HSBC, İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.
- Xu, M., Sun, W., and Wang, R. (2019). Spatial Distribution and Ecological Risk Assessment of Potentially Harmful Trace Elements in Surface Sediments from Lake Dali, North China. *Water Research*, (11), 2554 - 2560.
- Xue, W., Kwon, S., Grasby, S., Sunderland, E., Pan , X., Sun, R., and Yin, R. (2019). Anthropogenic Influences on Mercury in Chinese Soil and Sediment Revealed by Relationships With Total Organic Carbon. *Environmental Pollution Science*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113186>.
- Yang, J., Liu, L. et al. (2014). Comprehensive Risk Assessment of Heavy Metals in Lake Sediment from Public Parks in Shanghai. *Ecotoxicol Environ*,(35), 102-129.

- Yıldırımöğlu, S. (2015). *Gediz Deltası ve Kuş Cenneti Sularının Bazı Ağır Metal Derişimlerinin Saptanması*. Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yıldız, D. (2006). Akdeniz Havzası'nın Hidrojeopolitiğı ve Türkiye. *TMMOB Su Politikaları Kongresi*. Ankara, 616-628.
- Yılğör, A. (2009). *Büyük Menderes Nehri Çökellerinde Ağır Metal Kirliliğı ve Deltaya Olan Etkileri*. Doktora Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, T. (2015). *Ağır Metallerin (Pb, Zn, Cu, Cd) Bazı Karayosunu Türlerinin Klorofil İçeriğı Üzerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Niğde: Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zahra, A., Hashmi, M., and Malik, R. (2014). Enrichment and Geo-Accumulation of Heavy Metals and Risk Assessment of Sediments of the Kurang Nallah—Feeding Tributary of the Rawal Lake Reservoir, Pakistan. *Sci Total Environ*, 470–471.
- Zhang, G., Bai, J., Zhao, Q., et al. (2016). Heavy Metals in Wetland Soils Along a Wetland-Forming Chronose Quence in the Yellow River Delta of China: Levels, Sources and Toxic Risks. *Ecol Indicator*, (69):331–340.