

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BORÇKA BARAJ GÖLÜ HAVZASI'NDA ASKIDA KATI MADDE DAĞILIMININ
VE SU KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

Meltem KENANOĞLU

OCAK 2025
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BORÇKA BARAJ GÖLÜ HAVZASI'NDA ASKIDA KATI MADDE DAĞILIMININ
VE SU KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

Meltem KENANOĞLU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 / 12 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 14 / 01 / 2025

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Adem BAYRAM

Trabzon 2025

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın başlangıcında beraber yola çıkmış olduğumuz ve vefat ettiği 19.02.2013 tarihine kadar değerli katkılarıyla bu araştırmaya yön veren danışman hocam Doç. Dr. Murat İhsan KÖMÜRCÜ'yü saygı, minnet ve rahmetle anarım.

Doktora Tez çalışmam süresince çok kıymetli zamanlarını ayırıp, desteğini, emeğini, bilgi ve tecrübesini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Adem BAYRAM'a katkılarından dolayı en içten şükranlarımı sunarım.

Kıymetli zamanlarını ayırarak tezimi değerlendiren ve önerilerde bulunan hocalarım Prof. Dr. Ömer YÜKSEK, Prof. Dr. Fatma GÜLTEKİN, Prof. Dr. Egemen ARAS ve Doç. Dr. Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR'e teşekkür ederim.

Ayrıca, bu çalışmayı 2009.112.001.1 kod numaralı araştırma proje kapsamında destekleyen Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine teşekkür ederim.

Gerek arazi gerekse laboratuvar çalışmalarında yanımda olan ve benimle birlikte emek veren, Doktora Tez çalışmam sırasında büyük bir anlayış ve fedakarlık gösteren sevgili eşim İnşaat Mühendisi Deniz KENANOĞLU, canım kızım Elif Bilge ve canım oğlum Eymen Mert'e teşekkür ederim.

Prof. Dr. Murat KANKAL, Prof. Dr. Yılmaz YILDIRIM, Prof. Dr. Fevzi KARSLI, Doç. Dr. Mustafa DİHKAN, Dr. Öğr. Üyesi Şeyda BÜLBÜL ARIOĞLU, Arş. Gör. Betül METE ve Zeki AYDEMİR'e gösterdikleri ilgi ve desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan annem ve babama tüm kalbimle teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca üzerimde emeği olan hocalarıma teşekkür ederim.

Bu çalışmanın bilime, bölgemize ve ülkemize yararlı olmasını dilerim.

Doç. Dr. Murat İhsan KÖMÜRCÜ'nün anısına...

Meltem KENANOĞLU

Trabzon 2025

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Borçka Baraj Gölü Havzası’nda Askıda Katı Madde Dağılımının ve Su Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Adem BAYRAM’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14/01/2025

Meltem KENANOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Katı Madde Kaynakları	2
1.3. Katı Madde Taşınımı	3
1.4. Baraj Göllerinde Katı Madde Hareketi.....	4
1.5. Baraj Göllerinde Yoğunluk Akımları.	6
1.6. Baraj Göllerinde Bulanıklık Akımları	7
1.7. Baraj Haznesine Taşınan Katı Madde Miktarının Belirlenmesi	8
1.8. Baraj Haznesinde Biriken Katı Madde Miktarını Belirleme Amacı ve Aşamaları ...	8
1.9. Biriken Katı Madde Miktarını Belirlemede Kullanılan Yöntemler.....	10
1.10. Uzaktan Algılama.....	11
1.10.1. Uzaktan Algılamada Sistem Bileşenleri.....	12
1.10.2. Su Kalitesi Gözlemlerinde Uzaktan Algılama Yöntemi	13
1.11. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği	13
1.12. Su Kalitesi İndeksi	15
1.12.1. Kanada Su Kalitesi İndeksi (CWQI)	16
1.12.2. Ağırlıklı Aritmetik Su Kalitesi İndeksi (WAWQI).....	18
1.13. Trofik Seviye İndeksi (TSI).....	19
1.14. Literatür Araştırması.....	19
1.14.1. Bulanıklık ve Askıda Katı Madde Arasındaki İlişkinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar.....	19

1.14.2. Baraj Göllerinde Su Kalitesinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar	20
1.14.3. Bulanıklık ve Katı Madde Tahmin Çalışmaları	22
1.14.4. Askıda Katı Madde Takibi ve Tahmini Kapsamındaki Çalışmalar	23
1.14.5. Barajların Askıda Katı Madde Hareketine Olan Etkilerine Yönelik Çalışmalar.....	25
1.14.6. Askıda Katı Madde Tahmininde Kullanılan Diğer Yöntemler	27
1.14.7. Su Kalitesi İndeksinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar	28
1.14.8. Uzaktan Algılama Yöntemleri Kullanılarak Su Kalitesi Parametrelerinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar.....	35
1.15. Çalışma Alanı	42
1.15.1. Coğrafi Konumu.....	42
1.15.2. Yer Şekilleri	43
1.15.3. Genel Toprak Yapısı	44
1.15.4. Genel İklim Özellikleri.....	45
1.15.5. Sıcaklık Durumu	46
1.15.6. Yağış Durumu	46
1.15.7. Bitki Örtüsü	46
1.15.8. Akarsular ve Göller	47
1.15.9. Muhtemel Kirletici Kaynakları	47
1.16. Çoruh Nehri Havzasında Yürütülen Akım Gözlem Çalışmaları	48
1.17. Çalışmanın Amacı.....	50
1.18. Çalışma Kapsamında Takibi Yapılan Parametreler.....	51
1.18.1. Bulanıklık	51
1.18.2. Askıda Katı Madde.....	51
1.18.3. Çözünmüş Oksijen	52
1.18.4. Sıcaklık.....	52
1.18.5. Elektriksel İletkenlik	52
1.18.6. Klorofil-a.....	53
1.18.7. Hidrojen İyonu Konsantrasyonu (pH).....	53
1.18.8. Hazne Su Derinliği	53
1.18.9. Işık Geçirgenliği	53
1.18.10. Toplam Azot.....	54
1.18.11. Toplam Fosfat Fosforu	54
1.18.12. Kimyasal Oksijen İhtiyacı	55

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	56
2.1. Çalışmanın Yapıldığı Çoruh Nehri Havzası	56
2.2. Borçka Barajı ve Hidroelektrik Santrali	57
2.3. Su Kalitesi Gözlem İstasyonlarının Belirlenmesi	59
2.4. Çalışmanın Gerçekleştirildiği Dönem	63
2.5. Yerinde Ölçülen Parametreler ve Ölçüm İlkeleri	63
2.5.1. Bulanıklık Ölçüm İlkesi	64
2.5.2. Çözünmüş Oksijen Ölçüm İlkesi.....	64
2.5.3. Sıcaklık Ölçüm İlkesi	65
2.5.4. Elektriksel İletkenlik Ölçüm İlkesi	65
2.5.5. Klorofil-a Ölçüm İlkesi	65
2.5.6. pH Ölçüm İlkesi	66
2.5.7. Hazne Su Derinliği Ölçüm İlkesi	66
2.5.8. Işık Geçirgenliği Ölçüm İlkesi	66
2.6. Ham Su Örneklerinin Alınması ve Muhafazası	66
2.7. Ham Su Örneklerinin Filtre Edilmesi	67
2.8. Laboratuvarda Analizi Gerçekleştirilen Parametreler ve Analiz İlkeleri	68
2.8.1. Askıda Katı Madde Tayini	68
2.8.2. Toplam Azot Tayini	69
2.8.3. Toplam Fosfat Fosforu Tayini.....	69
2.8.4. Kimyasal Oksijen İhtiyacı Tayini	69
2.9. Borçka Baraj Gölü İçin Trofik Durumun Belirlenmesi	69
2.10. Borçka Baraj Gölü Havzası Uydu Görüntüsünün İşlenmesi	70
2.11. Borçka Baraj Gölü Havzası Uydu Görüntüsü Üzerinde Ölçüm Noktalarının Belirlenmesi.....	71
2.12. Askıda Katı Madde, Bulanıklık ve Klorofil-a Haritalarının Üretilmesi	72
3. BULGULAR VE İRDELEME	73
3.1. Arazi ve Laboratuar Çalışmalarından Elde Edilen Bulgular	73
3.2. Su Kalitesi İndeksleri ve Trofik Seviye İndeksi Uygulamalarına ait Bulgular	73
3.3. Arazi ve Laboratuar Çalışmalarından Elde Edilen Bulguların İrdelenmesi	76
3.3.1. Rezervuar Su Kotuna Göre Bulanıklık ve Askıda Katı Maddenin Değişimi	77
3.3.2. Bulanıklığın Mevsimlik Değişimi	83
3.3.3. Askıda Katı Madde Konsantrasyonunun Mevsimlik Değişimi.....	84

3.3.4. Toplam Azotun Mevsimlik Değişimi.....	86
3.3.5. Toplam Fosfat Fosforunun Mevsimlik Değişimi	87
3.3.6. Kimyasal Oksijen İhtiyacının Mevsimlik Değişimi	88
3.3.7. Su Sıcaklığının Mevsimlik Değişimi	89
3.3.8. Hidrojen İyonu Konsantrasyonunun Mevsimlik Değişimi	90
3.3.9. Elektriksel İletkenliğin Mevsimlik Değişimi	91
3.3.10. Çözünmüş Oksijenin Mevsimlik Değişimi	92
3.3.11. Klorofil-a Konsantrasyonunun Mevsimlik Değişimi.....	94
3.3.12. Seki Diski Derinliğinin Mevsimlik Değişimi	95
3.3.13. Hazne Su Derinliğinin Mevsimlik Değişimi.....	96
3.4. Su Kalitesi İndeksi Uygulama Bulgularının İrdelenmesi	97
3.4.1. Kanada Su Kalitesi (CWQI) İndeksi Uygulaması.....	97
3.4.2. Ağırlıklı Aritmetik Su Kalitesi (WAWQI) İndeksi Uygulaması.....	101
3.4.3. Trofik Seviye İndeksi (TSI) Uygulaması	104
3.5. Borçka Baraj Gölü Havzası Uydu Görüntüsü Yüzey Yansım Değerleri ile Gözlem Değerleri Arasında Denklemlerin Kurulması	106
3.6. Borçka Baraj Gölü Havzası Askıda Katı Madde, Bulanıklık ve Klorofil-a Haritaları	108
3.6.1. Borçka Baraj Gölü Havzası Askıda Katı Madde Haritası.....	108
3.6.2. Borçka Baraj Gölü Havzası Bulanıklık Haritası	109
3.6.3. Borçka Baraj Gölü Havzası Klorofil-a Haritası	111
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	114
5. KAYNAKLAR.....	118
6. EKLER.....	130
ÖZGEÇMİŞ	

Doktora Tezi

ÖZET

BORÇKA BARAJ GÖLÜ HAVZASI'NDA ASKIDA KATI MADDE DAĞILIMININ VE SU KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Meltem KENANOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Adem BAYRAM
2024, 129 Sayfa, 24 Sayfa Ek

Bu çalışmada, Aşağı Çoruh Nehri Havzası'nda yer alan ve taşkın koruma ile hidroelektrik enerji üretimi amaçlı planlanmış olan Borçka Baraj Gölü, Çoruh Nehri ve Murgul Çayı'nda seçilen 12 gözlem istasyonunda 2010 Aralık ile 2011 Kasım döneminde aylık olarak su kalitesi takibi yapılmıştır. Çalışma kapsamında, yerinde (sıcaklık, pH, su derinliği, çözülmüş oksijen, özgül iletkenlik, klorofil-a, bulanıklık ve Seki diski derinliği) ölçümler ve laboratuvarında (askıda katı madde, toplam azot, toplam fosfat fosforu ve kimyasal oksijen ihtiyacı) analizler gerçekleştirilmiştir. Baraj gölü, Çoruh Nehri ve Murgul Çayı su kalitesinin zamana bağlı değişimleri üzerinde durulmuş ve Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne (YSKY) göre su kalitesi sınıflandırması yapılmıştır. Ayrıca baraj gölünde bulunan su kütlesine ilişkin askıda katı madde (AKM), bulanıklık (T) ve klorofil-a (Chl-a) parametrelerinin belirlenmesinde uzaktan algılama verileri ile eş zamanlı yersel veriler birlikte kullanılmıştır.

YSKY'ye göre Borçka Baraj Gölü Chl-a bakımından oligotrofik, toplam azota (TN) göre mezotrofik ve toplam fosfat fosforuna (TP) göre ötrofik olarak sınıflandırılabilir. Ölçüm sonuçları, Çoruh Nehri ve Murgul Çayı'nın TN ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) dikkate alındığında yüksek kaliteli suya ancak TP bakımından az kirlenmiş suya sahip olduklarını ortaya koymaktadır. TN ve KOİ yıllık ortalama değerlerindeki düşüş göz önüne alındığında, Borçka Baraj Gölü'nün mansabındaki yerüstü su kalitesine olumlu etki yaptığı sonucuna varılmıştır.

Yıllık ortalama 41 mg/L AKM ve 46 NTU bulanıklığa dayanarak, Borçka Baraj Gölü'nün hidrolik bekleme süresi sebebiyle AKM'nin büyük bir kısmını tutabileceği ve bulanıklığı önemli ölçüde azaltabileceği ve böylece mansabındaki Muratlı Baraj Gölü'ndeki olası siltlenmeyi azaltacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışma kapsamında, Kanada su kalitesi indeksi, ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksi ve trofik seviye indeksi kullanımı da hedeflenmiş, mevsimlik değerlendirmelerin ve elde edilen kalite sınıflarının çalışma alanındaki malzeme hareketi ve kirlilik yükü ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Askıda katı madde, Borçka Barajı, Su kalitesi indeksi, Trofik seviye indeksi

PhD. Thesis

SUMMARY

DETERMINATION OF SUSPENDED SEDIMENT DISTRIBUTION AND WATER QUALITY PARAMETERS IN THE BORÇKA DAM LAKE BASIN

Meltem KENANOĞLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Adem BAYRAM
2024, 129 Pages, 24 Pages Appendix

In this study, surface water quality was investigated monthly between December 2010 and November 2011 at 12 monitoring stations selected in the Borçka Dam Lake, which is located in the Lower Çoruh River Basin and planned for flood protection and hydroelectric power generation, the Çoruh River and Murgul Stream. Within the scope of the study, in-situ (temperature, pH, water depth, dissolved oxygen, specific conductance, chlorophyll-a, turbidity, and Secchi disk depth) measurements and laboratory (suspended sediment, total nitrogen, total phosphate phosphorus, and chemical oxygen demand) analyzes were carried out. In addition, remote sensing data and synchronous in-situ data were used together to determine suspended sediment (SS), turbidity (T) and chlorophyll-a (Chl-a) parameters of the water mass in the Borçka Dam Lake.

The Borçka Dam Lake was classified as oligotrophic in terms of Chl-a, mesotrophic in terms of total nitrogen (TN), and eutrophic in terms of total phosphate phosphorus (TP), with reference to the Surface Water Quality Regulation (SWQR). The measurement results reveal that the Çoruh River and the Murgul Stream have high-quality water, considering TN and chemical oxygen demand (COD), but slightly polluted water regarding TP. Considering the decrease in the annual average values of TN and COD, it is concluded that the Borçka Dam Lake had a positive effect on the surface water quality in the Lower Çoruh River Basin. Based on the annual average of 41 mg/L for SS and 46 NTU for T, it was concluded that the Borçka Dam Lake could trap a large portion of the SS and could reduce turbidity considerably because of its long hydraulic residence time, and thus reduce possible silting in the downstream reservoir.

Within the scope of the study, the use of Canadian water quality index, weighted arithmetic water quality index, and trophic state index was also targeted, and it was observed that the seasonal evaluation and the quality classes obtained were compatible with the material movement and pollution load in the study area.

Key Words: Suspended sediment, Borçka Dam, Water quality index, Trophic state index

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Su kütlesi içindeki sediment parçacıklarının şematik gösterimi	4
Şekil 2.	Bir baraj haznesinde sedimentin çökeldiği bölgeler	5
Şekil 3.	Baraj haznesinde yoğunluk akım bölgeleri	6
Şekil 4.	Borçka Baraj Gölü'ndeki bulanıklık akımı (28.05.2011)	7
Şekil 5.	Uzaktan algılama sistemi bileşenleri	12
Şekil 6.	Artvin ili ve komşu iller	43
Şekil 7.	Artvin ili merkez yerleşim birimlerinin uydu görüntüsü	44
Şekil 8.	Çoruh Nehri ve Murgul Çayı üzerindeki AGİ'lerde aylık debi değişimleri	49
Şekil 9.	Çoruh Nehri Havzası gelişme planı	57
Şekil 10.	Borçka Baraj Gölü (25.06.2011)	58
Şekil 11.	Borçka Baraj Gölü 1/25.000 ölçekli paftaları	59
Şekil 12.	Gözlem istasyonlarının seçildiği Borçka Baraj Gölü Havzası uydu görüntüsü	60
Şekil 13.	(a) B01 ve (b) B03 istasyonlarının genel görünümü	61
Şekil 14.	(a) B02 istasyonu genel görünümü ve (b) Hatila Deresinin (B03) gölle birleştiği yerin genel görünümü	61
Şekil 15.	(a) B04 ve (b) B05 istasyonlarının genel görünümü	61
Şekil 16.	(a) B06 ve (b) B09 istasyonlarının genel görünümü	62
Şekil 17.	B11 istasyonunun genel görünümü	62
Şekil 18.	(a) B10 ve (b) B12 istasyonlarının genel görünümü	62
Şekil 19.	(a) Hydrolab DS5 su kalitesi ölçüm sondası ve (b) Seki diski (22.01.2011)	64
Şekil 20.	Ham su örneklerinin muhafazası	67
Şekil 21.	(a) Vakum pompası ve (b) filtrasyon seti	68
Şekil 22.	Borçka Baraj Gölü Havzası'nda bulanıklığın hazne su kotuna göre değişimi (a) <175 m, (b) >180 m, (c) 175-180 m arası	81
Şekil 23.	Borçka Baraj Gölü Havzası'nda askıda katı maddenin hazne su kotuna göre değişimi (a) <175 m, (b) >180 m, (c) 175-180 m arası	82
Şekil 24.	Borçka Baraj Gölü Havzası'nda bulanıklığın mevsimlik değişimi	83
Şekil 25.	Borçka Baraj Gölü Havzası'nda askıda katı maddenin mevsimlik değişimi	85
Şekil 26.	Borçka Baraj Gölü Havzası'nda toplam azotun mevsimlik değişimi	86

Şekil 27. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda toplam fosfat fosforunun mevsimlik değişimi	87
Şekil 28. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda kimyasal oksijen ihtiyacının mevsimlik değişimi	88
Şekil 29. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda su sıcaklığının mevsimlik değişimi.....	90
Şekil 30. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda hidrojen iyonu konsantrasyonunun mevsimlik değişimi	91
Şekil 31. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda elektriksel iletkenliğin mevsimlik değişimi	92
Şekil 32. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda çözünmüş oksijenin mevsimlik değişimi	93
Şekil 33. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda klorofil-a konsantrasyonunun mevsimlik değişimi	94
Şekil 34. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda Seki diski derinliğinin mevsimlik değişimi	95
Şekil 35. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda hazne su derinliğinin mevsimlik değişimi	96
Şekil 36. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda Kanada su kalitesi indeksi yıllık değerleri	98
Şekil 37. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda Kanada su kalitesi indeksi kış mevsimi değerleri	99
Şekil 38. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda Kanada su kalitesi indeksi ilkbahar mevsimi değerleri.....	99
Şekil 39. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda Kanada su kalitesi indeksi yaz mevsimi değerleri	100
Şekil 40. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda Kanada su kalitesi indeksi sonbahar mevsimi değerleri.....	101
Şekil 41. Ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksi yıllık değerleri	102
Şekil 42. Ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksi kış mevsimi değerleri	102
Şekil 43. Ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksi ilkbahar mevsimi değerleri.....	103
Şekil 44. Ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksi yaz mevsimi değerleri	103
Şekil 45. Ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksi sonbahar mevsimi değerleri	104
Şekil 46. Borçka Baraj Gölü'nde trofik seviye indeksi değerlerinin mevsimlik değişimi	105
Şekil 47. Askıda katı madde ölçüm verileri ile B3SR değerleri arasındaki ilişki.....	106
Şekil 48. Bulanıklık ölçüm verileri ile B3SR değerleri arasındaki ilişki	107
Şekil 49. Klorofil-a ölçüm verileri ile B1SR değerleri arasındaki ilişki.....	107
Şekil 50. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 1) askıda katı madde haritası.....	108
Şekil 51. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 2) askıda katı madde haritası.....	109
Şekil 52. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 3) askıda katı madde haritası.....	109
Şekil 53. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 1) bulanıklık haritası	110

Şekil 54. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 2) bulanıklık haritası	110
Şekil 55. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 3) bulanıklık haritası	111
Şekil 56. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 1) klorofil-a haritası.....	112
Şekil 57. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 2) klorofil-a haritası.....	112
Şekil 58. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 3) klorofil-a haritası.....	113



TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Kıta içi yerüstü su kaynaklarının genel kimyasal ve fizikokimyasal parametreler açısından sınıflarına göre kalite kriterleri	14
Tablo 2.	Göl, gölet ve baraj gölleri ötrofikasyon kriterleri	15
Tablo 3.	Kanada su kalitesi indeksi ve karşılık gelen su kalite sınıfları	18
Tablo 4.	Ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksi ve karşılık gelen su kalite sınıfları	18
Tablo 5.	Çoruh Nehri Havzası'ndaki akım gözlem istasyonları	49
Tablo 6.	Çoruh Nehri Havzası gelişme projeleri.....	57
Tablo 7.	Borçka Barajı ve HES özellikleri.....	58
Tablo 8.	Gözlem istasyonları ve koordinatları	63
Tablo 9.	Çalışmanın gerçekleştirildiği dönem	63
Tablo 10.	Göl, gölet ve baraj göllerinin trofik seviyeleri	70
Tablo 11.	CWQI uygulamasında hesaplanan faktörler ve kalite sınıfları	74
Tablo 12.	WAWQI uygulamasındaki parametrelere ait katsayılar	75
Tablo 13.	Borçka Baraj Gölü Havzası için CWQI ve WAWQI su kalite sınıfları.....	75
Tablo 14.	Trofik Seviye İndeksi parametrelerinin dönemsel değişimleri ve istatistiksel bulgular	76
Tablo 15.	CWQI uygulamasında kullanılan parametreler ve sınır değerler.....	98

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AGİ	: Akım gözlem istasyonu
AKM	: Askıda katı madde
ATI	: Aquatic Toxicity Index (Sucul Toksisite İndeksi)
BOİ ₅	: Beş günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı
CCME-WQI	: Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (Kanada Çevre Bakanları Konseyi Su Kalitesi İndeksi)
Chl-a	: Klorofil-a
CWQI	: Canadian Water Quality Index (Kanada Su Kalitesi İndeksi)
ÇO	: Çözünmüş oksijen
DSİ	: Devlet Su İşleri
Eİ	: Elektriksel iletkenlik
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ENVI	: Environment for Visualizing Imagery
ETM	: Enhanced Thematic Mapper
FIS	: Fuzzy Inference System (Bulanık çıkarım sistemi)
F ₁	: Birinci faktör
F ₂	: İkinci faktör
F ₃	: Üçüncü faktör
HES	: Hidroelektrik Santral
HGM	: Harita Genel Müdürlüğü
K	: Orantısallık sabiti
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı (mg/L)
LDO	: Luminescence Dissolved Oxygen (Lüminesans çözünmüş oksijen)
Mak	: En büyük
MATLAB	: Matrix Laboratory
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Min	: En küçük
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MUSLE	: Modified Universal Soil Loss Equation (Değiştirilmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği)
N ₂	: Moleküler azot
NH ₃	: Amonyak
NH ₄	: Amonyum
NH ₄ OH	: Amonyum hidroksit
NO ₂	: Nitrit
NO ₃	: Nitrat
nse	: Normalized sum of excursions (Normalleştirilmiş sapmalar toplamı)
NSFWQI	: National Sanitation Foundation Water Quality Index (Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi)
NTU	: Nephelometric Turbidity Unit (Nephelometrik bulanıklık birimi)
ORMES	: Operational Remote Sensing Mapping of Estuarine Suspended Sediment
Ort	: Ortalama
OWQI	: Oregon Water Quality Index (Oregon Su Kalitesi İndeksi)
PE	: Polietilen
PET	: Polietilen tereftalat
pH	: Hidrojen iyonu konsantrasyonu
Q _i	: Kalite oranı
QUAC	: Quic Atmospheric Correction
R	: Korelasyon katsayısı
R ²	: Determinasyon katsayısı
RUSLE	: Revised Universal Soil Loss Equation (Düzenlenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği)
S	: Standart Sapma
SD	: Su Derinliği
SDD	: Seki Diski Derinliği
SEQ-Eau	: Su Kalitesi Değerlendirme Sistemi
SO ₄	: Sülfat
SPSS	: Statistical Package for Social Sciences (Sosyal Bilimler için İstatistik Programı)
SR	: Surface Reflectance (Yüzey yansımaları)
T	: Bulanıklık (NTU)

TÇKM	: Toplam çözünmüş katı madde
TM	: Thematic Mapper
TN	: Toplam azot
TOA	: Top of Atmosphere
TOK	: Toplam organik karbon
TP	: Toplam fosfat fosforu
TSI	: Trophic State Index (Trokik Seviye İndeksi)
TSI(Chl-a)	: Klorofil-a Trofik Seviye İndeksi
TSI(Chl-a) _{ilk}	: İlkbahar mevsimine ait TSI(Chl-a)
TSI(Chl-a) _{Kış}	: Kış mevsimine ait TSI(Chl-a)
TSI(Chl-a) _{Son}	: Sonbahar mevsimine ait TSI(Chl-a)
TSI(Chl-a) _{Yaz}	: Yaz mevsimine ait TSI(Chl-a)
TSI(Chl-a) _{Yort}	: Klorofil-a için yıllık ortalama TSI
TSI(Ort)	: Su kalitesi parametrelerinin ortalamasından hesaplanan TSI
TSI(Ort) _{ilk}	: İlkbahar mevsimine ait ortalama TSI
TSI(Ort) _{Yaz}	: Yaz mevsimine ait ortalama TSI
TSI(Ort) _{Son}	: Sonbahar mevsimine ait ortalama TSI
TSI(Ort) _{Kış}	: Kış mevsimine ait ortalama TSI
TSI(Ort) _{Yort}	: TSI(Ort) değerleri için yıllık ortalama
TSI(SDD)	: Seki diski derinliği Trofik Seviye İndeksi
TSI(SDD) _{ilk}	: İlkbahar mevsimine ait TSI(SDD)
TSI(SDD) _{Kış}	: Kış mevsimine ait TSI(SDD)
TSI(SDD) _{Son}	: Sonbahar mevsimine ait TSI(SDD)
TSI(SDD) _{Yaz}	: Yaz mevsimine ait TSI(SDD)
TSI(SDD) _{Yort}	: Seki diski derinliği için yıllık ortalama TSI
TSI(TN)	: Toplam azot Trofik Seviye İndeksi
TSI(TN) _{ilk}	: İlkbahar mevsimine ait TSI(TN)
TSI(TN) _{Kış}	: Kış mevsimine ait TSI(TN)
TSI(TN) _{Son}	: Sonbahar mevsimine ait TSI(TN)
TSI(TN) _{Yaz}	: Yaz mevsimine ait TSI(TN)
TSI(TN) _{Yort}	: Toplam azot için yıllık ortalama TSI
TSI(TP)	: Toplam fosfor Trofik Seviye İndeksi
TSI(TP) _{ilk}	: İlkbahar mevsimine ait TSI(TP)

TSI(TP) _{Kış}	: Kış mevsimine ait TSI(TP)
TSI(TP) _{Son}	: Sonbahar mevsimine ait TSI(TP)
TSI(TP) _{Yaz}	: Yaz mevsimine ait TSI(TP)
TSI(TP) _{Yort}	: Toplam fosfat fosforu için yıllık ortalama TSI
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
USACE	: United States Army Corps of Engineers
USLE	: Universal Soil Loss Equation (Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği)
UV-VIS	: Ultraviolet-Visible
V _e	: Deneysel değer
V _i	: İdeal değer
V _s	: Standart değer
W _i	: Birim ağırlık
WAWQI	: Weighted arithmetic water quality index (Ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksi)
WQI	: Water Quality Index (Su Kalitesi İndeksi)
YSA	: Yapay Sinir Ağları
YSKY	: Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde hidroelektrik enerjiden yararlanma oranı ülkelerin sanayileşmelerinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Gelişmiş ülkeler hidrolik potansiyellerinin neredeyse tamamını kullanırken, dünya genelindeki hidrolik potansiyelin yaklaşık %80'ine sahip olan gelişmekte olan ülkelere bu oran %25-30 civarındadır. Bu durum, gelecekte hidrolik potansiyelin kullanımının gelişmekte olan ülkelere artacağına işaret etmektedir.

İçme ve kullanma suyunun sağlanması, tarım ve sanayinin su ihtiyaçlarının karşılanması, enerji üretimi ve taşkın kontrolü gibi çeşitli amaçlar için akarsular üzerinde barajlar inşa edilmektedir. Akarsular tarafından taşınan katı maddeler (kum, kil, silt, çakıl vb.) baraj haznelerinde birikerek barajların depolama kapasitelerini azaltmakta ve ekonomik ömürlerini kısaltmaktadır. Sedimentasyon bilgisinin yetersizliği, bu sorunu daha da derinleştirmektedir. Özellikle yarı kurak iklimin hâkim olduğu ve karmaşık bir topografyaya sahip Türkiye gibi ülkelere bu durum büyük önem taşımaktadır (EİE, 2012a).

Taşınan malzemelerin birikmesine bağlı olarak taşkın yataklarının yükselmesi sel baskınlarının daha sık yaşanmasına yol açmaktadır. Bu durum, verimli tarım alanlarının kumla kaplanmasına ve gübrelemenin etkisinin azalmasına neden olmaktadır. Baraj haznelerine taşınan malzeme su arıtma ve sulama sistemlerinin maliyetlerinin yükselmesine, türbin, kapak ve vana gibi mekanik parçaların aşınmasına da sebep olmaktadır. Bu nedenle, bir barajda ne kadar katı madde birikeceğinin yanı sıra bu maddelerin nerede ve nasıl birikeceğini öngörmek de büyük önem taşımaktadır (Ağralıoğlu, 2004).

Akarsuyun taşıdığı daneler, suyun bulanıklığını artırmakta ve su kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu durumun suyu kullanan hane halkı ve sanayi kuruluşları üzerinde yaratacağı etkileri sınırlamak için sudaki dane seviyesinin standartlarda belirlenmiş uygun aralıklarda olması önem arz etmektedir (Minarecioğlu, 2008).

Dünya genelinde su ihtiyacının artmasıyla birlikte, su kaynaklarının bilimsel yöntemlerle analiz edilmesi önem kazanmıştır. Bu amaçla, doğal su kaynaklarının geleceği için zaman zaman kirlenme durumunun araştırılması zorunlu hale gelmiştir. Özellikle

nehirler, önemli su kaynaklarından biri olmanın yanında atık su deşarj yeri olarak da kullanılmaktadır. Evsel ve endüstriyel kirlenmeler sonucu, nehirler insan hayatını tehdit eder hale gelmiştir. Bu sebeple, nehirlerdeki su kalitesinin korunması ve izlenmesi son derece önemlidir (Sümer vd., 2001).

Etkili bir su yönetimi için su kalitesi ile ilgili güvenilir veriler toplamak kadar; konumsal ve mevsimsel su kalitesi değişimlerinin değerlendirilmesi, su kalitesi ve kirlilik kaynaklarının belirlenmesi ve su kirliliğinin kontrol edilmesi de önemlidir (Şimşek vd., 2022).

Su kalitesi, belirli kullanımlar ile ilgili su kaynağının veya kütlesinin durumunu belirtmek için kullanılır. Su kalitesi fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler göz önünde bulundurularak incelenir. Genel olarak su kalitesi, bu parametrelerin bir ya da birkaçının belirlenen sınırlar içindeki ilişkilerini gösterir. Bu ilişkiler incelenirken, parametrelerin farklı birimlerde olması bazı zorluklara sebep olmuştur ve bu durum su kalite indekslerinin oluşturulmasını sağlamıştır (Hepsağ, 2003).

1.2. Katı Madde Kaynakları

Baraj gölüne taşınan tüm katı maddeler, havzalardaki toprak erozyonu veya nehir yatağındaki şev erozyonunun çeşitli biçimlerinden kaynaklanmaktadır. Erozyona yol açan faktörler ise iki ana grupta incelenebilir.

Aşındıran ve taşıyan kuvvetler; katı cidarlarda ve çevrintilerin olduğu yerde akışkanın kayma gerilmesi, taban eğimi, suyun debisi, akımın türbülansı, pürüzlülük katsayısı ve katı madde konsantrasyonunu içermektedir. Direnç gösteren ve yığan kuvvetler ise; yer çekimi, bitki örtüsü, adhezyon (yapışma), geçirimsizlik ve parçacıkların yumaklaşması gibi durumları kapsamaktadır (Ağırlioğlu, 2004).

Türkiye, topoğrafyasının engebeli yapısı, bölgeler arası iklim farklılıkları ve kolay ayrışabilen ana kaya özellikleri nedeniyle dünyada erozyona en hassas bölgeler arasında yer almaktadır (Odabaşı, 2011). Çeşitli etkenler sebebiyle akarsular tarafından taşınan malzemelerden kaynaklı tüm baraj haznelerinde belli bir miktar sediment birikimi görülmektedir. Bu sebeple baraj haznesi boyutlandırılırken, taşınan sediment miktarının ve zamanla değişiminin belirlenip, bu değerlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

1.3. Katı Madde Taşınımı

Sediment (rusubat veya çökelti maddesi), oluştuğu yerden çökeldiği yere kadar su tarafından taşınan katı maddelerdir. Su yataklarındaki sediment, yatak tabanı boyunca sürüklenen veya su içinde asılı kalan ve daha sonra çöken alüvyon malzemeleri kapsamaktadır (Garde & Raju, 2000).

Sediment parçacıkları su kütlesi içindeki taşınım şekillerine göre silt+kil+kum içeren süspansiyon, nehir yatağı ile etkileşim halinde olan kaba (iri) malzeme ve sıçrama hareketi yapan danecikler olmak üzere üç grupta incelenebilir (Ongley, 2013).

Parçacıkların; birbiri üzerinden yuvarlanarak ya da kayarak, birbiri yanında sıçrayarak hareket etmesi ve yataktan sürüklenerek uzaklaşması bazı etkenlere bağlıdır. Bunlar;

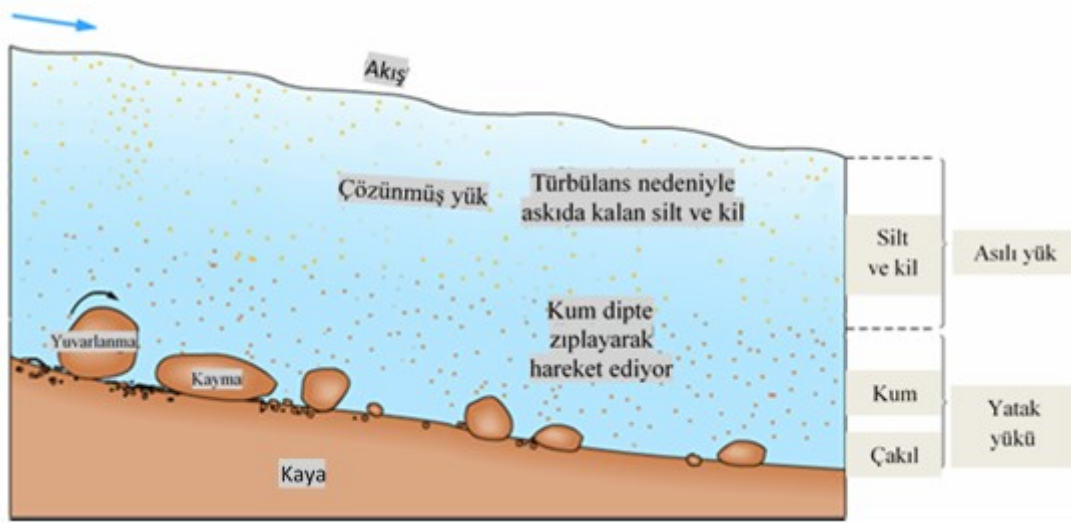
- Alüvyal kanalın taban malzemesi özelliği
- Akım koşulları
- Akışkan özellikleridir (Kumcu & Kökpınar, 2009).

Sediment parçacıkları, su kütlesi içindeki taşınımları sırasında yaptıkları harekete göre üç şekilde gruplandırılabilir (Şekil 1).

Yatak yükü; yatak yüzeyinde ve yüzeye yakın kısımda hareket eden çakıl ve iri taş benzeri kaba malzemedir. Nehir yatağı boyunca tümüyle taban ile ilişki kesilmeden; sürünme, kayma, yuvarlanma veya kısa süreli sıçrama biçimlerinden biri ya da birkaçı şeklinde hareket eder. Çünkü nehir akımı ile süspansiyon halinde kaldırılabilmek için çok ağırdır. Yatak yükü hareketinin büyük bir kısmı, su seviyesi yüksek ve akım çok çalkantılı olduğunda; dik eğimlerde yüksek debili zamanlarda meydana gelmektedir.

Asılı yük; yatak ve yatak yüzeyine yakın kısımlar dışında kalan, suyun türbülansı ile süspansiyon içinde tutulan kum+silt+kil boyutlu parçacıklardan oluşur. Asılı yükün silt+kil boyutlu malzemeden oluşan kısmı yıkama yükü ya da “ince daneli sediment” olarak adlandırılmaktadır. Yıkama yükü genellikle asılı yük temininin kontrolünü sağlar. Asılı yük içerisindeki kum miktarı doğrudan türbülansla orantılıdır ve çoğunlukla nehir kıyıların ve yatağın erozyonundan kaynaklanmaktadır.

Sıçrama yapan yük; yatak yükü ile asılı yük arasında geçiş yapan malzemeyi tanımlamak için kullanılan bir terim olup; türbülans ile nehir tabanından kalkabilecek yeterli hafiflikte ancak süspansiyon halinde kalmak için çok ağır olan partiküller ile ilgilidir ve bu şekilde nehir yatağı ile sürekli temas halindedir (Ongley, 2013).



Şekil 1. Su kütlesi içindeki sediment parçacıklarının şematik gösterimi (Kumcu & Kökpınar, 2009)

Her üç şekildeki taşınma hareketi aynı zamanda meydana gelmektedir. Genellikle bu üç hareketi birbirinden ayırmak mümkün değildir. Bu ayırım güçlüğünü ortadan kaldırmak için pratikte sediment hareketi yatak yükü ve asılı yük olarak iki grupta değerlendirilmektedir.

Toplam sediment taşınım oranı; asılı yük ve yatak yükünün toplamıdır. Akarsuyun hareketine göre değişiklik göstermekle birlikte genel olarak toplam sedimentin ağırlık ve hacim olarak %80-95'ini asılı sediment teşkil eder. Özellikle büyük akarsularda askı materyalinin toplam sedimente oranı büyüktür. Bu nedenle de sediment çalışmalarında asılı sediment yükü daha çok önem kazanmaktadır (Çokgör, 2009).

1.4. Baraj Göllerinde Katı Madde Hareketi

Genel olarak barajlar, akarsuların akış rejimi ve katı madde taşıma kapasitelerini değiştirerek akarsuların tabii dengelerinin bozulmalarına sebep olmaktadır. Zaman içerisinde meydana gelen oyulma ve yığılmalar ile akarsu yatağında yeni bir denge oluşmaktadır.

Bir baraj vadisinde katı madde hareketi açısından dört farklı bölge bulunmaktadır. Bunlar; aşınma ve oyulmaların olduğu birinci bölge (havza), taban yükselme veya alçalmaların olduğu ikinci bölge (akarsu), yığılmaların meydana geldiği üçüncü bölge

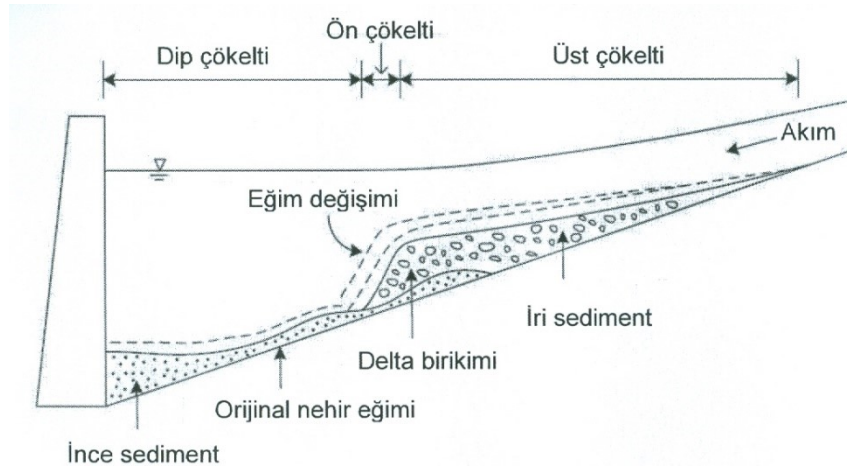
(baraj haznesi) ve oyulmaların görüldüğü dördüncü bölgedir (akarsuyun baraj mansabındaki kısmı).

Akarsudan baraj haznesine girişte ve hazne boyunca suyun akış hızı azalmakta ve taşınan katı maddenin büyük bir kısmı, suyun kabardığı akarsu kısımlarında ve baraj gölünde yığılmaktadır. Bu baraj haznesinin memba ucunda yatak seviyesini yükselterek delta oluşumuna yol açmaktadır.

Yığılan katı maddenin rezervuar içerisindeki dağılımının bilinmesi mühendislik açısından önem taşımaktadır. Bu dağılımın şekli dinlenme ve göle girme alanlarına, dip savak yüksekliğine ve faydalı hacme etki etmektedir. Bu sebeple belirli sürelerde baraj haznesinde oluşabilecek katı madde dağılımının planlama çalışmalarında tahmin edilmesi gerekmektedir.

Barajlarda yığılmalara etki eden faktörler; katı maddelerin boyut ve geometrisi, baraj haznesinin şekli ve yapısı, baraj haznesine giren ve çıkan su miktarı, baraj haznesinin işletilmesindeki kurallar olarak sıralanabilir.

Baraj haznesinin yukarısında, su kabarması görülen akarsu kısmında, su hızı azaldığı için akarsuyun taşıdığı katı maddelerden ilk olarak iri daneler çökelmektedir. Sonrasında kum ve çakıl gibi daha ince malzemeler baraj gölünün memba kesiminde çökelmekte ve bu çökelmeler zaman içerisinde delta oluşumuna sebep olmaktadır. Kil ve silt iriliğindeki malzemeler ise baraj haznesinde ilerleyerek baraj gövdesine yakın bölgede çökelmektedir (Şekil 2). Böylece barajlarda; akarsu kesimindeki suyun kabarmasına bağlı yığılmalar, kum ve çakıl birikiminin oluşturduğu deltalar ve kil ve siltin oluşturduğu taban yığılmaları olmak üzere üç türlü yığılma görülmektedir (Ağıralıoğlu, 2004).



Şekil 2. Bir baraj haznesinde sedimentin çökelediği bölgeler (Odabaşı, 2011)

Şekil 3. Baraj haznesinde yoğunluk akım bölgeleri (Ağralıoğlu, 2004)

1.6. Baraj Göllerinde Bulanıklık Akımları

Bulanıklık akımları, asılı ince katı maddenin sebep olduğu yoğunluk farkları ile ilerleyen akımlardır (Cesare vd., 2001). Haznelerde meydana gelen sediment birikiminde, yoğunluk dip akımları ve özellikle bulanıklık akımları büyük bir önem taşımaktadır. Bulanıklık akımları veya bulanıklıkla oluşan yoğunluk alt akımları, sediment yüklü su hazneye girdiğinde oluşur, temiz suyun altına dalar ve akıntı yönünde su altında talveg boyunca taşınır.

Akıntı mansaba doğru olduğundan sediment yükünün daha iri daneli kısmı genellikle taban boyunca yığılacak ve eğer yeterli sediment yükü çökelirse yoğunluk akımı baraja kadar yayılacaktır (Morris & Fan, 1998).

Bulanıklık akımları bir engel ile karşılaştığında askıdaki malzemeler çamurlu bir gölcük oluşturacak şekilde çökelirken yoğunluk akımları yükselerek ve yansıyarak küçük çevrintiler oluşturmaktadır (Odabaşı, 2011). Bulanıklık akımları, aynı zamanda su altındaki kayma ve oturmalarından, taşkın sırasında oluşan dalgalardan ve akımların tekrar askıya geçirdiği malzemelerden etkilenmektedir. Borçka Baraj Gölü'nde B05 istasyonunun 100 m membaındaki bulanıklık akımı Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Borçka Baraj Gölü'ndeki bulanıklık akımı (28.05.2011)

1.7. Baraj Haznesine Taşınan Katı Madde Miktarının Belirlenmesi

Sediment verimi, belirli bir zaman diliminde bir referans noktasında ölçülen sediment miktarını ifade etmektedir (Odabaşı, 2011).

Bir akarsu havzasında yağış şiddeti ve miktarı, bitki örtüsü, zemin türü ve jeolojik yapı, arazi kullanımı, topoğrafya ile drenaj sistemi, sediment ve yatağın hidrolik özellikleri sediment verimini belirleyen etkenler arasında yer almaktadır.

Havzalardan aşınarak haznelere taşınan sediment miktarı aşağıda verilen yöntemlerle belirlenebilir.

Sediment anahtar eğrisi-debi süreklilik eğrisi: bir istasyon için oluşturulan debi süreklilik eğrileri kullanılarak akarsuyun kesitindeki sediment süreklilik eğrileri tespit edilir. Bu eğri aracılığıyla yıllık ortalama sediment miktarı hesaplanır.

Sediment yığılmalarını ölçme: bu yöntem haznede biriken sediment hacminin ölçülmesi ile gerçekleştirilir.

Sediment verimi yöntemi: havzadan gelen sediment veriminin havzadaki toplam alanına oranı dikkate alınır.

Sediment formülleri: bu yöntemde sediment miktarının hesaplanması için çeşitli bağıntılar kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılanlar Meyer-Peter ve Müller, Schoklitsch, Einstein sürüntü maddesi bağıntısı, Toffaleti işlemi ve Ackers ve White'dır.

1.8. Baraj Haznesinde Biriken Katı Madde Miktarını Belirleme Amacı ve Aşamaları

Baraj haznelerindeki sedimentasyon analizinde; matematiksel ve fiziksel laboratuvar modellerinin yanı sıra çalışılan haznenin sedimentasyon ölçüm ve araştırmaları da büyük ölçüde kullanılmaktadır. Bu ölçüm ve araştırmaların yapılmasının ana sebepleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Göğüş, 2009):

- Havzanın sediment üretme kapasitesinin araştırılması,
- Havzadaki çökelme ya da erozyonun sebep olacağı zararların araştırılması,
- Çökelme ya da erozyondan havzaları koruyacak yöntemlerin geliştirilmesi,
- Sedimentasyon şekli ve miktarının hesaplanması,
- Haznelerin hizmet ömrünü belirlemek,

- Planlanan ve projelendirilen koşullara uygun olarak, çoğunlukla sedimentasyon miktarına bağlı olan optimum hazne işletmeleri için uygun kararların verilmesi.

Haznede birikecek sediment miktarının hesaplamasında kullanılan yöntemler, belirlenme amacına göre değişiklik gösterir. Bir haznede birikecek sediment miktarını belirleme aşamaları aşağıda verilmektedir (Yıldız & Kaş, 2007):

Planlama aşaması: haznelerde faydalı ömrün tahmini çalışması, yapının ekonomik faydası açısından önemlidir. Hazneye ulaşacak olan ortalama sediment miktarı ve bu sedimentin haznede çökmesi beklenen bölümünün belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra sediment birikiminin haznedeki artışı ve dağılımına yönelik çalışmalar da planlamanın ilk aşamalarında gerekli olabilmektedir.

Haznelerdeki sediment birikiminin yoğunluğu belirli ölçülerde haznenin işletmesiyle de ilişkilidir. Bu sebeple hazne işletmesi ile ilgili bir ön çalışma, planlama aşamasında sediment birikimi için yapılacak olan çalışmaların içerisinde yer almalıdır.

Proje aşaması: baraj ve yardımcı yapıları, haznedeki sediment birikimi etkileri ve bu birikimin kontrol edilmesi göz önüne alınarak projelendirilmelidir. Bu durum dolusavak, dipsavak ve su alma yapılarının konumu ve boyutlarını etkilemektedir.

Haznelerdeki sediment birikimi ve bu sedimentin kontrolü ile ilgili teknikler, hazne işletme kurallarına bağlı olarak şekillenir. Bu kurallar, depolamanın amacını (içme suyu sağlama, hidroelektrik enerji üretimi, sulama ve taşkın kontrolü) ve kullanıcıların ihtiyaçlarını göz önüne alarak belirlenmektedir.

Bu aşamada daha kapsamlı hesaplar yapılması gerekmektedir. Haznenin hidrolik, matematik modellenmesi ve hazne boyunca sediment çökme hesapları bu çalışmalar arasında yer almaktadır. Model girdilerinin elde edilmesi için arazi gözlem, inceleme ve ölçümleri sonucu elde edilen veriler daha önce hesaplanan değerlerle karşılaştırılarak sonuçlar analiz edilmektedir.

Çoğunlukla işletme kuralları sediment birikimi dahil edilerek tespit edilir. Bu projelendirmenin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Haznelerdeki sediment birikiminin memba ve mansaptaki ikincil etkileri de projelendirme aşamasında analiz edilmelidir.

İşletme aşaması: işletme aşamasındaki sediment çalışmaları birçok amaç için gerçekleştirilebilir. İlk olarak projelendirme aşamasında yapılan birikim hesapları ölçüm ve gözlemlerden elde edilecek değerlerle karşılaştırılmalıdır.

Hazneye çökelen sedimentin kontrol edilmesi için biriken sedimentin yıkanması ve yoğunluk akımlarının boşaltılması vb. gibi yöntemler uygulanır. Bunun yanı sıra

gerektiğinde çözüm için barajdaki yardımcı yapıların (dipsavaklar ve boşaltım kapakları) boyutlarının ve sayılarının arttırılması, yeniden inşaatı, baraj havzasında sedimenti kontrol edecek ilave yapıların yapılması gibi önlemler de alınabilir.

1.9. Biriken Katı Madde Miktarını Belirlemede Kullanılan Yöntemler

Baraj haznelerinde birikmesi muhtemel sediment miktarının hesabı, baraj planlamalarında dikkate alınan ölü hacmin belirlenmesiyle bağlantılıdır. Baraj planlamalarında, baraj yapısıyla alakalı boyutlandırmalar, hazne hacmi dikkate alınarak yapılmaktadır. Toplam hazne hacmi, aktif ve ölü hacimlerin toplamından oluşmaktadır. Ölü hacim, bir akarsuyun taşıyabileceği sediment miktarına bağlı olarak, barajın ömrü boyunca taşınması beklenen sediment hacmi olarak değerlendirilir. Bu sediment hacmi, farklı yöntemler kullanılarak tespit edilebilir (Yıldız & Kaş, 2007).

Amprik Yaklaşımlar: üzerinde baraj inşa edilen akarsu havzasının karakteristikleri kullanılarak elde edilen amprik bağıntılar yardımı ile ölü hacim belirlenebilir. Bu bağıntılar içerisinde en fazla kullanılan Brüt Erozyon Nispeti bağıntısıdır. Buna karşın dünyada çok daha yaygın olarak kullanılan bağıntılar vardır. Bunlar Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (Universal Soil Loss Equation, USLE), Değiştirilmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (Modified Universal Soil Loss Equation, MUSLE) ve Düzenlenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE) olup; bu bağıntılar nehir havzasının aşınma yoluyla kaybettiği toprak miktarını hesaplamak amacıyla geliştirilmiş deneysel denklemlerdir.

Sediment Bağıntıları: erozyon ve sediment taşınım süreçlerini tanımlamak ve tahmin etmek için kullanılan matematiksel denklemler veya formüllerdir. Bu bağıntılar, çeşitli fiziksel ve çevresel faktörlere dayalı olarak sediment üretimi, taşınımı ve birikimini modellemeye yardımcı olmaktadır. Sediment yükü hesabı için nehir yatağındaki malzeme göz önüne alınarak çıkarılmış bağıntılar; yatak yükü, asılı yük ve toplam yük bağıntıları olarak gruplandırılabilir. Bunların en çok bilinenleri Einstein, Değiştirilmiş Einstein, Colby, Goncharov, Bagnold, Laursen ve Egiazaroff bağıntılarıdır.

Yerinde Yapılan Ölçümler: belli periyotlarda yerinde gerçekleştirilecek ölçümler ile baraj haznesinde biriken sediment miktarı belirlenebilmektedir. Yerinde gerçekleştirilen ölçümler daha çok, baraj inşa edildikten sonra baraj haznesinde katı madde birikme hızının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Farklı zamanlarda yapılan ölçümlerle elde edilen

derinlik haritalarının karşılaştırılması, biriken sediment miktarını belirlemeye olanak tanır. Yerinde ölçümlerle sediment veriminin belirlenmesi ve deneysel bağıntılarla bulunan sonuçların karşılaştırılması ölçüm yapılamayan yerlerde uygulanabilecek deneysel bağıntının ve düzeltme katsayılarının belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

Stokastik Yaklaşımlar: akarsu üzerinde bir hidrometri istasyonuna ait uzun süreli gözlem verilerinin varlığı durumunda, stokastik yaklaşımlar ile güven duyulabilecek düzeyde bir ölü hacim hesabının yapılması mümkündür. Bir hidrometri istasyonuna ait gözlem verilerinin sentetik olarak üretilmesi ya da bu verilerin 50-100 yıl gibi uzun sürelere uzatılması ile akarsuyun sediment anahtar eğrisi çıkartılarak elde edilecek değerler, ölü hacmin belirlenmesinde kullanılabilir.

Uzaktan Algılama Yöntemleri: yeryüzü ve atmosfer hakkında veri toplamak için havadan veya uzaydan yapılan gözlemleri içeren yöntemler, elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerini kullanarak çeşitli sensörler aracılığıyla veri toplamaktadır. Günümüzde uzaktan algılama, yerinde ölçümlere alternatif bir yöntem olarak yerüstü su kalitesinin gözlemlenmesinde kullanılmaktadır. Uzaktan algılama yönteminin üstünlüklerinden biri de, çok geniş alanlarda dahi suyun jeofiziksel özelliklerinin neredeyse aynı anda gözlemlenmesine olanak tanımasıdır. Bu yöntem ile baraj gölünde biriken sedimentin belirlenmesi mümkündür. Uzaktan algılama sensörlerinin farklı çözünürlük değerleri kullanılarak baraj göllerindeki su kalitesinin ve asılı sediment konsantrasyonunun belirlenmesine yönelik literatürde birçok algoritma geliştirilmiştir.

Haznelerde birikmesi muhtemel sediment miktarının hesabı için uygulamalarda tuzaklama verimliliği, alan arttırma, deneysel alan-azaltma, sediment birikimi kotu ve çeşitli deneysel yöntemler de kullanılmaktadır. Bu yöntemler birbirleri ile benzerlik göstermelerine karşı farklı özelliklerdeki hazneler için farklı sonuçlar vermektedir. Bu nedenle uygulanacak olan metodun dikkatli bir şekilde seçilmesi gerekir.

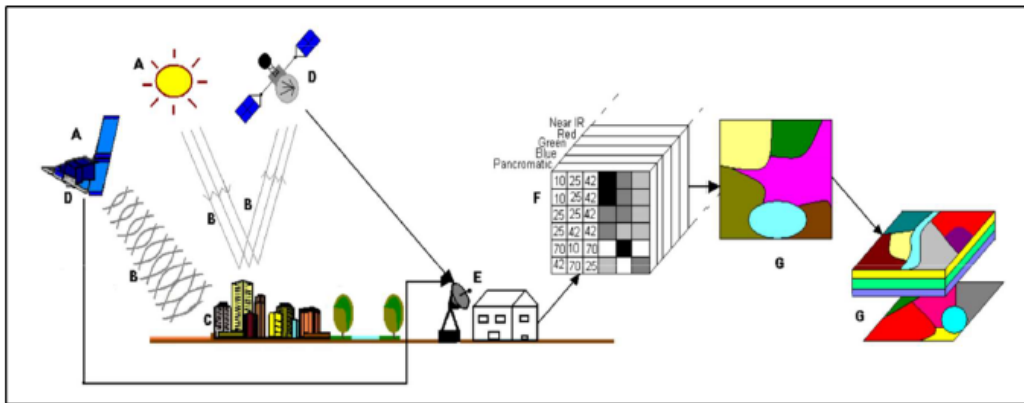
1.10. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama, bir nesnenin, alanın veya olgunun fiziksel temas olmadan uzaktan algılayıcılarla gözlemlenmesi ve ölçülmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu süreçte, genellikle uydu, uçak, drone veya diğer hava araçları üzerine monte edilen sensörler kullanılmaktadır.

1.10.1. Uzaktan Algılamada Sistem Bileşenleri

Uzaktan algılama bileşenleri (Şekil 5) aşağıda maddeler halinde açıklanmaktadır.

- Enerji kaynağı (A): Doğal ve yapay kaynaklardan oluşan bu bileşen uzaktan algılama sistemleri için büyük bir öneme sahiptir. Elektromanyetik enerjiyi üretmekte ve hedef alan üzerine göndermektedir.
- Radyasyon ve atmosfer (B): Üretilen elektromanyetik enerji atmosferde kaynaktan hedefe ve hedeften kaynağa doğru iletilmesi aşamasında çeşitli etkileşimler meydana gelmektedir.
- Hedef yüzey ile etkileşim (C): Yüzey ve radyasyon özellikleri ile bağlantılı olarak hedef yüzey üzerinden yansıyan/yayılan radyasyonun karakteristikleri değişim göstermektedir.
- Enerjinin sensör tarafından kaydedilmesi (D): Yüzey etkileşimi sonrasında sensör tarafından yeniden yayılan elektromanyetik enerji algılanmakta ve kaydedilmektedir.
- Gönderme, alma ve işleme (E): Elektronik formdaki enerji sensör tarafından algılanıp istasyonlara gönderildikten sonra veriler alıcılar aracılığıyla kaydedilip işlenilerek görüntü formatını almaktadır.
- Yorum ve analiz (F): İşlenmiş görüntü görsel, sayısal veya elektronik olarak yorumlanır. Hedef nesne ile alakalı bilgiler sinyal üzerinden çıkartılır.
- Uygulama (G): Son aşamada çeşitli yöntemler uygulanarak nesnelere ait bilgilerin kaydedilen görüntüler yardımıyla elde edilme ve sonrasında değerlendirilme aşamaları yapılmaktadır.



Şekil 5. Uzaktan algılama sistemi bileşenleri (Dilmen, 2023)

1.10.2. Su Kalitesi Gözlemlerinde Uzaktan Algılama Yöntemi

Günümüzün uzaktan algılama teknolojileri elektromanyetik spektrum optik bölümünden faydalanarak su kütlelerine ilişkin çeşitli biyo-optik parametrelerin tahmin edilmesine olanak tanımaktadır. Uzaktan algılama yöntemlerinin en önemli üstünlüğü yüksek konumsal ve zamansal çözünürlükte veri elde etme kabiliyetleri sayesinde geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha yüksek konumsal kapsam düzeyi ve düşük maliyetlere sahip olmasıdır.

Su kalitesine ilişkin parametrelerin uzaktan algılama teknikleri ile belirlenmesinde faydalanılan yaklaşımlar genel olarak analitik ve istatistiksel olmak üzere iki temel kategoride ifade edilmektedir. İstatistiksel yöntemlerin kullanılmasında en önemli gereksinim ise eş zamanlı yerinde veriye ihtiyaç duyulmasıdır (Ma & Dai, 2005).

Analitik yaklaşımlar ise elektromanyetik radyasyonun çeşitli etkileşimlerini ifade edebilen karmaşık biyo-optik modellerden faydalanmaktadırlar. Söz konusu modellerin kurulmasında su ortamıyla ilgili birçok parametreye ihtiyaç duyulmasından ötürü yöntemin kullanılması istatistiksel yaklaşıma nazaran oldukça zor ve maliyetlidir (Doxaran vd., 2006).

1.11. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği

10.08.2016 tarihli ve 29797 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” yerüstü suları ile kıyı ve geçiş sularının biyolojik, kimyasal, fiziko-kimyasal ve hidromorfolojik özelliklerinin belirlenmesi, sınıflandırılması, su kalitesinin ve miktarının izlenmesi amacını taşımaktadır. Bu yönetmelik sayesinde bu suların kullanım amaçlarının sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda korunması ve kullanımı arasındaki denge gözetilerek iyi su durumuna ulaşılması için gerekli tedbirlerin alınmasına yönelik usul ve esasların belirlenmesi hedeflenmektedir. Yönetmelik, yalnızca açık deniz dışındaki tüm yerüstü suları ile kıyı ve geçiş sularını kapsamaktadır (YSKY, 2016).

Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY, 2016) “Kıyı içi yerüstü su kaynaklarının genel kimyasal ve fizikokimyasal parametreler açısından sınıflarına göre kalite kriterleri” sınır değerleri Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Kıta içi yerüstü su kaynaklarının genel kimyasal ve fizikokimyasal parametreler açısından sınıflarına göre kalite kriterleri

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları			
	I (çok iyi)	II (iyi)	III (orta)	IV (zayıf)
pH	6-9	6-9	6-9	6-9
Eİ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	<400	1000	3000	>3000
Yağ ve Gres (mg/L)	<0.2	0.3	0.5	>0.5
ÇO (mg/L)	>8	6	3	<3
KOI (mg/L)	<25	50	70	>70
BOİ ₅ (mg/L)	<4	8	20	>20
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	<0.2	1	2	>2
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	<3	10	20	>20
TKN (mg N/L)	<0.5	1.5	5	>5
TN (mg N/L)	<3.5	11.5	25	>25
PO ₄ -P (mg/L)	<0.05	0.16	0.65	>0.65
TP (mg P/L)	<0.08	0.2	0.8	>0.8
Florür ($\mu\text{g}/\text{L}$)	≤ 1000	1500	2000	>2000
Mangan ($\mu\text{g}/\text{L}$)	≤ 100	500	3000	>3000
Selenyum ($\mu\text{g}/\text{L}$)	≤ 10	15	20	>20
Sülfür ($\mu\text{g}/\text{L}$)	≤ 2	5	10	>10

Kalite sınıflarına karşılık gelen sular için uygun olan su kullanım alanları aşağıda belirtildiği gibidir:

I. Sınıf: yüksek kaliteli su (I. sınıf su kalitesi “Çok İyi” su durumunu temsil etmektedir.);

İçme suyu olarak yüksek potansiyele sahip yüzeysel sular,

Vücut teması gerektiren rekreasyonel faaliyetler (örneğin yüzme) için uygun olan su,

Alabalık üretimi için uygun nitelikteki su,

Hayvan yetiştiriciliği ve çiftlik ihtiyaçları için kullanılabilecek su.

II. Sınıf: az kirlenmiş su (II. sınıf su kalitesi “İyi” su durumunu temsil etmektedir.);

İçme suyu olabilen yüzeysel sular,

Rekreasyonel amaçlara yönelik kullanılabilir nitelikte su,

Alabalık dışında balık üretimi için uygun olan su,

Mevcut mevzuat ile tespit edilmiş olan sulama suyu kalite kriterlerini sağlamak şartıyla sulama suyu.

III. Sınıf: kirlenmiş su (III. sınıf su kalitesi “Orta” su durumunu temsil etmektedir.);

Gıda, tekstil gibi nitelikli su gereksinimi olan tesisler hariç olmak üzere, uygun bir arıtma işleminden sonra su ürünleri yetiştiriciliği için kullanılabilir nitelikte su ve sanayi suyudur.

IV. Sınıf: çok kirlenmiş su (IV. sınıf su kalitesinde olması “Zayıf” su durumunu ifade etmektedir.)

III. Sınıfa ait kalite parametrelerinden daha düşük kalitede olan ve üst kalite sınıfına ulaşabilmesi için iyileştirme gerektiren yerüstü suları.

Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği “Göl, Gölet ve Baraj Gölleri Ötrofikasyon Kriterleri” sınır değerleri Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Göl, gölet ve baraj gölleri ötrofikasyon kriterleri (YSKY, 2016)

Trofik seviye	TN (mg/L)	TP (mg/L)	Chl-a (µg/L)	SDD (m)	ÇÖ (mg/L)
Oligotrofik	< 0.35	<0.010	<3.50	>4	>7
Mezotrofik	1.0	0.050	15	1.5	4
Ötrofik	1.5	0.100	25	1	3
Hipertrofik	>1.5	>0.100	>25	<1	<3

SDD: Seki disk derinliği

1.12. Su Kalitesi İndeksi

Su kalitesi indekslerinin temel amacı, su kalitesini temsil eden çok sayıda veriyi tek bir sayıya dönüştürerek su kalitesinin değerlendirilmesini basitleştirmek ve netleştirmektir. Bu tek sayı, çok miktarda sayısal bilgi içeren parametre listelerine göre bilgilerin daha kolay ve hızlı anlaşılmasını sağlarken; aynı zamanda su kalitesinin “mükemmel”, “iyi”, “kötü” gibi kategorilere ayrılmasına da olanak tanır (Şahin, 2018; Dede, 2017).

Su kalitesi indeksi (Water quality index, WQI) kullanımı; bilimsel temellerinin kolaylığını göz önünde bulundurarak, dünya genelindeki su kütlelerinin, özellikle de nehirlerin değerlendirilmesinde önemli ve yaygın bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu kavramın ilk kullanımından bu yana, birçok araştırmacı çeşitli indeksler formüle etmiş ve geliştirmiştir (Bilgin, 2018). İlk su kalitesi indeksleri, Horton (1965) ve Brown vd. (1970) tarafından önerilmiştir. Literatürde hesaplama yöntemlerine göre farklılık gösteren 21 adet çeşitli WQI mevcuttur (Uysal, 2015; Uddin vd. 2021). Dünyada en yaygın olarak kullanılan su kalite indeksleri Kanada su kalitesi indeksi (Canadian water quality index, CWQI), Oregon su kalite indeksi (Oregon Water Quality Index, OWQI), ağırlıklı aritmetik

su kalitesi indeksi (weighted arithmetic water quality index, WAWQI), British Columbia Index ve Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi (National Sanitation Foundation Water Quality Index, NSFWQI)'dir.

Bahsi geçen su kalitesi indekslerinin her biri kendi içerisinde farklı parametrelerden oluşmaktadır. Bu sebeple tez için kullanılan parametrelerin yer aldığı indeksler CWQI ve WAWQI olduğundan su kalitesinin değerlendirilmesinde bu indekslerin kullanımı üzerinde durulmuştur.

1.12.1. Kanada Su Kalitesi İndeksi (CWQI)

Kanada kanunları tarafından belirlenmiş bir yöntem olan CWQI su kalitesi bilgilerini hem yöneticilere hem de halka iletmek için kullanılır. Bu indeks, su kalitesi parametrelerinin örnekleme sıklığı, başarısız değişkenlerin sıklığı ve standartlara uygun olmayan değerlerin sapmalarına göre değerlendirme yapar (Şahin, 2018). Parametreler, bir örnekleme noktasından diğerine değişebilir ve örnekleme protokolü en az dört kez örneklenmiş en az dört parametre gerektirir. İndeks, 0-100 aralığında değişen bir ölçekte üç faktörden oluşmaktadır. Bu üç faktörün birleştirilmesi ile su kalitesi sınıfını kötüden mükemmel kaliteye doğru tanımlayan ve 0-100 aralığında olan tek bir sayı elde edilir. Bu yöntemde indeks değerleri Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanır ve elde edilen WQI değerleri Tablo 3'e göre değerlendirilir (Alver & Baştürk, 2019; Dede & Sezer, 2017).

$$CWQI = \left[100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right] \quad (1)$$

Birinci faktör (F_1) kapsam olarak adlandırılır. Standartlarda verilen sınır değeri aşan parametre sayısının toplam parametre sayısına oranının yüzde olarak ifade edilmesidir.

$$F_1 = \frac{\text{Başarısız parametre sayısı}}{\text{Toplam parametre sayısı}} \times 100 \quad (2)$$

İkinci faktör (F_2) frekans olarak adlandırılır. İzleme çalışmaları boyunca yapılan başarısız test sayısının toplam test sayısına oranının yüzde olarak ifade edilmesidir.

$$F_2 = \frac{\text{Başarısız test sayısı}}{\text{Toplam test sayısı}} \times 100 \quad (3)$$

Üçüncü faktör (F_3) genişlik olarak adlandırılır. Hedeflerin karşılanmadığı miktarı ifade eder ve üç adımda hesaplanır.

a) Değişken değerinin standartlarda verilen sınır değeri karşılamadığı test sayısı sapma olarak adlandırılır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

i) Değişken değerinin sınır değerden küçük olması gereken durumlar için;

$$sapma_i = \left(\frac{\text{Başarısız test değeri}_i}{\text{Sınır değeri}_i} \right) - 1 \quad (4)$$

ii) Değişken değerinin sınır değerden büyük olması gereken durumlar için;

$$sapma_i = \left(\frac{\text{Sınır değeri}_i}{\text{Başarısız test değeri}_i} \right) - 1 \quad (5)$$

iii) Sınır değerin sıfır olduğu durumlar için;

$$sapma_i = \text{Başarısız test değeri}_i \quad (6)$$

b) Bu aşamada, birinci adımda elde edilen sapmaların toplamının, sınır değeri karşılayan ve karşılamayan toplam analiz sayısına oranı tespit edilir. Bu oran normalleştirilmiş sapmalar toplamı (normalized sum of excursions, nse) olarak adlandırılır.

$$nse = \frac{\sum_1^n sapma_i}{\text{Toplam test sayısı}} \quad (7)$$

c) Son aşamada, nse değerlerinin sınır değerlerden 0-100 aralığına ölçeklendirilmesi ile F_3 Eşitlik (8) ile hesaplanır.

$$F_3 = \frac{nse}{0.01nse+0.01} \quad (8)$$

Tablo 3. Kanada su kalitesi indeksi ve karşılık gelen su kalite sınıfları (CCME, 2017)

İndeks değeri	Su kalitesi sınıfı
95-100	Mükemmel
80-94.9	İyi
65-79.9	Orta
45-64.9	Zayıf
0-44.9	Kötü

1.12.2. Ağırlıklı Aritmetik Su Kalitesi İndeksi (WAWQI)

Bu yöntem, birçok bilim insanı tarafından yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Yöntem, su kalitesini, yaygın olarak ölçülen su kalitesi değişkenlerine dayanarak saflık derecesine göre sınıflandırma yapmıştır.

Hesaplama yöntemi Eşitlik (9)'da verildiği gibidir.

$$WAWQI = \sum W_i Q_i / \sum W_i \quad (9)$$

Her parametre için kalite oranı (Q_i) Eşitlik (10) kullanılarak hesaplanır:

$$Q_i = 100[(V_e - V_i) / (V_s - V_i)] \quad (10)$$

Burada; V_e = deneysel değer V_i = ideal değer ($pH = 7$ ve çözülmüş oksijen = 14.6 mg/L), V_s = standart değer,

$$W_i = K / V_s \quad (11)$$

Burada; W_i = her parametre için birim ağırlık, K = orantısallık sabitidir ve Eşitlik (12)'ye göre hesaplanmaktadır.

$$K = 1 / \sum (1/V_s) \quad (12)$$

Tablo 4. Ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksi ve karşılık gelen su kalite sınıfları (Tyagi vd., 2013)

İndeks değeri	Su kalitesi sınıfı
0-25	Çok iyi
26-50	İyi
51-75	Orta
76-100	Kötü
>100	Çok kötü

Bu yöntemin üstünlükleri, birden fazla su kalitesi parametresinden matematiksel denklem yardımıyla elde edilen verinin su kaynağının kalitesini belirtmesi ve farklı parametrelerin bileşik etkisini, yani su kalitesinin değerlendirilmesi ve yönetimi için önemli olanı yansıtmasıdır. Ayrıca, genel su kalitesi bilgilerinin ilgili vatandaşlara ve yöneticilere iletilmesi konusunda faydalıdır (Sarıdoğan, 2019).

1.13. Trofik Seviye İndeksi (TSI)

Göl suyu kalitesinin belirlenmesi için Trofik Seviye İndeksi (TSI) kullanılır. Bu indeks, Seki diski derinliği (SDD), Chl-a, TP ve TN gibi parametrelerle hesaplanır (Carlson, 1977; Osgood, 1982; Carlson, 1983). Farklı birimlerde ölçülen bu parametreleri karşılaştırmak ve sınırlayıcı parametreyi belirlemek zor olabilir. Ancak TSI kullanımı bir gölü farklı parametreler açısından tüm parametreleri ortak bir skalada değerlendirme olanağı sağlamaktadır. Bu indeksle bir göldeki suyun kalitesini farklı parametrelerce değerlendirmenin yanı sıra, farklı göl sularının kalitesi de birbirleri ile tek bir skalada karşılaştırılabilir (Akyüz, 2016).

1.14. Literatür Araştırması

1.14.1. Bulanıklık ve Askıda Katı Madde Arasındaki İlişkinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar

Gao vd. (2008), Kaliforniya’da sulamanın hakim olduğu havzada bulanıklığın (T) asılı sediment konsantrasyonu (C) yerine kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Arazi çalışmaları ve laboratuvar türbidimetresi yardımıyla elde edilen veriler kullanılarak lineer olmayan T-C bağıntısı geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Partikül boyutlarının ve suyun renk değişiminin, zamansal ve yersel değişiminin bağıntı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca numune ölçümleri için gereken zaman ve kalibrasyon gibi laboratuvar işlemlerinin bağıntı üzerindeki olası etkileri analiz edilmiştir. Partikül boyut dağılımındaki değişimin T-C bağıntısının kontrolündeki ana unsur olduğu, suyun renk değişimi ve numune analizi gecikmelerinin T değerlerini önemli ölçüde etkilemediği, sulamanın hakim olduğu kurak bölgelerdeki havzalarda asılı sediment konsantrasyonu yerine bulanıklığın kullanılabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Petus vd. (2010), yaptıkları çalışmanın amacı, Adour kıyı bölgesinde T ve toplam asılı malzeme konsantrasyonları için algoritmalar geliştirmek ve bu iki parametreyi haritalandırmak için kullanılan atmosferik olarak düzeltilmiş Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer-Aqua (MODIS-Aqua) 250 m yüzey yansıma sonuçlarının (MYD09) kullanılabilirliğini test etmektir. Sonuçlar göstermiştir ki, çok terimli regresyon modellerini kullanarak T ve toplam asılı malzeme konsantrasyonları tahmini için MODIS-Aqua band 1 (620-670 nm) uygun iken band 2 uygun değildir.

Li vd. (2024), Çin'in güneybatısında bulunan Baisha Nehri'nde farklı yağış koşullarında AKM konsantrasyonu ve T arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. 2015-2021 yılları arasında sürekli olarak çalışma alanından veriler toplanarak, AKM konsantrasyonu ile T arasındaki doğrusal ilişkiyi tahmin etmek için üç yöntem kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları yağış koşullarının AKM konsantrasyonu ve T ilişkisi üzerindeki etkisini ortaya koymuş ve yüksek rakımlarda bulunan nehir havzalarındaki asılı sediment yükünün hızlı bir şekilde değerlendirilmesi için referans sağlamıştır.

1.14.2. Baraj Göllerinde Su Kalitesinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar

Varol vd. (2012), Dicle Nehri Havzası'ndaki üç büyük baraj gölü için su kalitesi üzerine yaptıkları çalışmada; barajlardaki su kalitesi parametreleri üzerinde kaynakların (doğal ve antropojenik) etkisini belirlemek ve yüzey suyundaki mekana ve zamana bağlı değişikliklerden sorumlu su kalitesi değişkenlerini belirlemek, izleme dönem ya da alanları boyunca benzerlikler ya da farklılıklar hakkında bilgi elde etmek için eldeki veri setleri farklı çok değişkenli istatistiksel tekniklere tabi tutulmuştur.

Elshehy & Meon (2017), Nil Nehri'ni kontrol etmek için inşa edilen ve dünyanın en büyük insan yapımı göllerinden olan Aswan Barajı haznesinin güney kısmı olan Nubia Gölü'nün su kalitesini ve trofik durumunu değerlendirmek için birbirini takip eden üç yıllık düşük taşkın dönemlerinde (2006–2008) karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. İki WQI (NSF WQI ve CWQI) ve iki TSI (Carlson TSI ve LAWA TSI) kullanılmış olup, sonuçlar Nubai Gölü'nün su kalitesi durumunun mükemmelden iyiye kadar değiştiğini, haznenin trofik durumunun ise ötrofik olduğunu göstermektedir. Haznenin morfolojik ve hidrolojik özelliklerinden dolayı sonuçlarda mekansal bir değişiklik fark edilebilir. Kapsamlı su kalitesi çalışmalarına dayalı olarak haznelerin farklı bölgelerinin farklı su kullanımlarına tahsis edilmesi önerilmektedir.

Al-Taani vd. (2018), bu çalışma Kral Talal Barajı'ndaki (Ürdün) mevcut su kalitesi koşullarını dikey profillere ve boylamsal araştırmalara dayanarak izlemeyi ve değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Kral Talal Barajı'nda su kalitesi parametrelerinin yüzey dağılımı mekana bağlı olarak değişiklik gösterirken, değişimler belirgin bir eğilim göstermemiştir. Baraj gölünde su kalitesindeki yanal ve yatay değişiklikler muhtemelen diğer faktörlerin yanı sıra fotosentez, örnekleme dönemi, Zarqa Nehri ve su derinlikleriyle bağlantılıdır. Baraj gölündeki su kalitesi parametrelerinin büyük çoğunluğu, ya yüzeyden derinlik arttıkça (t ve ÇO) hafifçe azalan ya da nispeten değişmeden kalan (ana iyonlar, eser elementler) dikey profiller gösterdi. Bu sonuçlar suyun muhtemelen dikey olarak karıştığını göstermektedir. Veriler ayrıca kaya ayrışmasının baraj gölünün su kimyasını belirleyen baskın bir süreç olduğunu gösterdi. Forsberg ve Ryding'in klorofil sınıflandırmasına göre, baraj gölü mezotrofik-ötrofik durumdadır.

Liv vd. (2019), yaptıkları çalışmada; 1992'den 2016'ya kadar yapılan ölçümlerde, Three Gorges rezervuar bölgesindeki KOİ ve TP konsantrasyonlarının su tutma işleminden sonra azaldığını göstermektedir. KOİ ve TP azalmalarına, öncelikle çökelmenin artmasına neden olan akıştaki azalmanın sebep olduğu düşünülmektedir. TN, çökelti birikiminden daha az etkilenmiş ve yoğun insan faaliyetleri nedeniyle az bir artış eğilimi göstermiştir.

Buta vd. (2023), çalışmalarında Turawa Haznesi'nde (Polonya) seçilen on beş örnekleme noktasından Ocak 2019-Kasım 2020 yılları arasında aylık periyotta numuneler almıştır. Turawa Hazne suyunun fizikokimyasal parametrelerinin mekansal ve zamansal analizi göstermiştir ki, özellikle turist yoğunluğunun yüksek olduğu alanlardan gelen azot ve fosforun etkisi ve Mala Panew Nehri'nden gelen kirlilik nedeniyle ötrofikasyon süreçlerine karşı yüksek bir hassasiyet ortaya çıkmıştır. Çoğu parametre için 2019 ve 2020 yıllarında en yüksek ortalama yıllık konsantrasyon değerleri temmuz ve ağustos aylarında kaydedilmiştir. Test edilen parametrelerin en düşük değerleri ise yaz aylarına göre düşük sıcaklıklar ve kötü ışık koşulları nedeniyle alg miktarının da azaldığı kasım ve aralık aylarında kaydedilmiştir. Sonuçlar, Turawa Barajı Haznesi'ndeki ana sorununun ötrofikasyon olduğunu göstermekte ve bu durum özellikle TP, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve KOİ konsantrasyonlarının artması ve çözünmüş oksijen (ÇO) konsantrasyonlarının azalmasıyla kendini göstermektedir.

Faye vd. (2023), Bafing Nehri (Afrika) üzerinde yer alan çok amaçlı Manantali Barajı'nda 1989 yılında su tutulduğundan beri haznedeki suyun fiziko-kimyasal kalitesindeki değişikliklerin takibini yapmıştır. Analiz sonuçları, incelenen parametrelerin

çoğunun, mevcut yüzey suyu standartlarına uygun olduğunu ve haznedeki suyun iyi kalitede olduğunu göstermektedir. Kaydedilen sıcaklıkların sudaki sucul organizmaların yaşamasına uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İletkenlik ve pH değerleri suyun çok mineralli olmadığını göstermekte ve bu da sudaki flora ve faunanın normal şekilde geliştiği anlamına gelmektedir.

1.14.3. Bulanıklık ve Katı Madde Tahmin Çalışmaları

Bor vd. (2010), yaptıkları çalışmada sediment taşınımı kinematik dalga yaklaşımı ile temsil edilmiş, kararsız ve dengede olan tek boyutlu bir model geliştirmişlerdir. Bu model ile Tahtalı baraj haznesine akan Tahtalı ve Şaşal derelerinde katı madde taşınımının modellenmesi yapılmıştır. Sayısal model bazı kolları katı madde birikiminin azalma gösterdikten sonra, belli bir süre sonra tekrar artışa geçtiğini göstermiştir. Bunun sebebi olarak diğer kolları katı madde varış zamanlarının farklı olması düşünülmüştür. Bir koldaki beslenme kesilince yatakta oyulma başlamakta ve tekrar başka koldan aktarım başladığında katı madde yığılmaya başlamaktadır. Sayısal model bulgularına göre, en fazla yığılma en uzun kolda gözlemlenmiştir.

Khan vd. (2019), Ramganga Nehri'nin (Hindistan) su debisi ile AKM konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi yapay sinir ağlarını (YSA) kullanarak modellemektedir. Modelleme yaklaşımı, debi ve AKM için Ocak 2008 ile Aralık 2010 döneminde toplanan zaman serisi verilerine dayanmaktadır. Farklı ağ yapılandırmalarına sahip üç YSA, Levenberg-Marquardt Geri Yayılım Algoritması kullanılarak geliştirilmiş ve eğitilmiştir. Ağlar, sıralama tekniği ile optimize edilmiş ve nihayetinde en iyi ağ 2011 yılı için AKM değerlerini tahmin etmek üzere kullanılmıştır. Bu şekilde elde edilen değerler, gözlemlenen AKM değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sadece Himalaya nehir senaryosunda YSA modellemesine dair bilgi sağlamakla kalmıyor; aynı zamanda modellemeye çalışmadan önce bir nehir havzasını ve AKM'yi etkileyen faktörleri anlamının önemine de odaklanmaktadır. Çalışma alanındaki zamansal farklılıklara rağmen çok basit YSA modelleriyle AKM konsantrasyonu değerlerinin modellenmesi ve başarılı bir şekilde tahmin edilmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Teixeira vd. (2020), benzer özelliklere sahip dört ayrı havzada yer alan tarımsal havzalardan elde edilen verilerle, AKM ve bulanıklığın simülasyonunu bölgeler arası bir model kullanarak incelemiştir. T için bulanık çıkarım sistemi (Fuzzy Inference System,

FIS) modeli en iyi performansı gösterirken, AKM tahmini aşamasında FIS ve YSA modelleri oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

Adda vd. (2024), düşük veri koşullarında YSA kullanarak Es-Saada Haznesi'ndeki (Kuzey-Batı Cezayir) sediment birikimini modellemeyi amaçlamışlardır. YSA modeli kalibrasyonu, 1986 ve 2000 yıllarında yapılan batimetrik araştırmalar arasındaki kronolojik döneme uygulanmış ve model doğrulaması 2003 yılında yapılan üçüncü bir araştırmadan elde edilen veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hazne yatağının simülasyonu, ölçülen verilere kıyasla kabul edilebilir sonuçlar vermiştir. Haznelerde sediment birikimini tahmin etmek için determinist modellerin kullanılmasının karmaşık ve tüm sistem detaylarını gerektirdiği, YSA uygulamasının ise baraj haznelerindeki sediment dağılımını ve hazne hacmindeki azalmayı yaklaşık olarak tahmin etmek için yeterli ve karmaşık olmayan bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

1.14.4. Askıda Katı Madde Takibi ve Tahmini Kapsamındaki Çalışmalar

Hassanzadeh (2007), Adji-Chai Nehri'ndeki (İran) asılı yük ve yatak yükünü tahmin eden deneysel bir formül vermiştir. Yarı- deneysel formülün ölçüm istasyonundan alınan verilerle uyumlu olduğu anlaşılmıştır.

Kumcu & Kökpınar (2009), çalışmalarında, sediment parçacıklarının hareket mekanizması, asılı sedimentin ölçülmesi, asılı sedimentin düşey ve yatay dağılımı, katı parçacık konsantrasyonu, numune alınacak kesitin belirlenmesi, numune alma yöntemleri ve sediment ölçümünde kullanılan cihazlar hakkında bilgi vermektedir.

Çokgör (2009), ilk olarak yatak yükü formülleri hakkında bilgi vermiş sonrasında asılı sediment yükü hesaplama yöntemlerini değerlendirmiştir. Ayrıca yatak yükü ve asılı yükü birlikte veren makroskopik yöntemleri de açıklamıştır.

Ali vd. (2012), yaptıkları çalışmada; Bhairab Nehri'nin (Bangladeş) Shiromoni ve Raligate noktasındaki farklı derinlik ve genişlikteki yerlerden su örnekleri toplamıştır. Bhairab Nehri'ndeki 12 aylık bir dönem için veri seti kullanılarak, AKM konsantrasyonundaki değişkenlik farklı zamansal ölçeklerde (aylık) analiz edilmiştir. Su örnekleri üç derinlik ve üç genişlik kesitinde toplanmıştır. Böylece her ay her noktadan dokuz su örneği alınmıştır. Su örnekleri toplandıktan sonra pH, tuzluluk ve AKM konsantrasyonu belirlenmiştir. AKM konsantrasyonunun derinliğe bağlı değişimi teorik standart dağılımlarla uyumlu hale getirilmiş ve bilinmeyen katsayılar belirlenip Jamuna

Nehri (Bangladeş) ile karşılaştırılmıştır. Tahmin edilen katsayı değerleri kullanılarak, Bhairab Nehri'nin herhangi bir derinliği için AKM değeri herhangi bir mevsimde alan ölçümleri yapılmadan hesaplanabilir duruma gelmiştir.

Boakye vd. (2022), Pra Nehri Havzası'ndaki (Ghana) sediment yük seviyelerini değerlendirmiş ve mekansal değişkenliklerini araştırmışlardır. Sediment verimini belirlemek için saha çalışmaları ve laboratuvar analizi gerçekleştirilmiştir. Askıda kalan sediment konsantrasyonları ve nehir debileri, havza içindeki dokuz hidrolik istasyonda ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Sonuçlar, havzadan elde edilen sediment verimlerinin oldukça yüksek olduğu ve katkıda bulunan drenaj havzalarına göre önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Alt havzalarda düşük akışlar için daha yüksek, yüksek akışlar için daha düşük sediment konsantrasyonları gözlemlendi. Bu değişkenlik, sadece nehir akıntısının nehir sedimantasyonu üzerinde baskın bir faktör olmadığını; bunun yanında arazi örtüsü etkisi, havza özellikleri ve faaliyetlerin de önemli olduğunu göstermektedir. Gözlemlenen sediment akışları ise sediment kontrol faktörleri hakkında daha iyi bir anlam sağlamaktadır. Dolayısıyla arazi kullanım faaliyetlerinin ve havza özelliklerinin nasıl bir etki yarattığını anlamak için bunların sediment tahmin modellerine dahil edilmesi önemlidir.

Mete ve Bayram (2024), Sera Gölü Havzası'ndaki tersip bentlerinin AKM taşınımı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Tersip bentleri ve Sera Gölü'nün konumları dikkate alınarak membadan mansaba doğru on adet AKM izleme istasyonu seçilmiştir. Seçilen istasyonlardan birinde su seviyesi izleme çalışmaları da gerçekleştirilmiş ve günlük debiler ile AKM yükleri hesaplanmıştır. Sera Gölü, AKM taşınımının %33'ünü tutarken, tersip bentlerindebu değer -25.8 ile %44 arasında değişiklik göstermiştir. Tersip bentleri AKM tutma konusunda orantılı olarak başarılı olsalar da havzadaki sedimantasyonu ve sediment taşınımından kaynaklanan sorunları önlemede yetersiz kalmışlardır.

Ogunkoya ve Ogbole (2024), yaptıkları çalışmayla Opa Haznesi'nin (Nijerya) askıda kalan sediment dengesini değerlendirerek yıllık tortulaşma oranını belirlemeyi amaçlamışlardır. 2017-2018 yılları arasında nehir debisi, su seviyesi, AKM konsantrasyonu ve akış hızları takip edilerek Opa Hazne alanı ve hazne mansabından veri toplanmıştır. Elde edilen su örnekleri gravimetrik analize tabi tutulmuş; elde edilen sonuçlar sediment değerlendirme eğrilerini oluşturmak ve AKM dengesini hesaplamak için kullanılmıştır.

1.14.5. Barajların Askıda Katı Madde Hareketine Olan Etkilerine Yönelik Çalışmalar

Hazne sedimentasyonu barajların projelendirilmesinde dikkate alınması gereken en önemli faktörlerden biridir. Akarsu havzasının ve yatağının erozyon ve sedimentasyon özellikleri ile ilgi veriler; baraj ömrünün, baraj ömrü için gerekli ölü ve aktif hazne hacimlerinin, baraj gövdesi boyutlarının, dolu savak gibi su alma yapılarının konumlarının ve baraj memba ve mansabında beklenen su seviyelerinin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir (Kayhan, 2001).

Yu vd. (2000), haznede ince sedimentin çökelme olayını incelerken; yarı homojen akıntı ve dalış kesiti ile ayrılmış bulanıklık akım bölgesini oluşturmak için laboratuvar çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmalarda asılı materyal olarak silis tozu ve kil kullanılmıştır. Kohezyonlu ince parçacıklar için hidrolik sınıflandırmanın tortulaşma için önemli olmadığı, ince kohezyonlu parçacıkların çökelme oranının; hem yarı homojen akış hem de bulanıklık akımı halinde akış yönünde arttığı, bulanıklık akımının çökelme alanında çoğunlukla kohezyonlu parçacıkların bulunduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Cesare vd. (2001), özellikle taşkın esnasında sediment konsantrasyonunun ve hazneye giren akıntının çevredekinden daha yoğun olduğuna, böylece askıdaki yükün hazne boyunca bulanıklık akımı şeklinde taşınabileceğine değinerek, bu fiziksel doğa olayını daha iyi anlamaya yardımcı olan araştırma sonuçlarını açıklamışlardır. Bunun için de arazi ölçümleri, bulanıklık akımlarının laboratuvar ölçekli modelleri ve sayısal akış modellemeleri esas alınmıştır. Sayısal model ve arazi gözlemleri, büyük taşkınların sebep olduğu bulanıklık akımlarının tabandaki sedimentin önemli miktarını sürükleyebileceğini ve akım içindeki bu sedimenti baraj yakınındaki biriktirme bölgesine taşıyabileceğini göstermiştir. Ayrıca, sayısal modelin hazne yönetimi için stratejik değerlendirme aracı olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Latifoğlu (2003), Kızılırmak üzerindeki Yamula Baraj Gölü'ndeki sediment dağılımını ve ölü hacmi incelemiştir. Çalışmada, United States Army Corps of Engineers (USACE) tarafından geliştirilen HEC-6 paket programı kullanılarak ölü hacim hesabı yapılmış ve klasik yöntemle karşılaştırılmıştır. HEC-6 sediment hesabında, kum, silt ve kil için zamana bağlı olarak farklı tutma yüzdeleri göz önüne alındığında klasik yöntemle göre daha küçük sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Odabaşı (2011), baraj haznelerinin ekonomik ömrü üzerinde etkili olan sediment birikimi problemi ile barajların ekonomik ömürlerini yeniden kazanabilmeleri için

sedimentin uzaklaştırılması ve kontrol edilmesi yöntemleri üzerinde durmuştur. Söz konusu yöntemlerin ülkemizde ve dünyada işletme halinde bulunan baraj haznelerindeki uygulanma şekilleri ve sonuçları da bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

Bayram vd. (2014), 143 km ana kol uzunluğunda ve 3,280 km² havza alanına sahip Harşit Çayı'nda AKM konsantrasyonu ve T arasındaki mekansal ve zamansal değişiklikleri, tüm insan faaliyetlerinin etkisini de dikkate alarak on istasyon için Mart 2009'dan Şubat 2010'a kadar on beş gün aralıklarla incelemiştir. Gümüşhane'den gelen evsel atık su deşarjının azalmakta olan debi ile özellikle yaz aylarında bulanıklığı ve AKM konsantrasyonunu önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. Torul Barajı uzun hidrolik bekleme süresinin etkisiyle AKM'nin %78.6'sını tutmayı başarırken aynı zamanda %66.6 oranında bulanıklığı azaltmış; ancak Kürtün Barajı'nda dip savakların çalıştırılması ile AKM salınmıştır. Son iki istasyon arasındaki kum-çakıl madenciliği katı madde ve bulanıklığı arttırmıştır.

Maloï vd. (2016), kapasite araştırması yöntemini kullanarak su kaynakları yönetimini izlemeye yönelik bir ölçü olarak Ruiru Haznesi'ndeki (Kenya) sedimentasyon oranını araştırdı. Su derinliği, teknenin yan tarafına takılan ve aynı zamanda dahili bir GPS alıcısı ile karşılık gelen coğrafi konumları kaydeden bir dönüştürücü kullanılarak ölçüldü. Su yüzeyinin yaklaşık 36 hektarını kapsayan 5000'e yakın noktada araştırma yapıldı. Haznede, beşi ilgili akarsuların girişine yakın konumda stratejik olarak seçilen toplam on bir çökelti numune alma noktası belirlendi. Hazne hacmi ve tahmini sediment hacmine göre depolama kapasitesi kaybının %13.1 olduğu görülmüştür. Yüksek sediment verimi oranına bağlı olarak yukarı havzada yüksek oranda sediment kaybı yaşandığı anlaşılmış ve bu durumun sebepleri ile iyileştirme stratejileri hakkında daha fazla araştırma yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Zheng vd. (2023), 2000-2020 yılları arasında Yellow Nehri'nin (Çin) membasındaki kademeli inşa edilmiş Sanmenxia ve Xiaolangdi Barajı'nın işletimi nedeniyle meydana gelen su ve sediment rejimindeki değişiklikleri analiz etmişlerdir. Hazneye giren ve çıkan su debisinin %50'den fazlasının 1,000 m³/s'den daha az olduğu, sedimentin %85'inden fazlasının daha büyük debilerle taşındığını tespit edildi. Xiaolangdi Haznesi'ndeki sedimentasyon deltasının barajın kapanmasından sonra hızla değiştiği ve yavaş yavaş stabil hale geldiği ve geometrik değişikliklerin aynı zamanda haznedeki sediment taşınımını da etkilediği sonucuna varılmıştır.

1.14.6. Askıda Katı Madde Tahmininde Kullanılan Diğer Yöntemler

Wren vd. (2000), çalışmalarında, AKM ölçümünün; taşınan ve çökelen katı maddenin tespit edilmesindeki önemine vurgu yaparak; AKM yükünü ve bazı durumlarda dane dağılımını ölçen tekniklerin çalışma ilkeleri, üstünlükleri ve sakıncaları hakkında bilgi vermektedir. Bu ölçüm tekniklerinden akustik teknoloji, akışı bozmadan konsantrasyon profilini ölçebildiği için diğer tekniklerden daha avantajlı kabul edilmektedir.

Heidarnejad vd. (2006), Karaj Baraj haznesinde (İran) sediment hacminin tahmini için hidrometri yöntemini kullanmışlardır. Haznelerde katı madde hacminin tahmini su kullanımı için önemli bir yönetim kriteridir. Bu maksat için hidrografi, uzaktan algılama, hidrometri, matematiksel ve bilgisayar destekli modelleri içeren pek çok yöntem kullanılmıştır. Tahmin hem asılı hem de tabandaki katı madde ölçümlerine dayanmaktadır. Bu çalışmada, Karaj Barajı'nın giriş ve çıkışındaki iki hidrometrik istasyonda uzun süreli hidrometrik veriler (1961-2000) ve Fleming bağıntısının düzeltilmiş şekli kullanılarak yıllık asılı sediment yükü tahmini yapılmıştır.

Meral vd. (2007), çalışmalarında, son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte askı halindeki sediment ölçümlerinde kullanılan, akustik yöntem metodolojisi ve iki farklı kalibrasyon yöntemi hakkında bilgi vermeyi amaçlamışlardır. Akustik yöntem yüksek frekanslı ses dalgasının su içersindeki yayılımına dayalıdır. Su içersine kesikli olarak gönderilen ses dalgaları, partiküllere çarparak yansımaktadır. Dönen yansımaların boyutu su içersindeki sediment konsantrasyonunu ifade etmekte kullanılmaktadır. Halen gelişmekte olan yöntemin farklı sediment materyali ve farklı su ortamı koşullarında kullanılabilme olanaklarının araştırılması gerektiği ve farklı koşullar dikkate alınarak yapılacak kalibrasyon çalışmalarının yöntemin güvenilirliğini arttıracak sonucuna varılmıştır.

Rai ve Kumar (2015), sedimentin etkilediği su kaynaklarının; doğru tasarım, işletme ve yönetim için sık ve hassas AKM konsantrasyonu verilerine ihtiyaç duyduğunu, geleneksel su örneği toplama yöntemlerinin ise bu kadar büyük miktarda AKM konsantrasyonu verisi sağlamak için yetersiz kaldığını belirtmiştir. Son zamanlarda akustik, optik, yoğunluk ve elektriksel özelliklere dayanan prensiplerin sürekli AKM konsantrasyonu verileri sağlama konusunda umut verici sonuçlar gösterdiğine vurgu yapılmıştır. Özellikle bazı teknolojiler bulanıklığa, lazer difraksiyonuna ve akustik geri

saçılmaya dayanmakta olup saha koşullarında yaygın bir şekilde uygulanmaktadır; diğerleri ise geliştirme aşamasındadır. Bu çalışma, bu teknolojilerin son gelişmelerine odaklanmakta olup temel çalışma ilkelerini, üstünlüklerini, saha uygulamalarını ve sınırlamalarını incelemektedir. Bu teknolojiler için önemli bir unsur olan kalibrasyon da ayrıntılı bir şekilde tartışılmaktadır. İnceleme, araştırmacılar ve uzmanlar için AKM konsantrasyonunu etkin ve sürekli izlemek amacıyla en uygun ölçüm teknolojisinin seçimine dair bir temel oluşturmaktadır.

Matos vd. (2024), su kalitesini gösteren önemli parametrelerden AKM konsantrasyonu ve bulanıklığı ele alarak, yerinde uygulamalarda kullanılan çeşitli yöntemler ve araçlar üzerine derinlemesine bir inceleme sunmuşlardır. Optik yöntem bu çalışmanın merkezinde olup, akustik yöntem gibi alternatif teknikler de ele alınarak; bu tekniklerin uygulamaları, kalibrasyon karmaşıklıkları ve pratik hususları açıklanmıştır. İnceleme, son teknoloji ürünlerinin ana başarılarını ve karşılaşılan zorlukları vurgulayarak alanın mevcut durumuna dair kapsamlı bir genel bakış sağlamayı hedeflemiştir.

1.14.7. Su Kalitesi İndeksinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar

Uysal (2015), 2013-2014 yılları arasında Eskişehir ilindeki altı göletten mevsimsel olarak toplanan yüzey suyu örneklerinde toplam katı madde, T, t (yüzey ve dip t farkı), pH, fekal koliform, ÇO, BOİ, TP ve toplam nitrat gibi parametrelerin analizini gerçekleştirmiştir. Sonrasında NSFWQI yöntemi kullanılarak WQI hesaplanmış ve ekolojik olarak değerlendirilmiştir.

Farzadkia vd. (2015), içme ve sulama tüketimleri için kullanılan Yamchi Barajı Havzası'nın (İran) su kalitesini değerlendirmek için CWQI kullanmışlardır. Ayrıca bu çalışmada Yamchi Barajı Havzası'ndaki kirlilik kaynakları sıcak ve soğuk mevsimler için ayrı ayrı araştırılmıştır. Ana kol ve yan kollarda seçilen dokuz istasyonda aylık periyotta dokuz ay boyunca (Ocak-Eylül 2011) 12 fizyokimyasal parametre ve iki biyolojik parametre ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar içme amaçlı kullanım için su kalitesinin kötü olduğunu gösterirken sulama için orta ve mükemmel kalitede olduğunu ortaya koymuştur. Su kaynağında su kalitesinin iyileştirilmesi için kentsel ve endüstriyel atıkların arındırılması gerekmekte olup, daha katı çevre mevzuatlarının hayata geçirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Gao vd. (2016), Three Gorges Haznesi'nde 2008-2013 yılları arasında 10 örnekleme noktası için 11 parametre seçerek çeşitli analiz yöntemleri ile analiz etmiştir. Çalışmada su kalitesini net bir şekilde belirtmek için CWQI kullanılmıştır. Sonuçlar; Three Gorges Haznesi'nde 2008'den 2013'e kadar su kalitesi ile ilgili durumun karışık ama istikrarlı ve kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Gübre ve pestisitlerin aşırı kullanımı sebebiyle, TN ve TP için artış eğilimi tespit edilmiş olup; haznenin su tutmasının mambadan mansaba ağır metallerin konsantrasyonlarının azalmasında önemli bir rol oynadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Dede ve Sezer (2017), Giresun ilinin Aksu Çayı'nda bulunan üç farklı istasyondan bir yıl boyunca her ay alınan 36 su kalitesi parametresini incelemiştir. Araştırma sonuçları, su kalitesi standartlarının belirlediği sınırların dışında kalan ÇO, fenol, E.coli ve T.coli gibi parametrelerin suyun ana kirleticileri olduğunu göstermiştir. Bu verilerin daha iyi anlaşılabilmesi ve yorumlanabilmesi amacıyla CWQI modeli kullanılmıştır. Ölçülen su kalitesi parametrelerine ait değerlerle karşılaştırıldığında, hesaplanan indeks değerlerinin mantıklı sonuçlar sunduğu gözlemlenmiştir. Üç istasyonun da indeks değerleri "zayıf" kategorisinde sınıflandırılmıştır.

Hansda vd. (2018), Khadakwasla Haznesi'nde (Hindistan) on yıllık bir dönem boyunca (Kasım 2003-Mayıs 2012) beş farklı istasyondan alınan numuneler üzerinde analizler gerçekleştirmiştir. Bu analizlerde su kalitesinin belirlenmesi için yirmi farklı su kalite parametresi incelenmiş ve Kanada Çevre Bakanları Konseyi su kalite indeksi (Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index, CCME-WQI) kullanılarak suyun kalitesi belirlenmiştir. Ayrıca düşük su kalitesine sahip olan istasyonlarda sınır değerleri aşan parametreler tespit edilmiş ve bu durumla ilgili alınabilecek önlemler hakkında bilgi verilmiştir.

Bilgin (2018), Çoruh Nehri Havzası'nda yer alan dört farklı istasyondan 2011-2014 yılları arasındaki dönemde elde edilen veriler kullanılarak su kalitesi değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmede CCME indeksi ve diskriminant analizi (DA) kullanılmıştır. Bakır madenciliğinden kaynaklı atık suyun 2 nolu istasyonun su kalitesini olumsuz etkilediği sonucuna ulaşılrken, Çoruh Havzası'nda DA ile su kalitesi belirlenmesinde kalsiyum ve sülfatın önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir.

Zotou vd. (2018), Yunanistan'daki Polyphytos Haznesi-Aliakmon Nehri için Haziran 2004- Mayıs 2005 arasındaki döneme ait su kalitesi izleme verilerine dayalı olarak yedi farklı WQI'nın karşılaştırmalı performansını değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Uygulanan

su kalitesi indekslerinden bazıları; CCME-WQI, WAWQI, Oregon WQI, NSFQI, Bhargava İndeksi şeklindedir. Farklı metodolojiler arasında sınıflandırma sonuçları açısından önemli farklılıklar gözlemlenmiş olup, Bhargava ve NSF indekslerinin yüksek kalite sınıflarında sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Şahin (2018), Porsuk Çayı'nın kaynağından Sakarya Nehri ile birleştiği noktaya kadar belirlenen istasyonlardan alınan su numunelerinde; CO_2 , t, T, pH, fekal koliform, BOİ ve toplam fosfat gibi parametrelerin analizlerini gerçekleştirmiştir. Bu analizlerin sonucunda, suyun kalitesi NSFQI kullanılarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, çalışmada günümüzde önem taşıyan konulardan biri olan göllerin trofik seviyesinin belirlenmesi amacıyla Porsuk Baraj Gölü'nün trofik seviyesi de değerlendirilmiştir.

Güneş (2019), Bartın Nehri'nin su kalitesi üzerinde yağışlı ve kurak dönemlerin fizikokimyasal parametreleri ile olan ilişkisini araştırmıştır. Bu nedenle temmuz ve ağustos ayları kurak dönemi, kasım, aralık ve şubat ayları ise yağışlı dönemi temsil etmek üzere örneklem zamanları olarak seçilmiştir. AKM, fosfat, TÇKM, pH, elektriksel iletkenlik (EI), nitrat (NO_3) ve sülfat (SO_4) takibi yapılan su kalitesi parametreleridir. Horton Metodu'na göre pH, NO_3 , SO_4 , KOİ ve TÇKM için su kalite indeksi hesaplanarak sonucunda yağışlı dönemde WQI değerinin kurak döneme göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Şiddetli yağmurun nehirde AKM'yi arttırarak bulanıklığı da arttırdığı görülmektedir. Yağış sularının taşıdığı partiküllerin su kalitesini olumsuz etkilediği sonucuna varılmasına rağmen uygun su arındırma teknolojileriyle bu suyun kullanılabilir hale getirilebileceği belirtilmiştir.

Alver ve Baştürk (2019), Aksaray ilinin içme su kaynaklarından biri olan Karasu Nehri üzerinde belirlenen yedi noktadan, özellikle şehir yaşamı ve sanayinin etkisinin hissedilebileceği alanlara yakın bölgelerden, farklı mevsimlerde her ay örnekler alarak bir çalışma gerçekleştirmiştir. Alınan bu örnekler, ulusal yönetmelikler ve üç farklı su kalite indeksi modeli CCME-WQI, NSFQI ve OWQI kullanılarak değerlendirilmiştir. Model sonuçlarına göre Karasu Nehri'nin su kalitesi, NSFQI için "orta", CCME-WQI ve OWQI içinse "kötü" olarak tespit edilmiştir.

Sarıdoğan (2019), Musaözü Baraj Göleti'nin su kalitesinin değerlendirilmesi ve kalite sınıfının belirlenmesini su kalite indeksine göre yapmıştır. Çalışma kapsamında t, CO_2 , T, pH, fosfat, NO_3 , fekal koliform ve BOİ gibi parametreler analiz edilmiştir. NSFQI kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda, Musaözü Baraj Göleti'nin su kalitesinin "orta" ile "iyi" arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Son vd. (2020), Vietnam'ın kuzeyindeki en uzun nehirlerden biri olan Cau Nehri'nin su kalitesini değerlendirmek ve karakterize etmek için su kalite indeksi ve kirlilik indeksi kombinasyonunu kullanmayı amaçlamaktadır. Beş farklı su kalitesi ve su kirliliği indeksi kullanılmıştır: WQI, kapsamlı kirlilik indeksi, organik kirlilik indeksi, ötrofikasyon indeksi ve iz metal kirliliği indeksi. Su kirliliği indeksleri, nehrin aşağı akışında daha ciddi kirlenmeyi göstermektedir. Özellikle, kapsamlı kirlilik indeksi ve organik kirlilik indeksi ötrofikasyon riskinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışma, su kalitesi analizinin su kullanım amaçları için karar vermede bir seçenek olabileceğini gösterirken, tek bir indeksin su kalitesinin mevcut durumunu gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Kaçan (2020), Fethiye İç Körfezi kıyı sularının su kalitesini değerlendirmiştir. On dört farklı istasyondan bir yıl boyunca toplanan veriler kullanılarak, Matrix Laboratory (MATLAB) yazılımı aracılığıyla parametre kalite değerleri hesaplanmıştır. Kapalı kıyusal alanın su kalitesini analiz etmek için farklı parametre grupları seçilerek çeşitli su kalite indeksleri uygulanmıştır. Ağırlıklı ortalama, ağırlıksız ortalama ve ağırlıksız harmonik kare ortalama su kalite indeksleri kullanılarak su kalitesi karşılaştırılmıştır. Şubat ayında su kalite indeks değerleri en yüksek seviyede (86.1-82.4) çıkarken, ağustos ayında bu değerler en düşük seviyeye (62.7-80.1) gerilemiştir.

Titiz (2020), İpsala ilçesindeki içme suyunun kalitesini değerlendirmiştir. Bu amaçla, kırk beş istasyondan toplanan su numunelerinde on beş farklı su kalite parametresi analiz edilmiştir. Verilerin daha etkili bir şekilde yorumlanabilmesi için WQI dahil çeşitli değerlendirme kriterleri uygulanmış ve çalışma sonunda İpsala ilçesinin içme suyunun içilebilir durumda olduğu sonucuna varılmıştır.

de Oliveira vd. (2021), Brezilya'da Irapé Hidroelektrik Santrali (HES) haznesi ve haznenin ana kollarının su kalitesinin mekana ve zamana bağlı değişimini, 2008-2018 yılları arasındaki verilerle istatistiksel yöntemler ve CCME-WQI kullanarak değerlendirmişlerdir. Hazne ve çevresindeki en büyük antropojenik baskı noktalarının belirlenmesi, doğal etkilerin değerlendirilmesi ve hazne ile kollarındaki kirleticilerin zamansal dinamiklerinin anlaşılmasına yardımcı olmak amacıyla istatistiksel analiz ve CCME-WQI birlikte uygulanmıştır. Çalışmada baskın kirletici kaynaklarına odaklanıldığından hazne su kalitesi yönetimi için yararlı sonuçlar elde edilmiştir.

Umwali vd. (2021), Muhazi Gölü'nde (Ruanda) arazi kullanım türlerine göre su kalitesinin mekansal-mevsimsel değişimini değerlendirmeyi amaçlamış olup, kurak ve yağışlı mevsimler için on iki istasyondan alınan göl suyu örneklerinden ölçülen

parametreler için NSFQWI kullanılarak antropojenik su kalitesi değişiklikleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, bölgedeki yağışların su kalitesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğunu ve bunun çalışma alanının giriş ve çıkışındaki suyun kalitesiz durumu ile doğrulanabileceğini göstermektedir.

Maansi vd. (2022) tarafından, Sukhna Gölü'nün (Hindistan) Temmuz 2016-Haziran 2018 dönemi boyunca yüzey suyu kalitesinin değerlendirilmesi için on üç fiziko-kimyasal parametre kullanılarak CCME-WQI, WQI ve kapsamlı kirlilik indeksi (CPI) hesaplanmıştır. Araştırma sonucunda; genel olarak su kalitesinin ilk yıla kıyasla ikinci yıl boyunca kötüleştiği, yağışlı dönemlerde su kalitesinin kurak dönemlere kıyasla daha iyi olduğu tespit edilmiş ve gln düzenli olarak izlenmesi önerilmiştir.

Küçükönder vd. (2022), CWQI, uygulama kolaylığı ve modele eklenmesi gereken su kalitesi parametrelerinin esnek bir şekilde seçilebilmesi nedeniyle Kılavuzlu Baraj Gölü'nde tek bir su kalite sınıfı belirlemek amacıyla kullanmıştır. 2018 yılında, Kılavuzlu Baraj Gölü'nde mevsimsel olarak nisan, ağustos ve kasım aylarında 11 farklı noktadan yerinde ölçümler yapılarak su numuneleri toplanmıştır. Bu numunelerde t, toplam karbon, pH, inorganik karbon, NO₃, TOK, amonyum (NH₄) ve SO₄ gibi fiziko-kimyasal parametreler analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre haznenin t, pH, SO₄ ve NO₃ değerlerinin I. kalite su sınıfına, NH₄ değerlerinin ise IV. kalite su sınıfına girdiği tespit edilmiştir. NH₄ ve TOK parametrelerinin referans değerlerin üzerinde olması nedeniyle, CWQI'ne göre haznenin suyu "kötü" sınıfına dahil edilmiştir.

Roy ve Majumder (2022), Deepor Beel Gölü'nün (Hindistan) genel su kalitesini 2014-2016 yılları arasında değerlendirmiştir. Bu değerlendirme sırasında CCME, NSF ve Ağırlıklı rn Yöntemi Su Kalite İndeksi (WPM) yöntemlerini kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, su kalitesi CCME indeksine göre mkemmelken, NSF ve WPM indekslerine göre gln kalitesinin iyi olmadığı belirlenmiştir. CCME indeksinin mevsimsel ve yıllık dalgalanmalar konusunda başarısız olurken NSF ve WPM' nin bu konuda başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Uslu (2022), Aksu ayı ve Acısu Deresi üzerinde bulunan 24 izleme noktasında, Eylül 2020-Eylül 2021 dönemleri arasında aylık olarak bir yıl boyunca su kalitesi izleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin yorumlanmasında CCME-WQI, sucul toksisite indeksi (aquatic toxicity index, ATI), Su Kalitesi Değerlendirme Sistemi (SEQ-Eau) ve NSFQWI olmak üzere dört farklı indeks yöntemi karşılaştırmalı olarak

uygulanmış ve çalışılan bölgelerin su kalitesini sınıflandırma amacıyla en uygun indeks yöntemi belirlenmiştir. Korelasyon analizi sonuçları da en uygun indeks yönteminin belirlenmesinde dikkate alınmıştır.

Şimşek vd. (2022), Orta Karadeniz Bölgesi, Samsun'daki Kızılırmak ve Yeşilirmak nehirlerinin fizikokimyasal özelliklerini ve su kalitesini belirlemek amacıyla bir araştırma gerçekleştirmiştir. Dört mevsimi kapsayacak şekilde ekim 2018 ve ağustos 2019 tarihleri arasında örneklemeler yapılmıştır. Araştırmanın bulguları YSKY'ye göre değerlendirilmiştir ve mevsimsel olarak WQI'ne göre incelenmiştir. YSKY'ye göre değerlendirildiğinde; Kızılırmak'ın I. ve II. sınıf, Yeşilirmak'ın ise II. ve III. sınıf su kalite özelliği taşıdığı görülmüştür. WQI sonuçlarına göre; Kızılırmak ilkbahar mevsiminde “zayıf”, Yeşilirmak ise sadece kış mevsiminde “iyi” diğer dönemlerde “zayıf” ya da “çok zayıf” olarak değerlendirilmiştir. Bulgular, Kızılırmak'ın içme suyu, sulama suyu ve endüstriyel kullanım için uygun olduğunu ancak Yeşilirmak'ın sadece sulama amaçlı kullanım için uygun olduğunu ortaya koymuştur.

Canbaz (2022), Edirne'nin Lalapaşa İlçesi'ndeki içme suyu kalitesini hem ekolojik hem de istatistiki açıdan değerlendirmiştir. Değerlendirme, bazı limnolojik parametreler ve WQI kullanılarak yapılmış, ayrıca Faktör Analizi (FA) ve Pearson Korelasyon İndeksi (PCI) gibi istatistiksel yöntemler de kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, Lalapaşa İlçesi ve bağlı köylerden toplamda yirmi sekiz istasyondan 2020 yılı yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde içme suyu örnekleri toplanmıştır. Bu örneklerde; AKM, T, ÇO konsantrasyonu ve doygunluğu, pH, Eİ, TÇKM, SO₄, tuzluluk, NO₃, nitrat azotu, nitrit azotu, nitrit (NO₂), fosfat ve fosfor pentaoksit gibi 15 su kalite parametresi analiz edilmiştir. Sonuç olarak, Lalapaşa İlçesi ve bağlı köylerde azot ve fosfor bileşenlerinin yüksek seviyelerde bulunmasına rağmen, tespit edilen WQI değerlerinin içme suyu sınırlarını aşmadığı bulunmuştur.

Shanmugasundharam (2023), yaptığı çalışmada Karamana Nehir Havzası'nda (Hindistan) 2022 yılında nehir suyunu değerlendirmek için örnekleme noktalarından yirmi numune alınmıştır. Değerlendirmede WQI ve çok değişkenli istatistiksel yaklaşımlar kullanılmış olup, antropojenik faaliyetlerin baskın olduğu orta ve aşağı havza bölgelerinde suyun kalitesinin kabul edilebilir sınırdan olduğu tespit edilmiştir.

Selvi (2023), Akgöl'ün su kalitesini değerlendirmek ve Su Kirliliği Yönetmeliği'ndeki değerlerle karşılaştırmak amacıyla Eylül 2021 ile Ocak 2022 tarihleri arasında gölün iki farklı noktasından ayda iki kez su numunesi almıştır. Bu numunelerde

19 farklı parametre (AKM, CO , t, pH, TN, TP, SO_4 , klorür, florür, NO_2 -nitrat azotu, toplam kjheldal azotu, KOİ, BOİ, TOK, yağ-gres, fenol, mineral yağlar ve türevleri) analiz edilmiştir. Akgöl'ün su kalitesini belirlemek için yapılan bu analizlerin sonucunda, fenol, CO , nitrit azotu ve nitrat azotu açısından 1. sınıf; kimyasal oksijen, klorür ve florür açısından 2. sınıf; toplam fosfor ve BOİ açısından 3. sınıf; SO_4 , TOK, toplam kjheldal azotu, yağ-gres, mineral yağlar ve türevleri açısından ise 4. sınıf su kalitesi tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca iki değerlendirme kriteri WQI ve CCME-WQI kullanılmış olup, ilk kriterde İstasyon 1 için WQI değeri 956.74, İstasyon 2 için ise 972.13 olarak belirlenmiştir. Her iki istasyon için de su kalitesinin çok düşük olduğu ve sadece sulama amaçlı kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde, ikinci kriterde ise İstasyon 1 için CCME-WQI değeri 24.71, İstasyon 2 için ise 24.94 olarak hesaplanmış ve yine su kalitesinin çok düşük olduğu, bu nedenle sadece sulama amaçlı kullanılması önerilmiştir.

Güloğlu vd. (2023), Adana İli su kalite indeksini belirlemeye çalışmıştır. Bu amaçla Adana İli'ne su sağlayan şebekelerden su numuneleri alınmıştır ve bu numunelerde 15 farklı su kalite parametresi (T, CO , pH, TÇKM, Eİ, klorür, alüminyum, NO_3 , SO_4 , magnezyum, fosfat, sodyum, demir ve kalsiyum) analiz edilmiştir. Eldeki verilere göre su kalite indeksi, CWQI ve British Columbia WQI metodu ile belirlenerek irdelenmiştir. Sonuçlar CWQI su kalite indeksinin 84.6, British Columbia su kalite indeksinin ise 81.6 olduğunu göstermektedir. Yapılan çalışmayla, Adana ilinde içme suyu kalitesinin "iyi" olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sezer (2024), Rize'deki üç dereye ait su numunelerini belirli kirleticiler ve öncelikli maddeler açısından incelemiş ve su kalitesini CWQI modeli ile hem yıllık hem de mevsimlik olarak değerlendirmiştir. Bir yıl boyunca 184 farklı parametre çalışılmış ve yaklaşık 6000 veri toplanmıştır. Verilerin doğru ve anlaşılır bir şekilde analiz edilebilmesi için CWQI modeli tercih edilmiştir. Yıllık değerlendirme sonunda, incelenen tüm derelerin su kalitesi "iyi" olarak sınıflandırılmıştır.

1.14.8. Uzaktan Algılama Yöntemleri Kullanılarak Su Kalitesi Parametrelerinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar

Dekker vd. (2001), çalışmalarında Hollanda'daki güney Frisian Gölleri için uzaktan algılama verileri ile kombine edilen bir boyutlu su kalitesi modeli (SOBEK) ve arazi verileri ile ilgili uygulamayı sunmaktadır. Uzaktan algılama verileri (Landsat-TM5 ve SPOT-HRV) atmosferik olarak düzeltilmiş ve toplam asılı malzeme haritalarına dönüştürülmüştür.

Wang vd. (2001), Taihu Gölü'nde (Çin) su kalitesi tahmin ve değerlendirmeleri için uzaktan algılama verileri ile sınırlı örnekleme verilerini kullanmışlardır. Su kalitesi çalışmalarında genellikle tek band kullanılmasına rağmen; bu çalışmada Landsat TM bandları ile ilgili kombinasyonlar denenerek su kalitesi parametreleri hakkında daha fazla bilgi sağlanmaya çalışılmıştır.

Doxaran vd. (2002), Gironde koyunda yoğun bulanıklıktaki suların uydu verilerini geliştirilen deneysel yöntemle değerlendirmiş ve uzaktan algılama yansıma verileri ile asılı malzeme konsantrasyonu arasında bağıntı kurmuşlardır. En iyi korelasyonlar NIR band XS3 (790-890 nm), $R_{rs}(XS3) / R_{rs}(XS1)$ ve $R_{rs}(XS3) / R_{rs}(XS2)$ yansıma oranları için elde edilmiştir. Nehir ağzında yüzey sularındaki AKM konsantrasyonları ± 35 doğrulukla 2000 mg/L'ye kadar belirlenmiştir.

Jain & Singh (2002), Satluj Nehri üzerinde Bhakra Haznesi'nde (Hindistan) sedimentasyonu belirlemek için uzaktan algılama yöntemini kullanmışlardır. Çok zamanlı uzaktan algılama verileri (IRS-1B, LISS II) sedimentasyon oranının hesaplandığı haznenin su yayılımı hakkında bilgi sağlamıştır. Sonuçlar göstermiştir ki; uzaktan algılama yöntemi esas alınarak belirlenen sedimentasyon oranı, hidrografik çalışmalardan elde edilen sonuçlara yakındır.

Li vd. (2003), dip yansımali sığ sular ve bulanık sulardaki asılı sedimentli alanları tanımlamak için geniş spektral aralıklı deneysel bir algoritma geliştirmişlerdir. Yöntem farklı atmosferik koşullarda ölçülen birçok MODIS verileri analizlerini esas alarak geliştirilmiştir. Farklı coğrafik bölgelerden elde edilen bütün MODIS görüntüleme veri kümelerine yöntem uygulandığında oldukça güvenilir sonuçların elde edileceği görülmüştür.

Liu vd. (2003), çalışmalarında kapsamlı bir şekilde su kalitesi parametrelerinden; inorganik sediment partikülleri, plankton pigmentleri, renkli çözünmüş organik materyal ve seki disk derinliğinin ölçümünü değerlendirmektedirler. Çalışmada, en uygun sensör

verilerinin seçilmesi gibi gereksinimlerin belirlenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Konuyla ilgili, uygulamanın belirlenmesi ve ölçüm sonuçlarındaki farklılığın belirlenmesi gibi faktörlerde detaylı bir şekilde tartışılmıştır. Bu inceleme göstermiştir ki, yersel örneklemeler ve onlarla ilgili uzaktan algılama verileri arasındaki ilişki lineer olabilir ya da olmayabilir; fakat çoğunlukla bu ilişki incelenen alana özeldir. Asılı sediment ile klorofil konsantrasyonları için ölçüm; uzaktan algılama verileri, yersel su numuneleri ve coğrafik bilgi sistemindeki yardımcı verilerin bütünleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Coğrafik bilgi sistemlerinin kullanılması birçok değişken için ölçümün yapılabilirliğindeki doğruluğu arttırmıştır.

Hellweger vd. (2004), New York Limanında su kalitesi çalışmaları için uydu görüntülerinin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Arazi ölçümlerinden elde edilen veriler Landsat Thematic Mapper (TM) ve Terra MODIS algılayıcılarından elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Hudson Nehri sedimentinin etkilediği bölgelerde Landsat TM kırmızı yansıma T ile ilişkilidir. Hudson Nehir ağzında bu ilişki dikkate alınarak T haritalandırılmıştır.

Miller & McKee (2004), MODIS 250 m verilerinin kullanılabilirliğinin kıyı sularındaki analizi için Meksika Körfezi'nin kuzeyini çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Altı ölçüm alanından elde edilen toplam asılı malzeme ile ilgili arazi ölçümleri ve band 1 (620-670 nm) MODIS Terra 250 m verileri arasında lineer bir bağıntı kurulmuştur.

Li (2004), göl su berraklığını gözlemlemek için uzaktan algılama esaslarını açıklamış ve bu alanda daha önce yapılmış araştırmalarla ilgili genel bir bakış yapılmaya çalışılmıştır. Seki disk derinliği ve uzaktan algılama görüntüleri arasındaki analiz ile; su berraklığını görüntülemek için uzaktan algılamanın uygun bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Wang vd. (2004), Çin'de Shenzhen'deki haznelerde su kalitesindeki değişimi, yersel veriler ve uydu verilerinin sentezlenmesi ile 1988 ve 1996 yılları için belirlemişlerdir. 1996 yılının kışına ait bir adet TM görüntüsü elde edilmiş ve eş zamanlı yersel ölçüm, örneklem ve analiz yapılmıştır. TM bandlarının kalibre edilmiş görüntü verileri ve su numunelerinin laboratuvar analiz verileri arasındaki istatistiksel bağıntı göstermektedir ki, TM band 1'den band 4'e kadar yansıtma çarpanı ile toplam organik karbon (TOK), BOİ ve KOİ gibi organik kirlilik ölçümleri arasında iyi bir korelasyon vardır.

Peng vd. (2005), göre geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında uzaktan algılama verilerini esas alan yöntem, hazne işletme ve yönetiminde faydalı olabilecek daha çok bilgi

sağlar. Landsat verilerine dayanarak, yeni depolama eğrisi elde etmek için Fengman Haznesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Tasarlanmış depolama eğrisi ve yeni hesaplanmış eğriye dayanarak 1958'den 1986'ya kadar kurak mevsimlerde hazneye giren akımlar hesaplanmıştır.

Hadjimitsis vd. (2005), Landsat-5 TM ve Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper (ETM)'nin Kourris Barajı (Kıbrıs) boyunca T ölçümleri için kullanılıp kullanılamayacağını araştırmışlardır. Uydu geçişi sırasında, çalışma alanına ait T ölçümlerine karşılık atmosferik düzeltilmiş yansıtma verileri arasındaki bağıntı lineer regresyon analizi uygulamaları ile kontrol edilmiştir. En anlamlı korelasyon TM band 3 yansıtma çarpanı ve TM band 3 logaritmik yansıtma çarpanı T ölçümleri ile ilişkilendirildiğinde oluşmuştur. Farklı mevsimlerdeki spektral özelliklerden en yüksek yansıtma çarpanı değerlerinin kışın gözlemlendiği sonucuna ulaşılmıştır.

Stefouli vd. (2005), Landsat ETM ve ASTER uydu verilerini kullanarak Vegoritis Gölü'nün ekosisteminin mekan-zamansal görüntülerine ilişkin anlamlı bilgi çıkarmaya çalışmışlardır. Asılı sediment içeriğinin uydu görüntülerinden analizinden; mavi-yeşil renklerin kısmen düşük sediment içeriği gösterirken, kırmızı-sarı renklerin yüksek sediment içeriği gösterdiğini belirlemişlerdir.

El-Masri & Rahman (2006), çalışmalarında MODIS ile elde edilen uzaktan algılama verilerini kullanarak T, TP ve klorofil tahmini yapmaktadır. Kemp Gölü (Teksas) arazi ölçümlerindeki veriler 2006 Haziran ve Ekim'inde ve yansıtma çarpanı verileri Mayıs 2001'den Ocak 2002'ye kadar toplanıp, su kalitesi parametreleri için spektral göstergeler hesaplanmıştır. Klorofil ve TP konsantrasyonları arazi verileri ile lineer bir ilişki gösteren sırasıyla $(MOD1-MOD14) / (MOD14+MOD2)$ ve $MOD12 / MOD13$ oranları kullanılarak belirlenmiştir. Bulanıklık ise $(MOD2-MOD15) / (MOD13 \times MOD12)$ oranı kullanılarak belirlenmiştir. Klorofil ve T arazi ölçümleri iyi bir korelasyona sahipken, TP'nin düşük korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir. TP ve T için olduğu gibi klorofil için de MODIS verilerinden haritaların oluşturulabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Sterckx vd. (2006), uzaktan algılama görüntülerinden asılı sediment haritaları temin etmek için Operational Remote Sensing Mapping of Estuarine Suspended Sediment (ORMES) projesi kapsamında bu çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Çalışma alanı Belçika yakınlarında Belgian Scheld nehir ağzının bir kısmıdır. Yakın yüzey askı halindeki katı madde miktarının haritasını oluşturabilmek için güvenilir bir yarı deneysel algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma gelgitel döngünün farklı safhalarında elde edilen

hiperspektral hava verilerinin bir serisine uygulanmıştır. Oluşturulan haritalar, gelgitsel döngüde askı halindeki katı madde içeriğinin bilinen değişimleriyle iyi uyum göstermiştir. Üretilen haritalardaki nehir kesitindeki farklılıklar önceki arazi çalışmalarında ölçülen değişikliklerle uyumludur.

Robles vd. (2006), yeryüzü gözlemine dayanan yöntemi kullanarak, bir grup haznedeki su kalitesi denetimi ile ilgili basit bir yöntem geliştirmeye çalışmışlardır. Çalışma Ebro Havzası'ndaki 42 haznede gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem, Landsat 5 TM bandları yansım oranları aracılığıyla su kalitesi tahmini yapmak için geliştirilen algoritmayı esas almaktadır. Bağımlı değişkenin en iyi tahmini, bağımsız değişkenler TM2 ve TM1 / TM2 ile açıklanmıştır.

Alparslan vd. (2007), Ömerli Barajı su kalitesini, Mayıs 2001'de elde edilen Landsat 7-ETM'nin ilk dört bandına ait verileri uydu görüntülerinin alındığı tarihte Ömerli Barajı'nın farklı ölçüm istasyonlarında ölçülen Chl-a, AKM ve toplam fosfat gibi su kalitesi parametrelerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Su kalitesi parametrelerine ait arazi ölçümleri ile uydu görüntülerindeki piksel yansıtma çarpanı değerleri arasında kurulan bağıntıdan; Ömerli Barajı için Chl-a, AKM ve toplam fosfat haritaları oluşturulmuştur.

Sterckx vd. (2007), hiperspektral havadan gözlem verileri ve arazi verilerini birleştirerek, gelgitten etkilenen Scheldt Nehri'nde (Belçika) alansal ve zamansal sediment dinamiklerini incelemişlerdir. Yakın infrared yansım farklılığı ve toplam asılı malzeme arasında log-lineer deneysel bir bağıntı geliştirilmiştir.

He vd. (2007), yaptıkları çalışmada uzaktan algılama aracılığıyla ve Landsat 5 TM verileri kullanılarak, su kalitesi ile ilgili modeller geliştirmiş ve yosun içeriği, T, oksijen ihtiyacı, TN, çözülmemiş fosfat, amonyak azotu, toplam fosfat ve nitrat azotu gibi kimyasal konsantrasyonları kapsayan sekiz su kalitesi değişkenini analiz etmişlerdir. Sonuçlar göstermiştir ki, kısmen kirli iç su kütlesi için oldukça zayıf spektral yayınlı uzaktan algılama verileri ile her bir su kalitesi değişkeni arasında istatistiksel olarak önemli bir ilişki vardır. Piksel dijital sayısı ve çoklu regresyon algoritmaları ile ilgili uygun yöntem, su kalitesi değişkenleri hakkında belli bir hata oranıyla bilgi verebilir. Yalnızca KOİ için etkili bir bilgi çıkarma yöntemi bulunamamıştır.

Onderka & Pekarova (2008), yaptıkları çalışmada Danube Nehri'nde asılı katı maddenin mekansal özelliklerinin haritalandırılmasında; Landsat ETM görüntülerinin nasıl kullanıldığını anlatmaktadır. Araştırma sonuçları Danube Nehri'nde AKM

konsantrasyonlarında aşamalı olarak boylamasına azalma olduğunu göstermiştir. Landsat yakın infrared band (TM4) ve arazi ölçümleri arasındaki ilişki esas alınarak, 2.92 mg/L standart hata ile asılı katı madde haritası oluşturulmuştur. Bu çalışma; arşivlenmiş uydu verileri ve geçmişe ait su kalitesi verilerinin büyük nehirlerde AKM takibi için nasıl kullanılabileceğini göstermek amacıyla, ayrıca yeterli doğrulukta sonuçlar için minimum sayıda örneklemeyi gerektiren yöntem anlatılmaktadır.

Ormeci vd. (2008), IKONOS uydu görüntüleri ve arazi ölçümlerini kullanarak, su kalitesi parametresi Chl-a miktarını hesaplayan doğru ve hızlı bir yöntem bulmayı amaçlamışlardır. Bu çalışmada, eş zamanlı toplanan uydu görüntüsü verileri ile Chl-a'nın yerinde ölçümleri, çok değişkenli regresyon modeli kullanılarak ilişkilendirilmiştir. Yerinde ölçümlerin dağılımları ve sayıları değiştirilerek farklı denemeler planlanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki; arazi ölçümlerinin hem sayısı hem de dağılımı regresyon analizini etkilemektedir, bu sebeple bunların seçimi dikkatli yapılmalıdır. Ayrıca, IKONOS görüntülerinin, sınırlı sayıda arazi ölçümlerini kullanarak geniş alanların Chl-a haritasını çıkarmak için uygun ve etkili olduğu tespit edilmiştir.

Yan & Tang (2008), 2004 Sumatra tsunami'si ardından Hint Okyanusu'nun kuzey doğusunda AKM konsantrasyonunun alansal ve zamansal değişimini araştırmışlardır. MODIS Aqua verilerinin nLw551 nm sonuçlarının beş yıllık (2002-2006) analizi yapıldı. Sonuçlar, tsunamiden dört hafta gibi kısa bir süre sonra Bengal Körfezi kıyısı boyunca büyük nehir ağızlarında asılı sediment konsantrasyonunda oldukça büyük bir artış (%55.6-200) olduğunu göstermiştir. Bu artışa esas olarak tsunaminin ilk dalgalanmasının yarattığı geri süspansiyon fonksiyonu sebep olmuştur.

Nas vd. (2008), yaptıkları çalışmanın amacı; (i) Beyşehir Gölü'nün mevcut su kalitesini gözden geçirmek (ii) coğrafi bilgi sistemi, geoistatistik ve uzaktan algılama tekniklerini kullanarak göl yüzey alanında su kalitesi parametrelerinin alansal dağılımını belirlemektir. Su numuneleri kırk istasyondan toplanmıştır. Fiziksel, kimyasal parametreler ve Chl-a değerleri 19.08.2005'de Beyşehir Gölü'nde belirlenmiştir. Chl-a konsantrasyonlarına göre göl ortalama besin seviyesine sahip olarak, TP ve SDD'ye dayanarak da göl ötrofik olarak görülmektedir. Göl üzerinde su kalitesi parametrelerinin alansal dağılımını göstermek için "ordinary kriging" olarak adlandırılan enterpolasyon tekniği kullanılmıştır. Göl yüzey alanı için TN, TP, T, SDD ve Chl-a'nın alansal dağılım haritaları geliştirilmiş, yersel ölçümlerle eş zamanlı olarak su kalitesi haritalandırması için

Terra ASTER uydu görüntüsü kullanılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, eş zamanlı alınan yeryüzü ve uzaktan algılama verileri yüksek korelasyonludur.

Wang & Lu (2010), zamansal çözünürlüğü iyi olan Terra MODIS uydu verilerini kullanarak Yangtze Nehri'nin asılı sediment konsantrasyonları tahmini için bir yöntem sunmaktadırlar. Mekansal atmosferik koşullar bilinmese dahi; bant 2 ve bant 5 arasında su yansımadaki farklılıklardan, asılı sediment konsantrasyon tahmininin oldukça doğru bir şekilde sağlanabileceği anlaşılmıştır. Hatasız asılı sediment konsantrasyon tahmini için bazı etken faktörlerin daha fazla çalışılması gerekse de, geniş bulanık nehirlerde asılı sediment konsantrasyonu için Terra MODIS'in kullanılabileceği yapılan çalışmada ileri sürülmektedir.

Başpehlivan vd. (2010), çalışmalarının amacı, IKONOS görüntü pikselleri ile görüntünün alındığı anda göle kirletici taşıyan ana nehrin yan kollarından ve göle kesişim noktalarından toplanan su numuneleri arasında korelasyon sağlamaktır.

Mabwoga vd. (2010), Hindistan'daki Harike sulak alanında IRS LISS IV uydu verilerini kullanarak su kalitesi parametrelerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Değerlendirmeye alınan su kalitesi parametreleri; toplam ve askıda katı madde, (ÇO), pH, T, iletkenlik, KOİ ve SDD'dir. T ve AKM, AKM ve SDD, T ve toplam katı madde, SDD ve toplam katı madde arasında korelasyonlar kurulmuştur. Çalışmada IRS LISS IV çok bantlı sensörün 2 (yeşil), 3 (kırmızı) ve 4 (NIR, near infrared) bandları kullanılmıştır. Yeşil ve kırmızı bantların özellikle su kalitesi parametreleri için daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. LISS IV verilerine göre toplam katı madde ve T ile NIR DN değerleri arasında anlamlı korelasyonlar sağlanmıştır. SDD ve NIR DN değerleri arasında olumsuz korelasyon gözlemlenmiştir.

Dihkan (2010), yaptığı çalışmada Karadeniz kıyı suları için su kalitesini belirlemede önemli bir yeri olan AKM konsantrasyonunu ve dağılımını Landsat TM / ETM uydu görüntüleri üzerinden uzaktan algılama tekniklerini kullanarak elde etmiştir. Yapılan çalışma sonucunda AKM konsantrasyonu ve uzaktan algılama referans değerleri arasında Karadeniz'e ait bir algoritma geliştirilmiştir.

Sa'ad vd. (2021), Malezya'daki Teluk Lipat bölgesindeki toplam AKM'nin mekana ve zamana bağlı değişimini izlemek için Landsat 8 uydusunun geçişiyle eş zamanlı olarak, çalışma alanında iki kez arazi çalışması yapmış ve her bir çalışmada 30 adet örneklem noktasından 30 adet numune almıştır. Yapılan çalışmada, Landsat 8 uydu görüntüsü

kullanılarak bölgesel toplam AKM algoritması geliştirilmiş ve geliştirilen algoritma ile toplam AKM haritası oluşturulmuştur.

Dilmen (2023); Wichita şehrinin içme ve kullanma suyu kaynağı olan Cheney Rezervuarı'nda (Amerika Birleşik Devletleri, Kansas) uzaktan algılama ile yer ölçüm verilerini kullanarak bulanıklığın tahmin edilmesini amaçlamıştır. 2014-2022 yılları arasında Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma Kurumu tarafından yapılan T takibi ile Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) ve Sentinel 2 MultiSpectral Instrument (MSI) uydu görüntülerinin yansıma değerleri arasındaki ilişkiler; regresyon analizi, çoklu uyarlanabilir regresyon eğrileri, TreeNet gradyan arttırma makinesi, destek vektör makineleri ve YSA gibi yöntemler kullanılarak incelenmiş ve bulanıklığı tahmin edebilen modeller oluşturulmuştur. Toplanan 99 Landsat 8 OLI ve 56 Sentinel 2 MSI görüntüsü ile yersel ölçümler aralarındaki eşleştirmeler sonucunda YSA'nın daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, elektromanyetik spektrumun 500 ile 700 nm arasındaki dalga boyları ile T değişkeni arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Paulista vd. (2023), Teles Pires Nehri (Brezilya) için AKM tahmininin yapılmasında Sentinel-2 A ve B görüntülerini kullanmışlardır. Kullanılan sensör görüntülerinin alan örnekleme ile aynı güne denk getirilmesine dikkat edilirken, veri işleme için esneklik sağlayan Google Earth Engine adlı platform da kullanılmıştır. En iyi AKM tahmini, görünür spektrumun kırmızı renk aralığına karşılık gelen b4 bandının yansımalarından yapılırken Google Earth Engine, görüntü edinimi ve yöntem uygulaması için keşifsel analizi daha hızlı ve verimli hale getirmiştir.

Joshi vd. (2023), Mula Baraj Gölü'nde (Hindistan) Ekim 2021-Şubat 2022 tarihleri arasında çeşitli Sentinel-2 uydu band fonksiyonları ile çeşitli yerlerdeki AKM konsantrasyonlarını karşılaştırmıştır. Bu dönemde gözlemlenen AKM değerleri 15.62 ile 137.65 mg/L arasında değişmektedir. Yapılan çalışma, yüksek çözünürlüklü sensör kullanılarak geliştirilen kalibrasyon / doğrulama tekniğinin Mula Baraj Gölü'nde AKM modellemesi için uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Duan vd. (2024), Yellow Nehri'nin (Çin) mansabında dört hidrolojik istasyondan elde edilen günlük AKM izleme verilerine dayanarak, Landsat uydu verilerine uygulanabilen bir AKM uzaktan algılama modeli oluşturmuşlardır. 1984-2022 yılları arasında askıda sediment konsantrasyonundaki azalmaların çoğunlukla yaz mevsiminde gerçekleştiği, bunu takiben Yellow Nehri'nin aşağı kesiminde mevsimsel değişkenliğin azaldığı görülmüştür. Atmosferik olarak düzeltilmiş Landsat uydu verileri kullanılmış olup,

uzun vadeli arşivlenmiş Landsat verileri kullanımının nehirlerdeki katı madde taşınımının mekansal ve zamansal takibi için temel referanslar sunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Quevedo-Castro vd. (2024), Sanalona Haznesi'nde (Meksika) su kalitesi değerlerini tahmin etmek için istatistiksel yöntemleri ve uzaktan algılama tekniklerini kullanan bir teknik uygulamaktadır. Doğrusal regresyon modelleri ve Landsat 8 uydu görüntüleri, Sanalona Haznesi'nde 2013-2020 yılları arasında her altı ayda bir beş örnekleme noktasında ölçülen TOK, TÇKM ve Chl-a'yı tahmin etmek için kullanılmıştır. Her bir parametre için önerilen modellerin geliştirilmesinde uydu görüntülerinin kullanımının, su kalitesi parametreleri tahmini için oldukça iyi sonuç verdiği anlaşılmıştır.

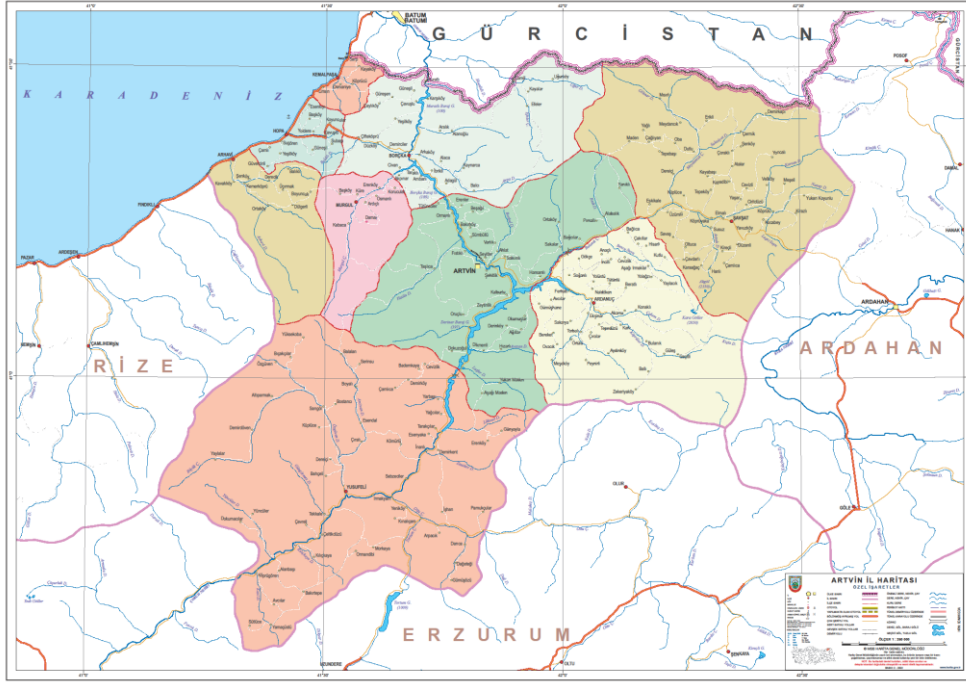
1.15. Çalışma Alanı

Yerinde ölçüm ve örneklemenin yapıldığı toplam 12 gözlem istasyonunun tamamı Artvin il sınırları içerisinde kaldığından ilerleyen bölümlerde Artvin ilinin coğrafi konumu, yer şekilleri, iklimi, bitki örtüsü, su kaynakları, toprak yapısı ve muhtemel kirletici kaynaklarına değinilecektir.

1.15.1. Coğrafi Konumu

Doğu Karadeniz Bölgesi'nin bir ili olan Artvin $40^{\circ} 35'-41^{\circ} 32'$ kuzey enlemleri ile $41^{\circ} 07'-42^{\circ} 00'$ doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yaklaşık olarak 7436 km^2 'lik bir yüzölçümüne sahiptir. Artvin, Türkiye yüzölçümünün (783577 km^2) %0.9'unu kaplamaktadır. Doğuda Ardahan, güneyde Erzurum, batıda Rize ve kuzeyde Gürcistan'ın Batum şehri ile komşudur (Şekil 6). Kuzeybatı kesiminde Karadeniz'e 34 km kıyı şeridi bulunmaktadır (Tüfekçioğlu vd., 2004).

Türkiye İstatistik Kurumu'na (TÜİK) göre Artvin ili 2024 yılı toplam nüfusu 169,280 kişidir. Bu nüfusun %64.29'u il ve ilçelerde, %35.71'i belde ve köylerde yaşamaktadır (TÜİK, 2025).



Şekil 6. Artvin ili ve komşu iller (HGM, 2024)

1.15.2. Yer Şekilleri

Artvin ili topografik yapı olarak deniz seviyesinden güneye doğru merdiven şeklinde yükselir ve denize dik istikamette derelerle yarılarak, çok dağınık, engebeli bir yapı arz eder. Dağlar genellikle denize paralel uzanır. Karadeniz kıyı şeridinde paralel uzanan Doğu Karadeniz Dağları'nın Artvin sınırları içindeki kısımları; Kükürtlü, Kaçkar, İskaristi, Altıparmak dağları adıyla Gürcistan sınırına kadar devam etmektedir. Bu alanda çok sayıda dağ ve yüksek tepe bulunmaktadır. Kaçkar Dağı 3,937 m yüksekliği ile Karadeniz Dağları'nın en yüksek noktasıdır. Şavşat ve Borçka ilçeleri arasında yer alan, Çoruh ve Berta vadileri ile Gürcistan sınırına kadar uzanan Karçal Dağı 3,428 m yüksekliği ile ilin bir başka önemli dağdır (Tüfekçioğlu vd., 2004).



Şekil 7. Artvin ili merkez yerleşim birimlerinin uydu görüntüsü (Google Earth, 2024)

Artvin'nin yüzey şekilleri, çoğunlukla yer altı kırılmaları ve volkanik faaliyetler sonucu ortaya çıkmıştır. Vadilerin bir kısmı tektonik kırılmalar sonucunda meydana gelen fay ve çizgilerine bağlı olarak oluşmuş dağ sıralarını birbirinden ayıran çizgiler halindedir. Artvin'de, Arhavi ve Hopa alüvyal düzlükleri dışında ova olarak nitelendirilebilecek düz alanlar bulunmamaktadır. Artvin'de yer alan vadiler iki ana kısımda incelenebilir. Bunlar; Çoruh Vadisi ve Çoruh Nehri yan kollarının meydana getirdiği, Murgul Vadisi, Ardanuç Deresi Vadileri, Altıparmak Vadisi, Ortaköy Vadisi, Hatila Vadisi ve Hopa Çayı vadileridir. Yaylalar ise Artvin ili topraklarının yaklaşık %51'ini kaplamaktadır (Tüfekçioğlu vd., 2004).

1.15.3. Genel Toprak Yapısı

Artvin, Kuzey Anadolu orojenik kuşağında bulunmaktadır. Çoruh Nehri'nin aşağı kesimlerinden başlayarak Sirya üzerinden kuzeydoğuya yayılan metamorfik seri bölgenin en eski arazilerine sahiptir. Seride mikaşistler, piritli siyah şist, kloritli, biyotitli ve

feldspatlı şistler, metamorfoze olmuş lavlar, kuvars, kloritli ve biyotitli gnayslar ve bunların içine sokulmuş iri daneli, pembe renkli granit ve granodioritler yer almaktadır. Jura alt kretase serisinin alt kısımlarında andezit, serpatin, koyu renkli diabaz, marnlı ve tüflü kalkerler mevcuttur ve Artvin il merkezinde görülen kırmızı renkli tabakalar bu seriye aittir. Serideki konglomeralar üst kısımlarda kırmızı ve ince daneli gre haline dönüşmekte ve koyu renkli bazik lavlar, kırmızı radyolarit marn parçaları ve gri renkli kalkerler konglomeranın çakılları arasında yer almaktadır (Tüfekçioğlu vd., 2004).

Artvin yöresindeki en büyük jeolojik ünite üst kretase volkanik serisi ile volkanosedimanter serisidir. Bu seri, asit ve nötr lavlarla bunlara ait anglomera ve tüflerden, bunlar arasında ince yataklar halinde yer alan ve genellikle kırmızı renkli marn ve kalker tabakalarından oluşmaktadır. Lav serisi içerisinde dasit, andezit, kiparit, kuvarsporfirler bulunmaktadır. Artvin ilinde yayılan topraklar; kırmızı topraklar, yüksek dağ çayır toprakları, sarı podzolik topraklar, kahverengi ve kireçsiz kahverengi orman toprağı, alüviyal ve koluviyal topraklar olmak üzere altı grupta toplanmaktadır (Tüfekçioğlu vd., 2004).

1.15.4. Genel İklim Özellikleri

Doğu Karadeniz Bölgesi'nin iklim bakımından en çok farklılık gösteren ili Artvin'dir. Kıyı kesimi ile Cankurtaran Dağları silsilesini içine alan bölgede tipik olarak her mevsim yağışlı Karadeniz iklimi hakimdir. Cankurtaran Dağları silsilesinden Borçka ve Artvin il merkezine kadar olan bölgede kışlar daha soğuk ve yağışlar daha azdır. Söz konusu bölgeye Şavşat ve civarını da ilave etmek mümkündür. Ardanuç ve Yusufeli'nde ise kısmen Karasal iklim ile Akdeniz ikliminin bir karışımı olan yazları sıcak ve kurak, kışları ise normal karasal iklime oranla kısmen ılık ve daha az yağışlı bir iklim görülmektedir. Bu bölgenin bazı kesimlerinde iklimin Akdeniz iklimine çok yaklaştığı söylenebilir (Tüfekçioğlu vd., 2004).

1.15.5. Sıcaklık Durumu

Artvin ilinin coğrafi yapısı ilin t dağılımı üzerinde etkilidir. Yıllık ortalama t sahilten iç kesimlere gidildikçe farklılık arz etmektedir. Artvin'in uzun yıllar ortalama t değerleri (1949-2022) incelendiğinde; aylık ortalama sıcaklıkların -0.1°C (Ocak) ile 26.4°C (Ağustos) arasında değiştiği ve yıllık ortalama sıcaklığın 12.3°C olduğu görülmektedir (MGM, 2024).

1.15.6. Yağış Durumu

Artvin'de yağış sahil ve iç kesimler arasında oldukça değişik dağılıma sahiptir. Artvin'in uzun yıllar (1949-2022) ortalama yağış değerleri incelendiğinde; yıllık yağış miktarı ortalaması 689.3 mm, aylık toplam yağış miktarı en fazla aralık ayında 85.6 mm, en düşük aylık toplam yağış miktarı ise ağustos ayında 29.3 mm'dir (MGM, 2024).

Jeolojik özellikleri nedeniyle, havzaya düşen yağışın miktarı büyük bir kısmı akışa geçmektedir. Bu durum, yörede sel olaylarının oluşmasına zemin hazırlayan en önemli faktörlerden biridir.

1.15.7. Bitki Örtüsü

Doğu Karadeniz Bölgesi florasının büyük bir kısmını Artvin ili oluşturmaktadır. Bölgede yaklaşık 2500 tür tespit edilmiş olup, bunun yarıya yakını Artvin ilinde yer almaktadır. Bölgenin tipik ekosistemlerinden olan doğal yaşlı ormanlar, Rododendron fundalıkları, dağ eteklerindeki taş yığınları, uçurum ve göl toplulukları, yayla ve alpin otlakları gibi ekosistemlerin en güzel örnekleri Artvin ilinde bulunmaktadır. Bu alanlar içerisinde özellikle Yaşlı Doğal ormanları içeren orman ekosistemleri, dünyanın en önemli ekosistemleri arasında kabul edilmektedir.

Artvin ilindeki Karçal Dağları Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki önemli orman ekosistemlerinden biridir. Kuzeydoğu Anadolu'da yer alan Karçal Dağları, Türkiye'nin en iyi ılımlı Karışık Yaprak Döken Ormanlar'dan birine ev sahipliği yapmaktadır. En dikkat çeken özellikleri: doğayla uyum içinde olan geleneksel yaşam tarzı ve yaban hayatı habitatları, çok sayıda kolşik endemik türleri, yaşlı ve eski zamana ait ormanlar; çeşitli ekosistemleri barındıran ani yükseklik değişiklikleridir (DOKAP, 2000; DSİ, 2006).

1.15.8. Akarsular ve Göller

Artvin il sınırları içerisinde 30 civarında akarsu yer almaktadır. Bu akarsulardan Karadeniz'e dökülenler hariç, diğerleri Çoruh Nehri'nin kollarıdır. Karadeniz Havzası'nın en önemli akarsularından biri olan Çoruh Nehri, Artvin ilinin en büyük akarsuyudur. Çoruh Nehri, Erzurum Ovası'nın kuzeyindeki Mescit Dağı'nın (3,255 m) batı yüzünden doğmakta ve ülke sınırını aşarak Gürcistan'dan Karadeniz'e dökülmektedir (Tüfekçioğlu vd., 2004).

Yusufeli ilçesinde Davut Dağlarından çıkan Hüngamek Deresi, Güngörmez Dağından doğan Peterek Suyu, Çepertek Köyü doğusundan doğan Dörtkilise Deresi, Kaçkar dağlarından doğan Barhal Deresi de Haçval Dağından doğan Ercivan Deresi ile birleşerek kuzey-güney doğrultusunda akarlar, ayrı ayrı yerlerde Çoruh Nehri'ne karışırlar. Güneyde Oltu Çayı, Tortum Çayı ile birleştikten sonra Oltu Çayı adı altında Gürap Kaya'sı denilen yerde Çoruh'a karışır (Tüfekçioğlu vd., 2004).

Şavşat'ın Yoncalı Yaylası'ndan doğan Ilıca Deresi, Merete Dağları'ndan çıkan Papat Deresi'ne karışarak İmerhevi Deresi adını alır. Daha sonra bu dere, Meşeli Yaylalarından doğan Şavşat Deresi ile birleşerek Berta Suyunu meydana getirir. Artvin ili topraklarında doğrudan doğruya denize karışan suların başında Hopa Çayı (İskaristi Dağı) ile Arhavi Suyu (Dikme ve Sevahil yaylaları) gelmektedir.

Artvin il sınırları içerisinde çok sayıda küçük göl bulunmaktadır. Bu göller halk arasında Karagöl olarak isimlendirilmektedir. Göller oluşumlarına göre moren, kırater ve set gölleri şeklindedir. Arhavi'nin güneyinde Kükürt Tepe'sinde Karagöl ve Alaça Gölü, Ardanoç ilçesinin doğusunda Yalnızçam Dağları'nın kuzeybatı yamaçlarındaki buzul gölleri, Borçka ilçesinin Aralık Köyü'ndeki Karagöl, Yusufeli ilçesinde Kaçkar Sıra Dağları üzerinde Sarıgöl bucağındaki Karagöl bunlardan bazılarıdır (Tüfekçioğlu vd., 2004).

1.15.9. Muhtemel Kirletici Kaynakları

Artvin ilinde su kirliliğine neden olan etkenlerden biri Murgul ilçesindeki maden ocağındaki faaliyetlerden oluşan atık suların gelişi güzel deşarj edilmesi ya da mevcut atık su arıtma sistemlerinin etkin bir şekilde kullanılmamasıdır (AGEP, 2005).

Artvin ilindeki belediyelerde atık su arıtma tesislerinin bulunmaması ve kanalizasyon sistemine giden atık suyun doğrudan alıcı ortama (Çoruh Nehri, sahil kesiminde Karadeniz) verilmesi bir diğer kirletici kaynağıdır.

İldeki tüm belediyelerde katı atıklar düzensiz olarak depolanmaktadır. Vahşi depolamanın etkileyebileceği su kaynakları sahil ilçelerinde Karadeniz iken diğer ilçelerde ise Çoruh Havzası'dır. Katı atıkları bertaraf etme yöntemi olarak; dereye dökme, yakma, araziye gömme ve denize dökme yöntemleri uygulanmaktadır. Borçka Belediyesi sınırları içerisinde bir adet vahşi depolama alanı mevcut olup; söz konusu alan içerisinde bilinen bir yeraltı su kaynağı bulunmayıp, etki gösterdiği tek alan Çoruh Nehri'dir. Çünkü depolama sahasından çıkan sızıntı suları, ayrıca toplandığı bir kanal olmadığı için nehre karışmaktadır (AGEP, 2005).

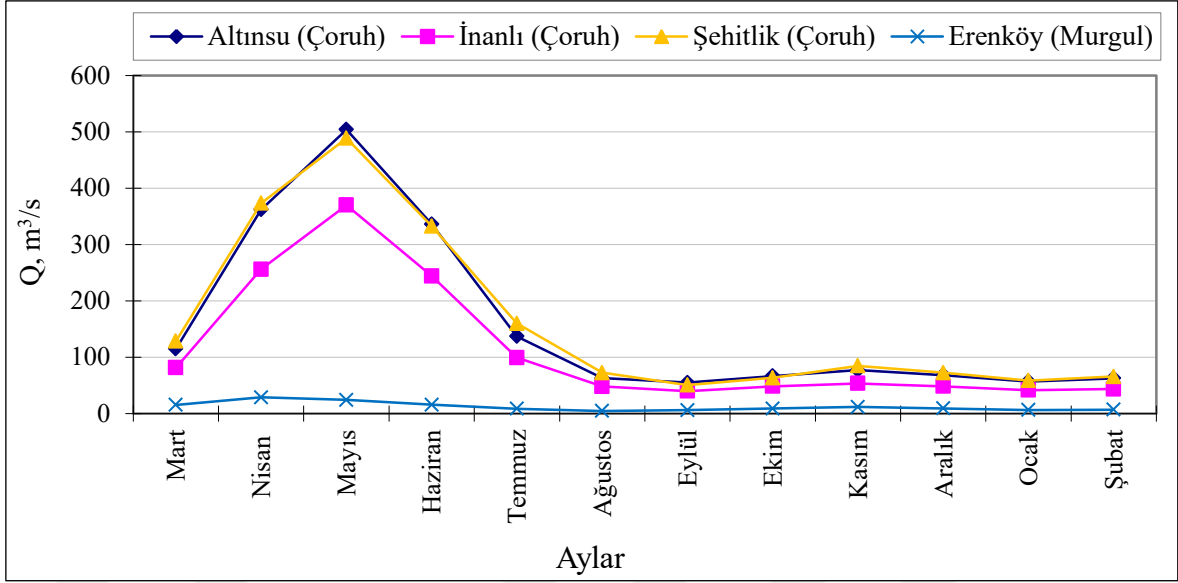
Artvin'de baraj inşaatları, yol yapımı, kum ve taş ocakları, heyelan, erozyon, sel ve taşkın gibi nedenlerden ötürü arazi bozulmaları meydana gelmektedir. Ormanların azaltılması veya tarım alanlarına dönüştürülmesi erozyon, heyelan ve sel olaylarının artmasına sebep olmaktadır. İlde erozyon önemli bir çevresel problem olup, baraj ömürlerini tehdit eden ana unsurdur.

Tarım topraklarının işlenmesi sırasında gübreleme, sulama ve ilaçlama aşamalarında bilimsel kurallara uyulmaması sebebiyle ildeki topraklarda toprak bozulması ve toprak kirliliği problemleri ortaya çıkmaktadır (AÇDR, 2022).

1.16. Çoruh Nehri Havzasında Yürütülen Akım Gözlem Çalışmaları

Çoruh Nehri Havzası'nda akım gözlem çalışmaları Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yürütülmektedir. DSİ ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Genel Müdürlükleri tarafından havzada işletilmiş ve işletmede olan akım gözlem istasyonları (AGİ) Tablo 5'de verilmektedir (DSİ, 2011).

DSİ 26. Bölge Müdürlüğü tarafından Çoruh Nehri üzerinde işletilen 23-22 (Altınsu), 23-35 (İnanlı) ve 23-10 (Şehitlik) No'lu AGİ'lerde ve Çoruh Nehri yan kolu olan Murgul Çayı üzerinde işletilen 23-39 No'lu (Erenköy) AGİ'de uzun yıllara göre aylık ortalama debi dağılımları Şekil 8'de verilmektedir.



Şekil 8. Çoruh Nehri ve Murgul Çayı üzerindeki AGİ'lerde aylık debi değişimleri

23-22 No'lu Altınsu AGİ'de en yüksek debi 504 m³/s (Mayıs), en düşük debi ise 54.9 m³/s (Eylül) olarak belirlenirken; yıllık ortalama debi 159 m³/s'dir (DSİ, 2011).

23-35 No'lu İnanlı AGİ'de en yüksek debi 370 m³/s (Mayıs), en düşük debi ise 39.9 m³/s (Eylül) olarak belirlenirken; yıllık ortalama debi 114 m³/s'dir (DSİ, 2011).

23-10 No'lu Şehitlik AGİ'de en yüksek debi 488.61 m³/s (Mayıs), en düşük debi ise 50,76 m³/s (Eylül) olarak belirlenirken; yıllık ortalama debi 163.29 m³/s'dir (DSİ, 2011).

23-39 No'lu Erenköy AGİ'de en yüksek debi 28.8 m³/s (Nisan), en düşük debi ise 4.7 m³/s (Ağustos) olarak belirlenirken; yıllık ortalama debi 12.2 m³/s'dir (DSİ, 2011).

Tablo 5. Çoruh Nehri Havzası'ndaki akım gözlem istasyonları

İstasyon no	İstasyon adı	İşletme kotu (m)	Pafta	Akarsu	Yağış alanı (km ²)	Açılış tarihi	Koordinatlar	
23-01	Berta	310	G41-b4	Berta Suyu	1680	1962	41°10'15"K	41°51'08"D
23-02	Gorgoto	355	F48 -d1	Ardanuç Çayı	570	1962	41°09'00"K	31°58'00"D
23-04	Yusufeli	587	G47-a4	Parhal Suyu	856	1961	40°49'00"K	41°32'00"D
23-08	Muradiye	15	F47-a2	Çoruh Nehri	19860	1966	40°28'26"K	41°42'31"D
23-09	Sülüklü	190	F47-a3	Murgul Çayı	322	1966	41°17'00"K	41°34'00"D
23-10	Şehitlik	165	F47-a3	Çoruh Nehri	18545	1966	41°10'52"K	41°51'22"D
23-11	Ardala	165	F47-c2	Berta Suyu	2272	1966	41°09'00"K	41°56'00"D

1.17. Çalışmanın Amacı

Barajlar maliyeti yüksek olan hidrolik yapılardır. Hazne sedimentasyonu, ekonomik kalkınma için olabildiğince uzun süreli kullanılması gereken barajların ömrünü belirleyen en önemli etkidir.

Mevcut barajların kullanım ömürlerinin mümkün olduğu kadar uzatılması yeni barajlara olan ihtiyacı azaltacak ve böylelikle ülkenin pek çok alanda kalkınmasına ve gelişmesine olumlu katkıda bulunacaktır. Ayrıca inşa edilecek barajların tahmini kullanım ömürlerinin bilinmesi daha iyi bir kalkınma planı yapılmasını sağlayacaktır. Hazne sedimentasyonu ile ilgili çalışmalar bu konularda gerekli bilgiyi sağlaması açısından büyük öneme sahiptir (Kayhan, 2001).

Bu çalışmada; Çoruh Nehri ve yan kolları ile Borçka Baraj Gölü'nde, AKM dağılımının ve su kalite parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaca yönelik belirlenen hedefler maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Borçka Baraj Gölü, Çoruh Nehri ve yan kollarda seçilen 12 gözlem istasyonunda aylık periyotta bir yıl boyunca 11 adet fiziksel ve kimyasal parametreyi ölçerek; bu parametrelerin mevsimlik değişimini incelemek.
- Yüzey suyu AKM ve T değerlerinin hazne su derinliğine (SD) bağlı olarak mekan ve zamana bağlı değişimini değerlendirmek.
- Borçka Baraj Gölü'nde AKM, T ve Chl-a parametrelerinin belirlenmesinde istatistiksel yaklaşım uzaktan algılama verileri ve eş zamanlı yersel verileri birlikte kullanarak, regresyon analizi ve denklemlerin kurulması; uydu görüntüsüne ilişkin yüzey yansımaya değerlerine AKM, T ve Chl-a tahmin algoritmaları uygulanarak AKM, T ve Chl-a haritaları üretmek.
- Elde edilen su kalitesi verilerini YSKY (2016) "Kıta içi yerüstü su kaynaklarının genel kimyasal ve fizikokimyasal parametreler açısından sınıflarına göre kalite kriterleri" esas alarak nehir ve deredeki suyu, "Göl, gölet ve baraj gölleri ötrofikasyon kriterleri" esas alarak baraj gölündeki suyu sınıflandırmak.
- İzleme çalışmasından elde edilen verileri CWQI ve WAWQI modeli uygulamalarında kullanarak; su kalite indeksini ve su kalite sınıfını tespit etmek.
- Baraj gölündeki Chl-a, TN ve TP konsantrasyonlarını ve SDD değerlerini kullanarak; TSI'yı belirlemek ve göl suyu kalitesini yorumlamak.

1.18. Çalışma Kapsamında Takibi Yapılan Parametreler

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında T, AKM, TN, ÇO, TP, Chl-a, t, pH, özgül iletkenlik, SDD, organik parametre olarak da; KOİ olmak üzere toplamda 11 fiziksel ve inorganik-kimyasal parametrenin takibi yapılmıştır.

1.18.1. Bulanıklık

Su kütlesi içerisinde askıda ve kolloidal halde bulunan çözünmemiş çok küçük çaplı danecikler, bulanıklığa sebep olmaktadır. Bulanıklık süzulebilen (süspansiyonlar) ve süzulemeyen (kolloidler) organik ve inorganik maddelerden kaynaklanmaktadır (Yalçın & Gürü, 2002).

Suda yaşayan canlılar için önemli bir parametre olan bulanıklık; suyun ışığı geçirme, dağıtma ve emme özelliği olarak tanımlanmaktadır. Bulanıklık şiddeti, ışığın suya geçiş gücü ile ters orantılıdır. İçme sularında olması istenmeyen bulanıklık, su ürünleri için de istenmeyen parametreler arasında yer almaktadır. Sucul ekosistemler için oldukça önemli olan ışığın alt tabakalara geçişini engellemesi sebebiyle sularda bulanıklık hiç istenmeyen bir parametredir (Göksu, 2003).

1.18.2. Askıda Katı Madde

Su kütlesinde askıda bulunan ve uzun süre zarfında çökebilen çok küçük çaplı organik ve inorganik maddeler, AKM olarak tanımlanmaktadır (Yalçın & Gürü, 2002). Sulardaki yüksek miktardaki AKM; baraj haznesinin dolması ve faydalı hacminin azalması, suyun içme ve kullanımdan önce arıtma giderlerinin artması, balık yaşamının olumsuz etkilenmesi, suların dinlenme amaçlı (rekreasyon) kullanım değerinin düşmesi gibi olumsuz sonuçlara sebep olmaktadır. Dolayısıyla AKM konsantrasyonu ile dağılımının belirlenmesi su yapıları ve su kalitesi gözlemleri için önem arz etmektedir.

1.18.3. Çözünmüş Oksijen

Sucul ekosistemler için hayati önem taşıyan ÇO, sucul ortamdaki canlıların yaşamlarını düzenlemekte ve sınırlamaktadır. Sulardaki ÇO konsantrasyonu t ile ters orantılıdır (Cirik & Cirik, 2005). Tatlı su yaşamı için en düşük ÇO miktarının 5 mg/L olması gerekmektedir (Göksu, 2003; Tarkan, 2007).

1.18.4. Sıcaklık

Yüzey sularının sıcaklığı iklim ile yakından ilişkilidir. Genellikle ekvator dan kutuplara doğru ve deniz seviyesinden yukarıya doğru gidildikçe suların sıcaklığı düşmektedir. Yer altı sularının sıcaklığında ise derinlik daha etkili bir faktör olup, su sıcaklığı 20-40 m derinlikte (ortalama 33 m) yaklaşık 1.0°C yükselir. Ancak yer altı suyu sıcaklığının düzenli olarak artışı nötr bölge denen ve yerin mineralojik yapısına göre 15-40 m derinlikten sonra görülmektedir. Bu ara bölgede yer altı suyu sıcaklığını topoğrafya, rüzgar, rakım, enlem ve yağış suyu sıcaklığı gibi etkenler belirlemektedir (Yalçın & Gürü, 2002).

1.18.5. Elektriksel İletkenlik

Eİ, su içerisinde çözünmüş olan iyonların (elektrik yüklü partiküllerin) elektrik akımını iletme yeteneğini ifade etmektedir. Su, saf halde Eİ göstermez, ancak içinde çözünen tuzlar, mineraller ve diğer maddeler suyun elektrik akımını iletmesini sağlamaktadır. Özellikle tuzluluk ile Eİ yakından ilişkilidir. Suyun tuzluluğu arttıkça, elektrik akımını iletme kapasitesi de artış göstermektedir (Göksu, 2003).

Özgül elektriksel direnç, belirli bir çözelti için 1 cm²'lik yüzey alanı ve 1 cm uzunluktaki iki elektrot arasında ölçülen direnci ifade ederken, Eİ bu direncin tersi olarak tanımlanmaktadır. Doğal suların iletkenliği oldukça düşüktür ve özgül iletkenlik ölçüsü µmho/cm veya µS/cm şeklindedir (Yalçın & Gürü, 2002). Elektriksel iletkenliğin 25°C'deki değeri özgül iletkenlik olarak adlandırılmaktadır.

1.18.6. Klorofil-a

Chl-a tüm bitkilerin ana pigment maddesi olup planktonik alglerin tamamında kuru maddelerin ağırlık olarak %1-2'sini oluşturmaktadır. Ayrıca alg biyomasi tahminleri için bir gösterge olarak da kullanılmaktadır (Egemen & Sunlu, 1999; Tarkan, 2007).

1.18.7. Hidrojen İyonu Konsantrasyonu

Suyun asidik veya bazik (alkali) özelliklerini belirleyen pH, suyun kimyasal yapısında bulunan hidrojen (H^+) ve hidroksil (OH^-) iyonlarının yoğunluğuna dayanan bir parametredir. Suyun pH değeri, 0 ile 14 arasında değişmekte; 7 nötr, 7'nin altındaki değerler asidik ve üzerindeki değerler ise bazik olarak sınıflandırılmaktadır. pH için uygun değerler; tatlı sular için 6,5-9, evsel atık sular için 5-9 ve deniz yaşamı için 6,5-8,5 olarak bildirilmektedir (Göksu, 2003).

$$pH = [-\log (H^+)] \quad (1)$$

burada, (H^+) : Hidrojen iyonu konsantrasyonu, mol/L'dir.

1.18.8. Hazne Su Derinliği

Göl seviyelerindeki değişiklikler; meteorolojik ve hidrolojik etkenler (yağış, akış, buharlaşma, vb.), iklim değişikliği, ozon tabakasındaki değişiklikler ve tektonik hareketlilikler gibi nedenlere bağlanmaktadır. Su kalitesi parametreleri, haznedeki dikey sıcaklık profilleri ile ilişkilidir ve göllerdeki termal tabakalaşma, mevsimsel su hareketlerini düzenlemektedir (Durgun, 2024; Ünlü vd. 2008).

1.18.9. Işık Geçirgenliği

Sular içindeki erimiş veya askıdaki maddeler, suyun bulanık olmasına ve ışığın geçişinin kısıtlanmasına neden olmaktadır. Bu durumda, suyun ışık geçirgenliği ve bitkilerin fotosentez yapması için gerekli olan ışık miktarı azalmaktadır. Bu nedenle,

fotosentezin sağlıklı bir şekilde gerçekleşebilmesi için yeterli derinlikte ışık alabilen bölgelerin varlığı önem arz etmektedir. Bu durumun belirlenmesi için ışık geçirgenliği parametresi kullanılmaktadır (Göksu, 2003).

1.18.10. Toplam Azot

Azot, yaklaşık %79 oran ile atmosferin yapısında önemli bir yer tutmaktadır. Doğadaki başlıca azot kaynağı atmosfer ile canlılardır. Ancak atmosferdeki azot, moleküler azot (N_2) olup, canlı yaşamı için kullanışsızdır. Bu nedenle, canlı için gerekli olan azot formları, azot çevrimi adı verilen bir dönüşüm olayı ile oluşmaktadır. Azot, suda kimyasal olarak; organik azot (organik-N), çözünmüş N_2 , NH_4 , amonyum hidroksit (NH_4OH), amonyak (NH_3), NO_2 ve NO_3 şekillerinde bulunur. Suda azot ve fosfor miktarlarında oluşabilecek artış, alglerin aşırı büyümesine ve ötrofikasyona neden olmaktadır. NH_3 ise su canlılarına zehir etkisi yapmaktadır. Özellikle içme suyu amaçlı kullanılan su kaynaklarında, NO_3 miktarındaki artışlar, sağlık açısından sorunlara yol açmaktadır (Göksu, 2003).

1.18.11. Toplam Fosfat Fosforu

Atmosferde mevcut olmayan fosfor elementi biyosferde, azota kıyasla çok daha düşük miktarlarda bulunmaktadır. Canlı organizmalarda ise organik fosfor şeklinde tutulur. Sular içerisindeki fosforun büyük bir bölümü, canlıların hücre yapısında ve ölü organik maddelerde organik fosfor olarak bulunmaktadır. Ölü organizmalardaki organik fosfor, bakterilerin faaliyeti ile mineralize olmakta ve bunun neticesinde fosfat iyonları serbest hale geçmektedir (Göksu, 2003).

Su ve atık sularda fosfor, ortofosfatlar, polifosfatlar, metafosfatlar ve organik fosfor şeklinde değişik formlarda bulunmaktadır. Evsel atık sular ile tarım alanı drenaj sularının taşımış olduğu gübre artıkları ve atmosferik çökeltme başlıca fosfor kaynakları arasında yer almaktadır. (Yalçın & Gürü, 2002).

1.18.12. Kimyasal Oksijen İhtiyacı

KOİ bir su örneğinde bulunan organik ve inorganik maddelerin tamamen okside edilmesi için gerekli olan oksijen miktarını ifade etmektedir. Suyun organik kirlilik düzeyini ve oksijen tüketim kapasitesini belirlemeye yardımcı olan önemli bir parametredir. Su ve atıksuların özelliklerinin tespit edilmesinde önemli ve hızlı sonuç veren bir parametredir. Bir su kütlesinin KOİ değeri, BOİ değerinden farklı olarak biyolojik yollarla ayrışmayan bazı maddeleri içerebilir. Bu nedenle, KOİ değeri her zaman BOİ değerine eşit veya ondan büyük olmaktadır. KOİ analizi için su numunelerinin toplanmasında cam veya polietilen (PE) şişeler kullanılmalıdır (Bayram, 2011).



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

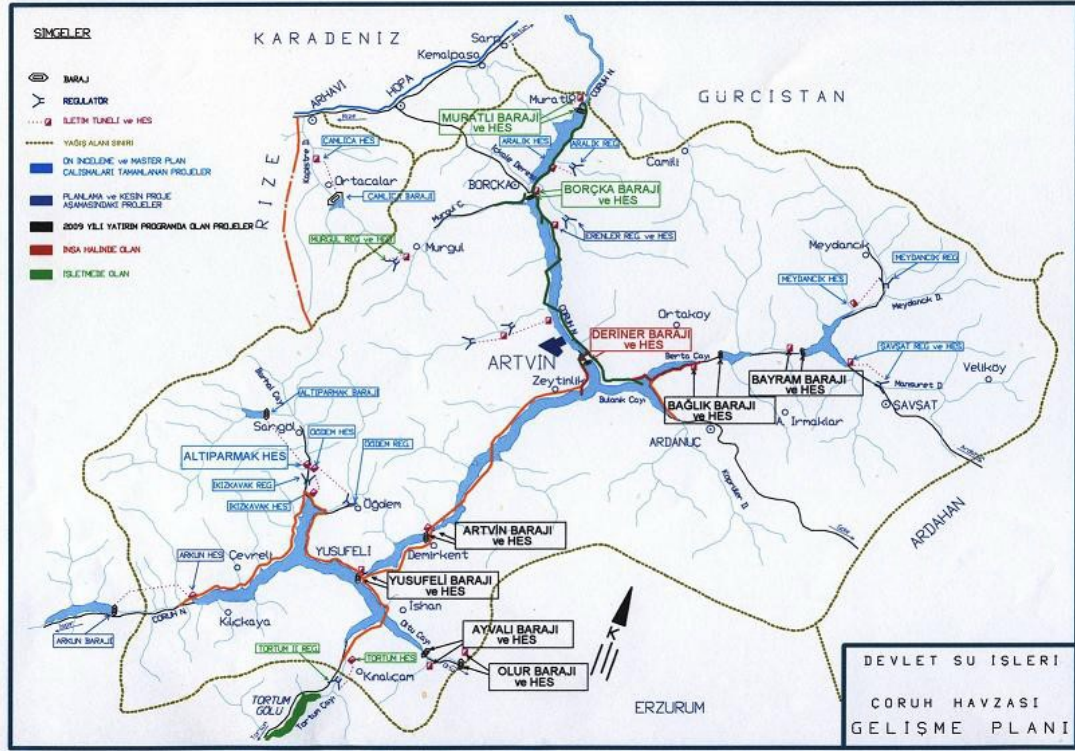
2.1. Çalışmanın Yapıldığı Çoruh Nehri Havzası

Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer alan Çoruh Nehri Havzası, 39° 55'-41° 32' Kuzey enlemleri ile 39° 40'-42° 39' doğu boylamları arasında konumlanmaktadır. Havzanın kuzeyinde Doğu Karadeniz Dağları, kuzeybatısında Giresun Dağları, güneybatı ve güneyinde Otlukbeli Dağları ve Dumlu Dağı, güneydoğusunda Allahuekber Dağları ve doğusunda Yalnızçam Dağları tarafından çevrelenmektedir. Çoruh Nehri'nin Türkiye sınırları içerisindeki yağış alanı yaklaşık olarak 20,000 km² olup, bu alanın büyük bir kısmı Doğu Karadeniz Bölgesi'nde, kalanı ise Doğu Anadolu Bölgesi'ndedir. Bayburt ilinden doğan ve toplam ana kol uzunluğu 431 km olan Çoruh Nehri'nin son 20 km'si Gürcistan sınırları içersindedir ve nehir Karadeniz'e Gürcistan kıyı şeridinden dökülmektedir. Çoruh Nehri'nin enerji üretebilecek toplam düşüşü ise 1420 m'dir.

Çoruh Nehri, ülkemiz nehir havzaları arasında %45'lik ekonomik potansiyeli ile ilk sırada yer almaktadır. Havzada 10'u ana kol üzerinde olmak üzere toplam 27 adet HES projesi planlanmıştır (Kenanoğlu vd., 2011; Bayram & Kenanoğlu, 2016).

Çoruh Nehri ana kolu üzerinde Yukarı Çoruh Havzası'nda Laleli, İspir, Güllübağ, Aksu ve Arkun barajları, Orta Çoruh Havzası'nda Yusufeli ve Artvin barajları ve Aşağı Çoruh Havzası'nda ise Deriner, Borçka ve Muratlı barajları inşa edilmiştir. Orta ve aşağı Çoruh kesimlerindeki projeler yukarı kesimdeki projelere göre daha yüksek enerji üretim kapasitelerine sahiptir; bu nedenle orta ve aşağı kesimde planlanan projelerin gerçekleştirilmesine öncelik verilmiştir.

Çoruh Nehri, ülkemizin en hızlı akan nehri olup, yıllık ortalama 6.3×10^6 m³'lük akış hacmine sahiptir. Nehir yılda 5.8×10^6 m³ rusubat taşımakta ve bu durum Çoruh Havzası'nı Türkiye'de en fazla erozyona uğrayan havzalardan biri haline getirmektedir. Çoruh Nehri'nin Borçka'daki yıllık ortalama akımı ise $5,655 \times 10^9$ m³'tür (Kenanoğlu & Bayram, 2015).



Şekil 9. Çoruh Nehri Havzası gelişme planı (Kenanoğlu vd., 2011)

Tablo 6. Çoruh Nehri Havzası gelişme projeleri (DSİ, 2011)

Alt Havzalar	Proje	Kurulu Güç (MW)	Yıllık Üretim Kapasitesi (GWh)
Yukarı Çoruh Havzası	Laleli Barajı ve HES	99	245
	İspir Barajı ve HES	54	327
	Güllübağ Barajı ve HES	84	285
	Aksu Barajı ve HES	120	344
	Arkun Barajı ve HES	222	788
Orta Çoruh Havzası	Yusufeli Barajı ve HES	540	1,705
	Artvin Barajı ve HES	332	1,025
Aşağı Çoruh Havzası	Deriner Barajı ve HES	670	2,118
	Borçka Barajı ve HES	300	1,039
	Muratlı Barajı ve HES	115	444

2.2. Borçka Barajı ve Hidroelektrik Santrali

Aşağı Çoruh Havzası'nda yapımı tamamlanan Borçka Barajı enerji üretimi amaçlı planlanmış olup 28.02.2007 tarihinde Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ) Genel

Müdürlüğü tarafından devir alınarak üretime geçilmiştir (Şekil 10). Borçka Barajı, Çoruh Nehri'nin mansabından membaya doğru yapılmış ikinci barajdır.

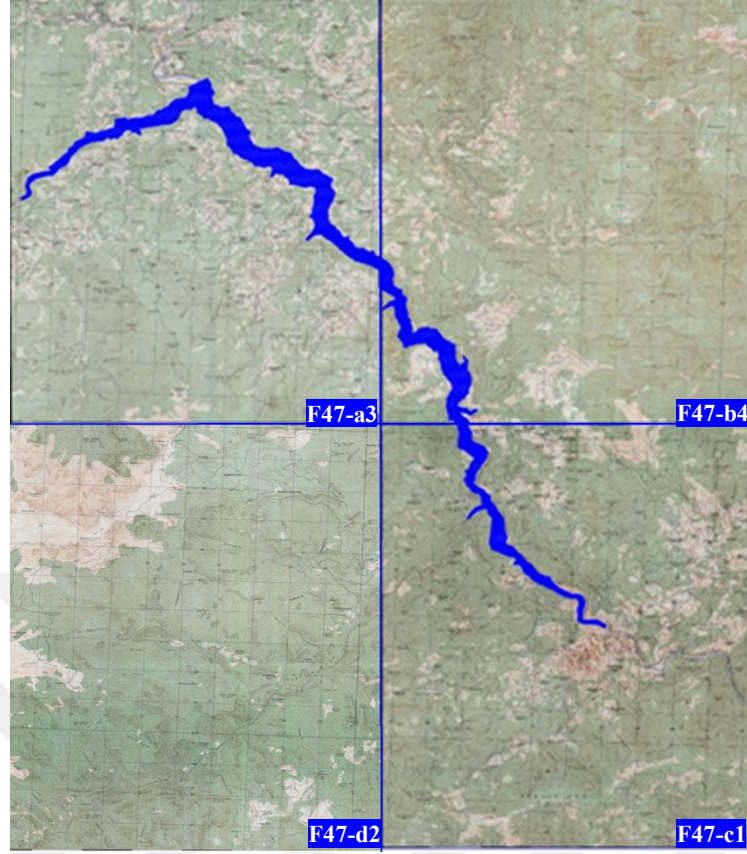


Şekil 10. Borçka Baraj Gölü (25.06.2011)

Baraj yeri, Çoruh Nehri ile yan kollarından biri olan Murgul Çayı'nın birleşim yerinin yaklaşık 300 m mansabında, Borçka ilçe merkezinin yaklaşık olarak 1.5 km membasında ve Artvin ilinin 25 km kuzeybatısındadır. Kil çekirdekli ve zonlu dolgu tipinde olan barajın kurulu gücü 300 MW ve yıllık üretilecek enerji miktarı ise 1039 GWh olarak beklenmektedir (Tablo 7) (Bayram & Kenanoğlu, 2017). Çalışma alanı; Artvin F47-a3, F47-b4, F47-c1 ve F47-d2 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalarda yer almaktadır (Şekil 11).

Tablo 7. Borçka Barajı ve HES özellikleri (DSİ, 2011)

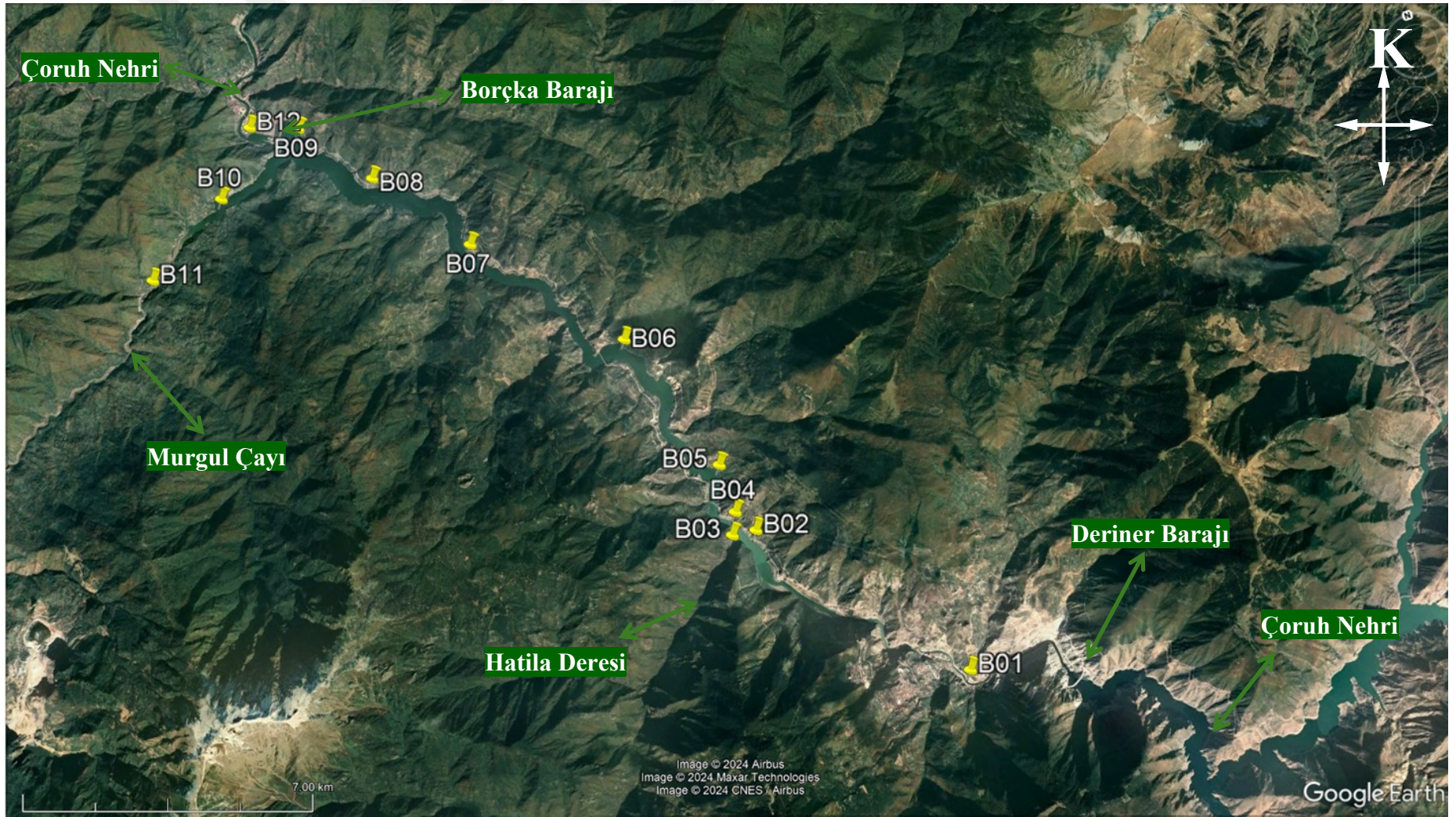
Tipi	: Merkezi kil çekirdekli zonlu dolgu
Baraj yerinde ortalama akım	: $5,655 \times 10^9 \text{ m}^3$
Mak taşkın su kotu	: 187.00 m
Mak işletme su kotu	: 185.00 m
Min işletme su kotu	: 170.00 m
Toplam depolama hacmi	: $418.95 \times 10^6 \text{ m}^3$
Aktif depolama hacmi	: $150.78 \times 10^6 \text{ m}^3$
Hazne alanı (185.00 m kotunda)	: $10.84 \times 10^6 \text{ m}^2$
Hazne uzunluğu	: 30.50 km
Talvegden yükseklik	: 86 m
Kret uzunluğu	: 557 m



Şekil 11. Borçka Baraj Gölü 1/25.000 ölçekli paftaları (DSİ, 2011)

2.3. Su Kalitesi Gözlem İstasyonlarının Belirlenmesi

Yerinde ölçüm yapılacak ve laboratuvarında analiz edilmek üzere yüzeysel ham su örnekleri alınacak gözlem istasyonlarının belirlenmesi amacıyla 14.11.2010 tarihinde bir teknik gezi düzenlenmiş ve nihai yerlerin tespiti yapılmıştır. Barajın membasında Çoruh Nehri üzerinde (B01), Hatila Deresi üzerinde (B03), Hatila Deresi'nin hazneyle birleşim yerinin memba (B02) ve mansabında (B04), hazne alanı içinde beş farklı noktada (B05, B06, B07, B08 ve B09), Murgul Çayı'nın memba (B11) ve mansabında (B10) ve barajın mansabında (B12) olmak üzere toplamda 12 gözlem istasyonu belirlenmiştir.



Şekil 12. Gözlem istasyonlarının seçildiği Borçka Baraj Gölü Havzası uydu görüntüsü (Google Earth, 2024)



(a)



(b)

Şekil 13. (a) B01 ve (b) B03 istasyonlarının genel görünümü



(a)



(b)

Şekil 14. (a) B02 istasyonu genel görünümü ve (b) Hatila Deresinin (B03) gölle birleştiği yerin genel görünümü



(a)



(b)

Şekil 15. (a) B04 ve (b) B05 istasyonlarının genel görünümü



(a)



(b)

Şekil 16. (a) B06 ve (b) B09 istasyonlarının genel görünümü



Şekil 17. B11 istasyonunun genel görünümü



(a)



(b)

Şekil 18. (a) B10 ve (b) B12 istasyonlarının genel görünümü

Tablo 8. Gözlem istasyonları ve koordinatları

İstasyon No	İstasyonun Yeri	Koordinatlar	
		Kuzey	Doğu
B01	Artvin Girişi	41° 10' 41.71"	41° 50' 17.58"
B02	Hatila Deresi (Memba)	41° 13' 19.74"	41° 47' 22.47"
B03	Hatila Deresi	41° 13' 22.28"	41° 46' 55.44"
B04	Hatila Deresi (Mansap)	41° 13' 42.07"	41° 47' 08.30"
B05	Marina	41° 14' 22.89"	41° 47' 06.39"
B06	Tütüncüler	41° 16' 27.78"	41° 46' 07.88"
B07	İbrikli	41° 18' 25.50"	41° 43' 54.10"
B08	Rekreasyon	41° 19' 46.31"	41° 42' 29.65"
B09	Gövde	41° 20' 48.40"	41° 41' 24.16"
B10	Murgul Çayı (Mansap)	41° 20' 05.45"	41° 39' 39.15"
B11	Murgul Çayı (Memba)	41° 19' 15.96"	41° 38' 00.62"
B12	Barajın Mansabı	41° 21' 02.40"	41° 40' 31.73"

2.4. Çalışmanın Gerçekleştirildiği Dönem

Yerinde ölçüm ve yüzeysel ham su örnekleme çalışmaları, kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerini kapsayacak şekilde aylık periyotta gerçekleştirilmiştir. Taşkınların sıklıkla gözlemlendiği Mayıs ayındaki değişimi daha iyi bir şekilde belirleyebilmek için bu ayda iki kez çalışma yapılmış ve tüm gözlem istasyonları için toplamda 13 arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarının yapıldığı tarihler Tablo 9'da verilmektedir.

Tablo 9. Çalışmanın gerçekleştirildiği dönem

Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Tarihler	Tarihler	Tarihler	Tarihler
18.12.2010	19.03.2011	25.06.2011	16.09.2011
22.01.2011	15.04.2011	08.07.2011	11.10.2011
19.02.2011	07.05.2011	19.08.2011	10.11.2011
	28.05.2011		

2.5. Yerinde Ölçülen Parametreler ve Ölçüm İlkeleri

Hydrolab DS5 isimli su kalitesi ölçüm sondası yardımıyla yerinde; T (NTU), Chl-a ($\mu\text{g/L}$), pH, ÇO (mg/L), t ($^{\circ}\text{C}$), özgül iletkenlik ($\mu\text{S/cm}$) ve derinlik (m) parametrelerinin ölçümü gerçekleştirilmiştir. Hydrolab DS5, her çalışmadan önce kalibre edilmiş ve çalışma tamamlandığında ultra saf su ile temizlenerek bir sonraki kullanıma kadar muhafaza edilmiştir. Işık geçirgenliğini tespit etmek içinse Seki diski kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 19. (a) Hydrolab DS5 su kalitesi ölçüm sondası ve (b) Seki disk (22.01.2011)

2.5.1. Bulanıklık Ölçüm İlkesi

Kendi kendini temizleyen bulanıklık sensörü ISO 7027 (International Standart)'e dayalı nephelometrik yöntemi kullanır. Sensör 880 nm ışık kaynağından gönderilen ve su numunesi içindeki partiküllerden 90°'de saçılan ışık yoğunluğunu ölçer. Okumalar NTU olarak görüntülenir. Sensör ayrıca ortam ışığından kaynaklanabilecek hataların önüne geçmek için elektronik modülasyon ve demodülasyon tekniklerini kullanmaktadır. Dahili motor her ölçüm başlangıcında optik yüzeyi otomatik olarak temizler ve kirlenmenin etkileri bu şekilde azaltılmış olur.

Bulanıklık sensörü, 0-100 NTU aralığında $\pm\%1$ hata oranı ve 0.1 NTU hassasiyetle, 100-400 NTU aralığında $\pm\%3$ hata oranı ve 0.1 NTU hassasiyetle ve 400-3000 NTU aralığında $\pm\%5$ hata oranı ve 1 NTU hassasiyetle bulanıklık ölçümü yapabilmektedir.

2.5.2. Çözünmüş Oksijen Ölçüm İlkesi

Lüminesans çözünmüş oksijen (Luminescence dissolved oxygen, LDO) ölçümü, mavi ve kırmızı optiklerin faz modülasyon tekniği kullanılarak gerçekleştirilen ölçümüne dayanır. Bu yöntemin ölçüm prensibine göre, bir numunedeki ÇO miktarı arttıkça, yansıyan kırmızı ışığın süresi kısalır ve bu durum LDO değerlerinin ölçülmesini sağlar.

0-8 mg/L aralığında ± 0.01 mg/L, 8 mg/L'den yüksek değerlerde ise ± 0.02 mg/L hata oranı ile ÇO ölçümü gerçekleştirebilen LDO sensörü; 0-30 mg/L aralığında 0.01 mg/L hassasiyetle bu ölçümü yapabilmektedir.

2.5.3. Sıcaklık Ölçüm İlkesi

t ölçümü; ÇO, özgül iletkenlik, tuzluluk, pH parametrelerinin tespiti için gereklidir.

Hydrolab DS5, -5°C ile 50°C aralığında $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ hata payı ve 0.01°C hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir.

2.5.4. Elektriksel İletkenlik Ölçüm İlkesi

Eİ, bir çözeltideki elektrik akımı oluşturan inorganik çözülmüş katılardan gelen iyonların hareketiyle ilgilidir. Eİ ölçümü, en yaygın yöntem olan iki elektrot yöntemine göre çözeltide iki elektrot arasındaki direncin ölçülmesi esasına dayanır. İki elektrot arasında gerilim uygulanır ve çözeltideki gerilimin azalmasına sebep olan direnç, her bir santimetre için iletkenlik hesaplanır. 25°C 'de bu ölçüm özgül iletkenlik olarak adlandırılmaktadır. Sensör ölçümleri tuzluluk, TÇKM ve özdirenci elde etmek için kullanılır.

Özgül iletkenlik sensörü, 0-100,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında $\pm 1\%$ hata oranı ve 0.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir.

2.5.5. Klorofil-a Ölçüm İlkesi

Chl-a sensörü, su örneklerinde Chl-a konsantrasyonunu ölçen yerinde optik bir florometredir. Su numunesi mavi ışıkla (460 nm) aydınlatılır. Chl-a mavi ışık enerjisini emerken; floresal ışık ya da kırmızı ışık (620 nm-715 nm) yayar. Sensör doğrudan su numunesindeki Chl-a tarafından yayılan kırmızı ışık miktarını ölçmektedir.

$\pm 3\%$ hata oranı ve 0.01 $\mu\text{g}/\text{L}$ hassasiyetle ölçüm gerçekleştirebilen Chl-a sensörü, 0-500 $\mu\text{g}/\text{L}$ ölçüm aralığına sahiptir.

2.5.6. pH Ölçüm İlkesi

pH ölçümü, genellikle yüksek hassasiyetli bir cam elektrot ile referans elektrot arasındaki gerilimin elektrokimyasal yöntemlerle belirlenmesine dayanır. Bir asit çözeltisinde pozitif elektrik gerilimi ölçülürken, bir alkalın çözeltisinde ise; negatif bir elektrik gerilimi ölçülür. Ayrıca, pH ölçüm cihazlarının kullanım öncesi standart bir pH çözeltisi ile kalibre edilmesi gerekmektedir.

pH sensörünün ölçüm aralığı 0-14 olup, ± 0.2 hata payı ve 0.01 hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir.

2.5.7. Hazne Su Derinliği Ölçüm İlkesi

Hidrostatik basınç değişimleri otomatik olarak su seviyesindeki değişimlere dönüştürülerek; su sütunu içinde diğer parametrelerin ölçümünün yapıldığı derinlik tespit edilmektedir.

Hydrolab DS5 0-100 m aralığında ± 0.05 m hata payı ve 0.01 m hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir.

2.5.8. Işık Geçirgenliği Ölçüm İlkesi

Seki diski, çapı genellikle 20 cm olan yuvarlak bir disk olup, üzerinde su içinde görülebilmesi için delikler bulunmaktadır. Seki diski, suya daldırılarak suyun dibine doğru bırakılır ve diskin su içinde görülebildiği en son derinlik ölçülerek, SDD'nin kaç cm olduğu belirlenir. Su bulanıklığı arttıkça bu derinlik azalırken, su berrak olduğunda ise artış gösterir.

2.6. Ham Su Örneklerinin Alınması ve Muhafazası

Yüzeysel ham su örneklerinin alınması, muhafazası ve laboratuvara taşınması, standart yöntemlere uygun şekilde gerçekleştirilmiştir (APHA, 1992). Su örnekleri alınırken 500 mL hacmindeki polietilen tereftalat (PET) numune kapları tercih edilmiştir. Olası kirliliği önlemek amacıyla, numune kapları sıcak su ve fırça ile temizlenmiş,

ardından saf su ile durulanarak kurutulmuştur. Örnekleme sırasında, su örneklerinin alınacağı numune kapları akarsuyun suyu ile birkaç kez çalkalanmış; üzerinde hava kalmayacak bir biçimde doldurularak kapakları sıkıca kapatılmıştır.

Ham su örneklerinin $+4^{\circ}\text{C}$ 'de muhafazası için buz kasetleri ile donatılmış büyük hacimli numune kabı kullanılmıştır. Kullanılan buz kasetleri 220 ve 400 gr ağırlığında olup, derin dondurucuda -24°C 'de muhafaza edilmişlerdir. Laboratuvara getirilen su örneklerinin sıcaklıkları kontrol edilmiş, $+4^{\circ}\text{C}$ 'yi aşmadıkları ve bu durumlarını korudukları anlaşılmıştır.



Şekil 20. Ham su örneklerinin muhafazası

2.7. Ham Su Örneklerinin Filtre Edilmesi

TN, TP ve KOİ parametreleri için su örneklerinin analiz edilmeden önce laboratuvarında filtre edilmesi gerekmektedir. AKM tayini için $1.2\ \mu\text{m}$ gözenek boyutuna sahip 55 mm çapındaki Sartorius marka cam elyaf (FT-3-1103-055) filtreler kullanılırken, diğer parametreler için $0.45\ \mu\text{m}$ gözenek boyutuna sahip 50 mm çapındaki selüloz asetat (11106-50-N) filtreler kullanılmıştır. Filtrasyon işlemi için 47 mm çaplı süzme haznesine sahip Sartorius marka vakumlu filtrasyon seti (kod no: 16307) kullanılmıştır.



Şekil 21. (a) Vakum pompası ve (b) filtrasyon seti

2.8. Laboratuvarda Analizi Gerçekleştirilen Parametreler ve Analiz İlkeleri

Yüzeysel ham su örnekleri, gözenek boyutu $1.2\ \mu\text{m}$ olan cam elyaf filtreler kullanılarak süzölmüş ve AKM tayini gerçekleştirilmiştir. Su örneklerinin gözenek boyutu $0.45\ \mu\text{m}$ olan selüloz asetat filtrelerden süzölen kısmı ile de TN, TP ve KOİ tayinleri Alman menşeli Dr. Lange Cadas 200 marka spektrofotometre ve ilgili küvet testler (kit) yardımıyla yapılmıştır.

2.8.1. Askıda Katı Madde Tayini

Cam elyaf filtreler kullanım öncesi, saf su ile yıkanmış, etüvde 105°C 'de kurutulmuş ve kullanıma kadar desikatörde tutulmuştur. Cam elyaf filtreler $0.0001\ \text{mg}$ hassasiyetle ölçüm yapabilen Sartorius marka (ED224S) analitik terazi ile tartıldıktan sonra yüzeysel ham su örnekleri filtre edilmiştir. Filtrasyon işlemi sonrasında, filtre kağıtları 105°C 'deki etüvde altı saat kurutulmuş, ardından desikatörde soğumaya bırakılmış ve tekrar analitik teraziyle tartılmıştır. Son ağırlıktan ilk ağırlık çıkarılarak elde edilen fark örnek hacmine bölünerek mg/L olarak AKM belirlenmiştir (Bayram, 2011).

2.8.2. Toplam Azot Tayini

Organik ve inorganik bağı azot peroksodisülfat, sindirim süreci sonunda nitrata oksitlenir. NO_3 iyonları, nitro fenol üretmek amacıyla sülfirik ve fosforik çözeltide 2.6 dimetil fenol ile reaksiyona girer. Ölçüm işlemi, 10 mm'lik bir küvet kullanılarak Ultraviolet-Visible (UV-VIS) spektrofotometrede 370 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemi kullanarak tayini gerçekleştirmek için numunelerin sıcaklığı 15-25°C aralığında tutulmuştur (Bayram, 2011).

2.8.3. Toplam Fosfat Fosforu Tayini

Asidik bir çözeltide fosfat iyonları molibdat ve antimon iyonlarıyla etkileşime girerek, askorbik asit ile fosfo molibdenyum mavisine dönüştürülmüş antimon fosfomolibdat kompleksini oluşturur. Ölçüm işlemi, 10 mm'lik bir küvet kullanılarak spektrofotometrede 850 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemi kullanarak tayini gerçekleştirmek için numunelerin sıcaklığı 15-25°C aralığında tutulmuştur (Bayram, 2011; Satılmış, 2015).

2.8.4. Kimyasal Oksijen İhtiyacı Tayini

Oksitlenebilir maddeler, gümüş sülfatın katalizör olarak kullanıldığı sülfirik asit-potasyum dikromat çözeltisi ile etkileşime girer. Bu süreçte klorür, cıva sülfat ile maskelenir. Cr^{6+} 'nın sarı rengindeki azalma değerlendirilir (Bayram, 2011).

148°C'ye kadar ısıtılmış olan termostata 10 mm'lik küvetler yerleştirilerek 120 dakikalık bir reaksiyon süreci başlatılır. Süre tamamlandığında, termostattan çıkarılan küvetlerin oda sıcaklığına gelmesi beklenir. Soğuyan kitlerin spektrofotometrede ölçümü gerçekleştirilir.

2.9. Borçka Baraj Gölü İçin Trofik Durumun Belirlenmesi

Göl, gölet ve baraj göllerinin trofik seviyeleri 16.06.2021 tarih ve 31513 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde yer alan "Göl, Gölet ve Baraj

Göllerinin Trofik Seviyeleri” sınır değerlerine göre belirlenmiştir ve bu sınır değerler Tablo 10’da verilmektedir. Sınıflandırmada SDD, Chl-a, TN ve TP parametrelerine ait değerler esas alınır. TSI hesaplamasında; TP ve Chl-a parametrelerinin birimi $\mu\text{g/L}$, TN parametresinin birimi mg/L iken SDD ise m olarak dikkate alınır.

Tablo 10. Göl, gölet ve baraj göllerinin trofik seviyeleri (YSKY, 2021)

TSI Değeri	Trofik Seviye
>62	Hipertrofik
62	Ötrofik
60	Mezotrofik
44	Oligotrofik
≤ 29	Ultraoligotrofik

TSI değeri hesaplanırken aşağıdaki Eşitlikler (13)-(17) kullanılır. Nihai TSI değeri, dört parametre için verilen denklemler ile hesaplanan indeks değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak belirlenir (YSKY, 2021).

$$\text{TSI}(\text{SDD}) = 60 - 14.41 \times \ln(\text{SDD}) \quad (13)$$

$$\text{TSI}(\text{Chl-a}) = 9.81 \times \ln(\text{Chl-a}) + 30.6 \quad (14)$$

$$\text{TSI}(\text{TP}) = 14.42 \times \ln(\text{TP}) + 4.15 \quad (15)$$

$$\text{TSI}(\text{TN}) = 54.45 + 14.43 \times \ln(\text{TN}) \quad (16)$$

$$\text{TSI}(\text{Ort}) = [\text{TSI}(\text{SDD}) + \text{TSI}(\text{Chl-a}) + \text{TSI}(\text{TP}) + \text{TSI}(\text{TN})] / 4 \quad (17)$$

2.10. Borçka Baraj Gölü Havzası Uydu Görüntüsünün İşlenmesi

Bu çalışma kapsamında yapılan uzaktan algılama tabanlı analizlerde DijitalGlobe şirketi tarafından yönetilen WorldView-2 uydusu tarafından algılanmış çok bantlı uydu görüntüsü geometrik ve radyometrik düzeltmeleri yapılmış halde temin edilmiştir. Söz konusu görüntü mavi (450-510 nm), kırmızı (630-690 nm), yeşil (510-580 nm) ve yakın kızılötesi (770-895 nm) bantlarından oluşmaktadır. Çalışmanın amaçları doğrultusunda 10.11.2011 tarihinde algılanmış görüntü tercih edilmiştir.

Çalışmada yersel verilerinin bulunduğu konumlara ilişkin uzaktan algılanmış verilerin birlikte modelleme sürecinde daha başarılı sonuçlar elde edebilmek için görüntüye çeşitli kalibrasyon işlemleri (ya da teknikleri) uygulanmıştır. Öncelikle

görüntülere ilişkin piksel değerleri radyans ($\text{W/m}^2\text{sr}^1\mu\text{m}^1$) biriminde hesaplanmıştır. Bu işlemin yapılmasındaki amaç; radyans biriminin literatürde yaygın olarak kullanılan genel manada bir fiziksel ölçüm birimi olmasıdır. Bu işlemin ardından görüntüye ilişkin radyans değerleri görüntünün header verisi içerisindeki uygun parametrelerle TOA (Top of Atmosphere) yansıma değerlerine dönüştürülmüştür. TOA yansıma değerleri üzerinde görüntü alım geometrisine, zamanına ve o andaki atmosferik koşullara bağlı olarak çeşitli hatalar bulunabilmektedir. Yüzey yansıma değerlerine ancak söz konusu hataların giderilmesi sonucunda ulaşılabilir. Dolayısıyla görüntüye ENVI (Environment for Visualizing Imagery) yazılımı yardımıyla atmosfere ilişkin öncül parametre gerektirmeyen görüntü tabanlı QUAC (Quic Atmospheric Correction) algoritması uygulanmış ve yüzey yansıma değerleri elde edilmiştir.

Regresyon aşamasında kullanılmak üzere yersel örneklerle ilişkin ölçülmüş konum bilgileri yardımıyla görüntüde her bir örnek konumuna karşılık gelen pikseller belirlenmiştir. Kurulacak regresyon modelinde en iyi kestirim performansını elde edilebilmek için söz konusu piksellerin mevcut tüm görüntü bantlarındaki yüzey yansıma değerleri kaydedilmiştir.

2.11. Borçka Baraj Gölü Havzası Uydu Görüntüsü Üzerinde Ölçüm Noktalarının Belirlenmesi

Regresyon analizine başlamadan önce analizde kullanılacak ölçüm noktaları belirlenmiştir. Toplamda 12 adet ölçüm noktası içinden belirlenen altı noktanın (B05-B10) değerleri ile analiz yapılmıştır. Diğer altı ölçüm noktasının seçilmeme sebepleri şu şekilde sıralanabilir:

- B01: Şekil 12'den de görülebileceği gibi, bu istasyon baraj gölü dışında Çoruh Nehri üzerinde olup su akış halindedir.
- B02: Bu istasyon her ne kadar baraj gölü içerisinde kalsa da R^2 değerini AKM'de %6, bulanıklıkta %9 ve Chl-a'da %13 düşürdüğü için denklemler kurulurken dikkate alınmamıştır.
- B03 ve B04: İstasyonlara ait yerinde ölçüm değerleri kısıtlı kalmıştır.
- B11: Murgul Çayı'nın memba kısmında ve suyun akış halinde olması nedeniyle dikkate alınmamıştır.
- B12: Baraj mansabında yani baraj gölü dışında olduğundan dikkate alınmamıştır.

2.12. Askıda Katı Madde, Bulanıklık ve Klorofil-a Haritalarının Üretilmesi

MATLAB ortamında görüntüye ilişkin yüzey yansıma değerlerine AKM, T ve Chl-a tahmin algoritmaları uygulanarak AKM, T ve Chl-a haritaları oluşturulmuştur. Bu görüntüler üzerinden karasal bölgeler çeşitli görüntü işleme teknikleri yardımıyla maskelenerek AKM, T ve Chl-a değerleri ve dağılımı ortaya konmuştur.



3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. Arazi ve Laboratuvar Çalışmalarından Elde Edilen Bulgular

Borçka Baraj Gölü, Çoruh Nehri, Murgul Çayı ve Hatila Deresi'nde seçilen on iki istasyonda Aralık 2010-Kasım 2011 arasındaki dönemi kapsayan bir yıl boyunca aylık olarak yerinde gerçekleştirilen T, ÇO, pH, t, SD, özgül iletkenlik, Chl-a ve SDD ölçümleri ile laboratuvarda gerçekleştirilen AKM, TN, TP ve KOİ analizleri sonucu elde edilen bulgular her bir istasyon için mevsimlik olarak en küçük değer (min), ortalama değer (ort), en büyük değer (mak) ve standart sapma (S) şeklinde sırasıyla Ek 1-12'de verilmektedir.

Korelasyon katsayısı (R), iki değişkenin arasındaki ilişkiyi belirlemede yaygın kullanılan bir ölçüdür. Yerinde ve laboratuvarda yapılan ölçüm ve analizler neticesinde elde edilen verilerin analizi, SPSS (Statistical Package for Social Sciences) bilgisayar programı aracılığıyla yapılmıştır. Takibi yapılan parametrelerin her bir istasyonda elde edilen değerlerine ait Pearson korelasyon matrisleri ise sırasıyla Ek 13-24'te verilmektedir.

3.2. Su Kalitesi İndeksleri ve Trofik Seviye İndeksi Uygulamalarına Ait Bulgular

CWQI uygulaması ve WAWQI uygulamaları için izleme çalışmalarından; ÇO, t, Eİ, pH, Chl-a, T, AKM, TN, TP ve KOİ su kalitesi parametreleri için elde edilen ölçüm sonuçlarından faydalanılmıştır. Tablo 11'de CWQI uygulamasına ait sırasıyla başarısız parametre sayısı, toplam parametre sayısı, F_1 , toplam test sayısı, başarısız test sayısı, F_2 , sapmalar toplamı, nse, F_3 ve CWQI değerleri verilmektedir. Tablo 12'de ise WAWQI uygulamasında değerlendirilen su kalite parametrelerinin standart değer, deneysel değer, K ve birim ağırlıkları yer almaktadır. İzleme noktaları için CWQI ve WAWQI uygulamaları ile belirlenen su kalite sınıfları ise Tablo 13'te verilmektedir.

TSI uygulamasında su kalitesi verilerinden hesaplanan TSI(SDD), TSI(TN), TSI(TP), TSI(Chl-a) ve TSI(Ort) değerlerinin dönemsel değişimi ise Tablo 14'te verilmektedir.

Tablo 11. CWQI uygulamasında hesaplanan faktörler ve kalite sınıfları

İzleme noktası	Başarısız parametre sayısı	Toplam parametre sayısı	F ₁	Başarısız test sayısı	Toplam test sayısı	F ₂	Sapmalar toplamı	nse	F ₃	CWQI	Su kalite sınıfı
B01	2	8	25.00	26	103	25.24	868.82	8.44	89.40	44.46	Kötü
B02	4	10	40.00	41	129	31.78	1,409.63	10.93	91.62	39.44	Kötü
B03	3	7	42.86	8	28	28.57	83.93	3.00	74.99	47.48	Zayıf
B04	3	7	42.86	9	24	37.50	321.70	13.40	93.06	37.01	Kötü
B05	5	10	50.00	39	129	30.23	525.51	4.07	80.29	42.67	Kötü
B06	3	7	42.86	27	91	29.67	130.45	1.43	58.91	54.59	Zayıf
B07	2	7	28.57	23	91	25.27	76.50	0.84	45.67	65.64	Orta
B08	3	7	42.86	25	91	27.47	6433	0.71	41.41	62.11	Zayıf
B09	3	7	42.86	25	91	27.47	76.09	0.84	45.54	60.56	Zayıf
B10	5	10	50.00	43	129	33.33	108.07	0.84	45.58	56.45	Zayıf
B11	2	8	25.00	26	103	25.24	1,714.08	16.64	94.33	41.80	Kötü
B12	3	8	37.50	28	103	27.18	101.48	0.99	49.63	60.81	Zayıf

Tablo 12. WAWQI uygulamasındaki parametrelere ait katsayılar

Parametre	Birim	V _s	V _e	K	W _i	Q _i	Q _i × W _i
pH	-	9.00	8.24	0.019	0.00208	61.76	0.12858
Eİ	µS/cm	400.00	212.53	0.019	0.00005	53.13	0.00252
ÇO	mg/L	8.00	10.15	0.019	0.00238	67.45	0.16020
KOİ	mg/L	25.00	5.79	0.019	0.00076	23.18	0.01762
TN	mg/L	3.50	0.68	0.019	0.00543	19.44	0.10551
TP	mg/L	0.08	0.09	0.019	0.23750	113.79	27.02438
t	°C	25.00	13.93	0.019	0.00076	55.71	0.04234
AKM	mg/L	15.00	107.57	0.019	0.00127	717.14	0.90838
Chl-a	mg/L	0.025	0.0025	0.019	0.76000	9.91	7.52990
T	NTU	5.00	180.91	0.019	0.00380	3,618.27	13.74942

Tablo 13. Borçka Baraj Gölü Havzası için CWQI ve WAWQI su kalite sınıfları

İzleme noktası	CWQI	Su kalite sınıfı	WAWQI	Su kalite sınıfı
B01	44.46	Kötü	208.07	Çok kötü
B02	39.44	Kötü	65.40	Orta
B03	47.48	Zayıf	13.91	Çok iyi
B04	37.01	Kötü	39.91	İyi
B05	42.67	Kötü	50.64	Orta
B06	54.59	Zayıf	17.96	Çok iyi
B07	65.64	Orta	13.83	Çok iyi
B08	62.11	Zayıf	15.64	Çok iyi
B09	60.56	Zayıf	13.17	Çok iyi
B10	56.45	Zayıf	37.22	İyi
B11	41.80	Kötü	308.31	Çok kötü
B12	60.81	Zayıf	123.72	Çok kötü

Tablo 14. Trofik Seviye İndeksi parametrelerinin dönemsel değişimleri ve istatistiksel bulgular

Dönem	Temel istatistikler	TSI(SDD)	TSI(Chl-a)	TSI(TP)	TSI(TN)	TSI(Ort)
Kış	Min	40.0	18.8	96.3	47.0	18.8
	Ort	59.1	31.1	102.6	53.3	37.1
	Mak	93.2	45.0	106.3	57.0	68.5
	S	14.8	8.1	3.7	3.7	19.4
İlkbahar	Min	60.0	23.0	94.0	44.6	22.0
	Ort	83.4	31.2	100.2	50.8	37.9
	Mak	103.2	50.0	105.4	56.1	70.5
	S	10.5	6.2	3.4	3.4	16.6
Yaz	Min	55.2	23.0	74.1	24.8	23.1
	Ort	67.3	41.4	92.8	43.5	38.8
	Mak	83.2	59.8	101.1	51.7	65.7
	S	7.7	11.2	8.2	8.2	16.4
Sonbahar	Min	51.5	28.2	84.8	35.4	22.5
	Ort	60.1	36.1	91.7	42.3	36.3
	Mak	70.0	46.3	110.2	60.9	59.9
	S	5.2	4.4	7.6	7.6	15.6
Yıllık	Min	40.0	18.8	74.1	24.8	18.2
	Ort	69.6	34.8	96.8	47.5	37.6
	Mak	103.2	59.8	110.2	60.9	70.5
	S	14.3	8.9	7.5	7.5	16.7

Min: en küçük, Ort: ortalama, Mak: en büyük, S: standart sapma

3.3. Arazi ve Laboratuvar Çalışmalarından Elde Edilen Bulguların İrdelenmesi

T ve AKM'nin hazne su kotuna göre yıllık değişimi, üç adet dörtlü veri seti oluşturularak irdelendiğinden; Aralık 2010'a ait veriler bu değerlendirmenin dışında tutulmuş ve on iki çalışmaya ait veriler kullanılmıştır. Parametrelerin yıllık değişimi ile ilgili irdelemede ise Aralık 2010'a ait veriler de değerlendirmeye katılmıştır.

07.05.2011 tarihli çalışmaya ait TN analizlerinde B10 ve B12 istasyonlarına ait değerler tespit edilemediğinden bu tarihli çalışmaya ait TN değerleri değerlendirme dışında tutulmuştur. TP ve KOİ yıllık değişimi irdelemelerinde de bütünlük sağlanması amacıyla 07.05.2011 tarihli çalışmaya ait veriler değerlendirmeye katılmamış ve bu parametreler için 28.05.2011 tarihli çalışmaya ait analiz sonuçları kullanılmıştır.

3.3.1. Bulanıklık ve Askıda Katı Maddenin Hazne Su Kotuna Göre Yıllık Değişimi

Yüzey suyu AKM ve T değerlerinin hazne su kotuna bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Hazne su kotundaki değişimin AKM ve T değişimi üzerindeki etkisini daha iyi anlayabilmek için AKM ve T üç grupta değerlendirilmiştir.

İlk dörtlü grup Ocaktan Nisana kadar olup hazne su kotu < 175 m, ikinci dörtlü grup Mayıstan Temmuz'a kadar olup hazne su kotu > 180 m ve son dörtlü grup Ağustostan Kasım'a kadar olup hazne su kotu 175-180 m arasındadır.

Ocak-Nisan döneminde düşük SD sebebiyle B03 ve B04 istasyonlarına ulaşım sağlanamadığından, bu noktalarda yerinde ölçümler ve yüzeysel su örnekleme çalışmaları yapılamamıştır. Borçka Baraj Gölü'ndeki su kotu 173.24-171.45 m arasında değişmiş ve en düşük ortalama değere bu periyotta ulaşmıştır.

Çoruh Nehri üzerinde; B01 istasyonunda T ve AKM sırasıyla 1256-30 NTU ve 1333.3-59.1 mg/L arasında değişirken, B02 istasyonunda ise 1335-39 NTU ve 1663.6-69 mg/L arasında değişmiştir. B01 istasyonu için sırasıyla 402 NTU ve 462.8 mg/L olan ortalama T ve AKM değerleri ile B02 istasyonu için sırasıyla 468 NTU ve 543.4 mg/L olan ortalama T ve AKM değerleri karşılaştırıldığında bulanıklıkta %16'lık AKM'de ise %17'lik bir artışın olduğu görülmüştür. Göl su seviyelerinin düşük olduğu bu gruba ait gözlemlerde, membadaki Deriner Barajı için nehir yatağı taramasının yapılmış olması ve nehir yatağının iri daneli kum, çakıl ve kaba çakıldan oluşması sebebiyle Çoruh Nehri'nin B01 istasyonu yakınında kısmen daha düşük T değerlerine sahip olduğu düşünülmektedir. Yüksek göl su seviyeleri esnasında ince daneli kum, silt ve kilin nehir yatağında depolandığı B01 ve B02 istasyonları arasında, nehir kıvrıla kıvrıla akma ve yatağındaki malzemeyi tekrar askıya alma eğilimindedir. B02 istasyonundaki bulanıklıktaki artış tabanda depolanan malzemenin yeniden askıya geçmesinden kaynaklanmaktadır. Sonraki istasyonlarda ise T değerleri azalma eğilimi göstermiştir. Çünkü Çoruh Nehri tarafından taşınan ve yeniden askıya geçen sedimentin tamamı ya da bir kısmı ve yatak yükünün tamamı, düşük akış hızının sonucu olarak Borçka Baraj Gölü'ndeki durgun suda depolanmış ve ortalama SDD'nin 110 cm ile en yüksek olduğu B08 istasyonunda en düşük AKM ve T değerleri kaydedilmiştir.

Murgul Çayı'nda; B11 istasyonunda T ve AKM sırasıyla 402-58 NTU ve 609.3-89.6 mg/L arasında değişmiş ve B10 istasyonu ile karşılaştırıldığında ortalama 158 NTU ve 230 mg/L ile daha yüksek değerler aldığı gözlemlenmiştir. Sonrasında T değerleri için azalma

eğilimi gözlemlenmiştir. Çünkü Murgul Çayı ile taşınan yatak yükünün tamamı ve asılı yükün tamamı ya da bir kısmı düşük akış hızı sebebiyle Borçka Baraj Gölü'nün durgun suyunda depolanmış ve SD ile SDD'nin en yüksek olduğu B08 istasyonunda en düşük AKM ve T değerleri kaydedilmiştir.

İlk dört çalışmaya göre ana kolda B02 ve yan kolda B11 istasyonlarında en yüksek değerler kaydedilirken, B08 istasyonunda ise en düşük değerler kaydedilmiştir. B08 ve B01 istasyonları arasındaki karşılaştırma göstermiştir ki, haznedeki uzun hidrolik bekleme süresi sebebiyle nehirdeki AKM'nin %93'ü çökmüş ve nehir bulaklığı %95 azalmıştır. Bununla birlikte, B08 istasyonu ile Borçka Baraj Gölü'nden Muratlı Baraj Gölü'ne bırakılan suyun bulunduğu noktadaki B12 istasyonu karşılaştırıldığında görülmüştür ki Murgul Çayı hazne yüzey suyu bulanıklığında %3'lük AKM'de ise %31'lik bir artışa sebep olmuştur.

Mayıs-Temmuz döneminde hazne su kotu 182.51-179.72 m arasında değişim göstermiş ve en yüksek ortalama hazne su kotu 181.66 m olarak bu peryotta kaydedilmiştir. B08 istasyonunda ortalama su derinliği 64.3 m ile en yüksek değeri almıştır. Mayıs ayında sıcaklıkların artmasıyla kışın yağın karlar erimekte ve ilkbahar yağmurları ile birlikte akarsu debisinde çok ciddi bir artış ortaya çıkmaktadır. Mayıs ayındaki bu artış ana koldaki AKM ve T değerlerindeki artışın başlıca sebebi olmaktadır. Havzadaki arazi eğiminin fazla oluşu yağış sularını hızla akışa geçirmekte ve erozyona uğrayan malzeme yamaç suları ile hazneye ulaşarak haznedeki bulanıklığı arttırmaktadır. B01 de sırasıyla T ve AKM değerleri 1374-55 NTU ve 1382.9-40.9 mg/L arasında değişirken ana kol üzerinde en yüksek ortalama değeri bu istasyonda almıştır. Sonrasında AKM ve T değerleri için azalma eğilimi gözlemlenmiştir. Çünkü Çoruh Nehri ile taşınan yatak yükünün tamamı ve asılı yükün tamamı ya da bir kısmı yüksek su seviyelerinden kaynaklanan düşük akış hızları sebebiyle Borçka Baraj Gölü'nün durgun suyunda depolanmıştır.

B03 ve B04 istasyonlarına yüksek su seviyelerinden dolayı tekne ile ulaşım sağlanabildiğinden arazi ölçümleri yapılarak numuneler alınabilmektedir. Borçka Baraj Gölü'ndeki B04 istasyonunda AKM ve bulanıklıkta beklenmedik ani bir artış kaydedilmiştir. Çalışma alanındaki gözlemler, Borçka Baraj Gölü'ne dökülen Hatila Deresi'nin hazneye mansaplandığı noktada çoğunlukla ince daneli kum, silt ve kilin depolandığını göstermiştir. Yüksek akım hızları ile birlikte akım oranlarındaki artıştan dolayı Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında B04 istasyonunda sırasıyla T ve AKM 918-35

NTU ve 565.1-15.3 mg/L arasında değişerek yeniden yükselen değerler almıştır. Çünkü Hatıla'nın yüksek dere eğimi dere ağzındaki silt ve kili yeniden askıya alarak hazne içine tahliye etmektedir. Sonrasında AKM ve T değerleri düşüş eğilimi göstermiş ve ortalama SDD'nin 62.5 cm olduğu B10 istasyonunda sırasıyla T ve AKM değerleri 30-13 NTU ve 27.6-20.4 mg/L arasında değişerek ortalama 22 NTU ve 24 mg/L ile minimum değerlere bu noktada ulaşılmıştır.

Murgul Çayı'nda; B11 istasyonunda sırasıyla T ve AKM değerleri 243-48 NTU ve 191-57.6 mg/L arasında değişim göstermiş ve B10 istasyonu ile karşılaştırıldığında ortalama 155 NTU ve 121.3 mg/L ile B11 istasyonunun daha yüksek değerler aldığı gözlemlenmiştir. Sonrasında AKM ve T değerleri için azalma eğilimi gözlemlendi. Çünkü Murgul Çayı ile taşınan yatak yükünün tamamı ve asılı yükün tamamı ya da bir kısmı düşük akış hızı sebebiyle Borçka Baraj Gölü'nün durgun suyunda depolanmıştır.

Sonuç olarak en yüksek değerler ana kolda B01, yan kolda B11 istasyonunda ve en düşük değerler B10 istasyonunda kaydedilmiştir. B01 ve B10 karşılaştırması göstermiştir ki, haznedeki uzun hidrolik bekleme süresi sebebiyle nehir AKM'nin %96'sı çökelmiş ve nehir bulanıklığının %96'sı azalmıştır. Bununla birlikte B10 istasyonu ile Borçka Baraj Gölü'nden Muratlı Baraj Gölü'ne bırakılan suyun bulunduğu noktadaki B12 istasyonu karşılaştırıldığında anlaşılmıştır ki Murgul Çayı hazne yüzey suyu bulanıklığında %218'lik ve AKM'de ise %36'lık bir artışa sebep olmuştur.

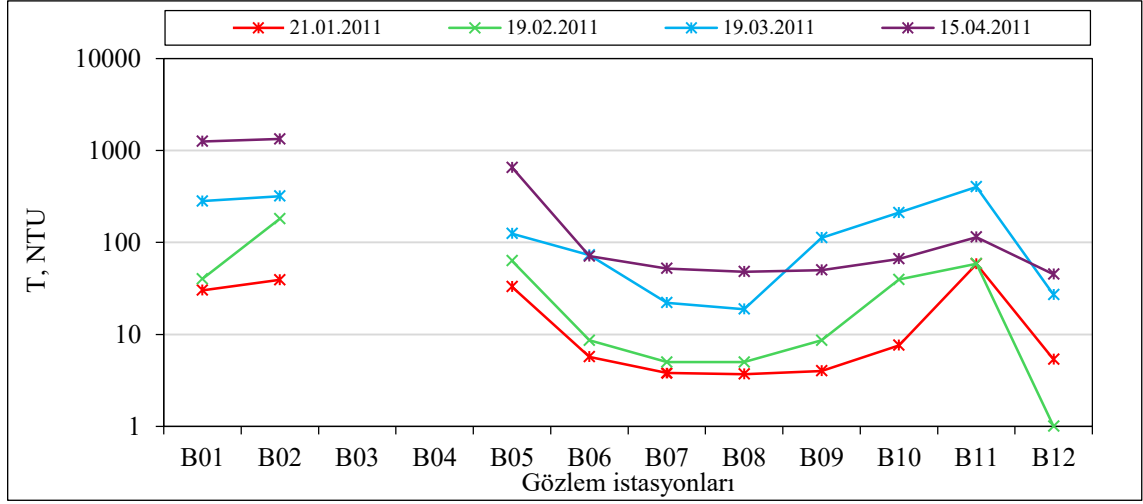
En son dört ardışık çalışma 13 Ağustos, 16 Eylül, 10 Ekim ve 10 Kasım tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Borçka Baraj Gölü'nde 179.31-174.50 m arasında değişen ve ortalama 176.56 m olan düşük hazne su kotları sebebiyle B03 ve B04 istasyonlarında yerinde ölçümler ve yüzey suyu örneklemeye çalışmaları yine gerçekleştirilememiştir. Ortalama SD en yüksek B08 istasyonunda olup, 58.10 m'dir.

Ana kolda; B01 istasyonunda sırasıyla T ve AKM 104-22 NTU ve 140.8-28.4 mg/L arasında değişirken, B02 istasyonunda ise 901-113 NTU ve 1015.9-80.4 mg/L arasında değişmiştir. Ortalama değerler B01 için 74 NTU ve 96.6 mg/L, B02 için 482 NTU ve 540.7 mg/L'dir ve AKM'de %458'lik ve bulanıklıkta %551'lik büyük bir artış olmuştur. Daha öncede belirtildiği üzere Çoruh Nehri B01 ve B02 istasyonları arasında nehir yatağındaki malzemeyi yeniden askıya almış ve bu durum B02'de bulanıklıkta artışa sebep olmuştur. Sonrasında Çoruh Nehri tarafından taşınan ve yeniden askıya geçen asılı sedimentin tamamı ya da bir kısmı ve yatak yükünün tamamı, düşük akış hızının sonucu olarak Borçka Baraj Gölü'ndeki durgun suda depolandığından T değerleri azalmıştır. En

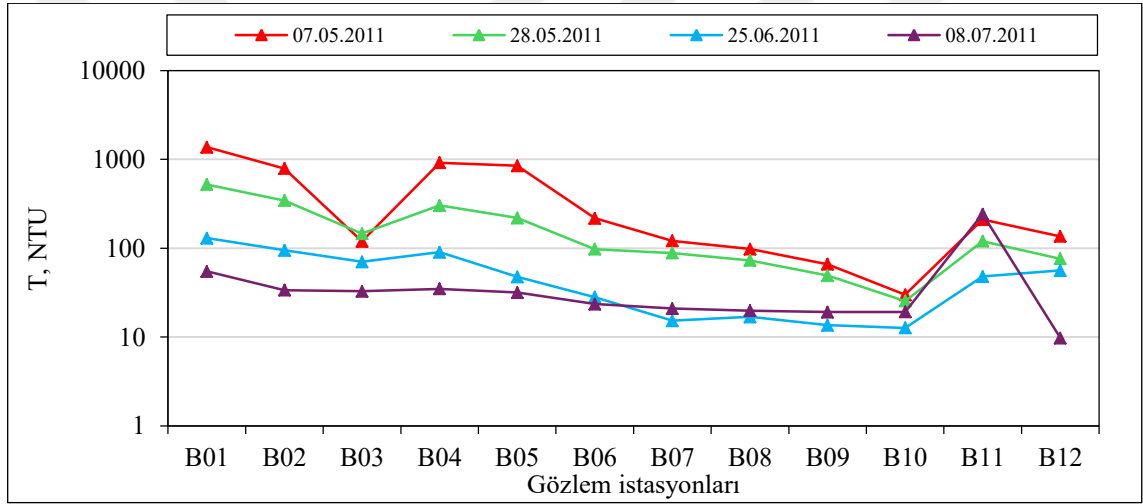
yüksek ortalama SDD değeri, 113 cm ile B08’de olduğu halde, en düşük T değerleri B09’da ölçülmüştür.

Murgul Çayı’nda; B11 istasyonunda sırasıyla T ve AKM sırasıyla > 3000 -135 NTU ve 170,063.5-126.5 mg/L arasında değişmiştir. Bakır madeninden dereye deşarjdan dolayı sırasıyla ortalama T ve AKM’nin sırasıyla > 1822 NTU ve 50,623.4 mg/L olduğu B11 istasyonunda en yüksek değerler ölçülmüştür. Sonrasında dere tarafından taşınan yatak yükünün tamamı ve asılı yükün tamamı ya da bir kısmı düşük akış hızı sebebiyle Borçka Baraj Gölü’nün durgun suyunda depolandığından ölçülen T değerlerinde ani bir azalma olmuştur. Sonuç olarak en yüksek değerler ana kolda B02’de, yan kolda B11’de kaydedilirken, en düşük değerler B09’da kaydedilmiştir. B09 ve B01 karşılaştırması göstermiştir ki, haznedeki uzun hidrolik bekleme süresi sebebiyle nehir AKM’nin %77’si çökelmiş ve nehir bulanıklığı %85 azalmıştır. Bununla beraber, bakır madeninden Murgul Çayı’na deşarj olan aşırı AKM B09 istasyonundan B12 istasyonuna yüzey suyu AKM’sini %126 hazne yüzey suyu bulanıklığını %336 arttırmıştır. Borçka Baraj Gölü Havzası’ndaki bulanıklığın değişimi Şekil 22’de ve AKM’ nin değişimi ise Şekil 23’te verilmektedir.

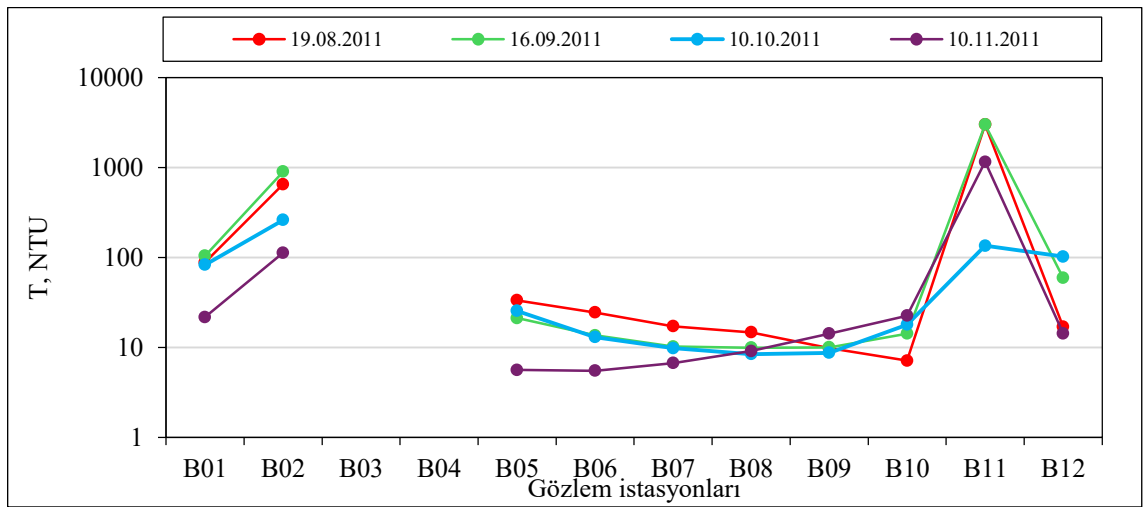
Ortalama yıllık değerler dikkate alındığında, Borçka Baraj Gölü’ne deşarj olan Murgul Çayı’na bakır madeninden deşarj olması sebebiyle sırasıyla en yüksek T ve AKM değerleri Murgul Çayı üzerindeki B11 istasyonunda 712 NTU ve 16,992 mg/L olarak belirlenirken, haznedeki uzun hidrolik bekleme süresinden dolayı sırasıyla en düşük T ve AKM değeri 27 NTU ve 28.2 mg/L olarak Borçka Baraj Gölü’ndeki B08 istasyonunda tespit edilmiştir. B12 istasyonundaki hazne suyu Murgul Çayı’ndan etkilenmekte ve Borçka Barajı ve HES çıkışındaki B12 istasyonu B08 istasyonu ile karşılaştırıldığında, yıllık ortalama 46 NTU ve 41 mg/L değerleri ile B12 istasyonunun daha yüksek T değerine sahip olduğu anlaşılmıştır.



(a)

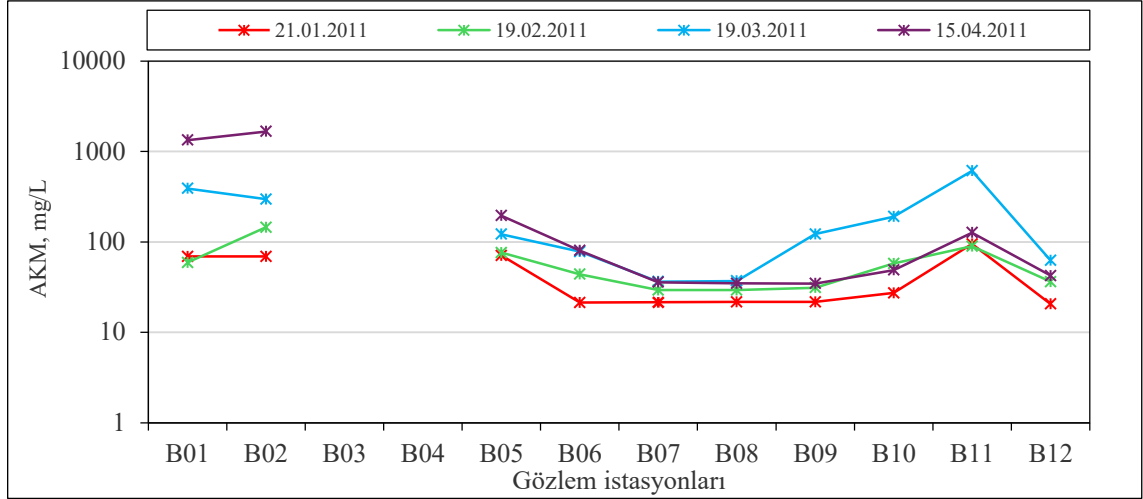


(b)

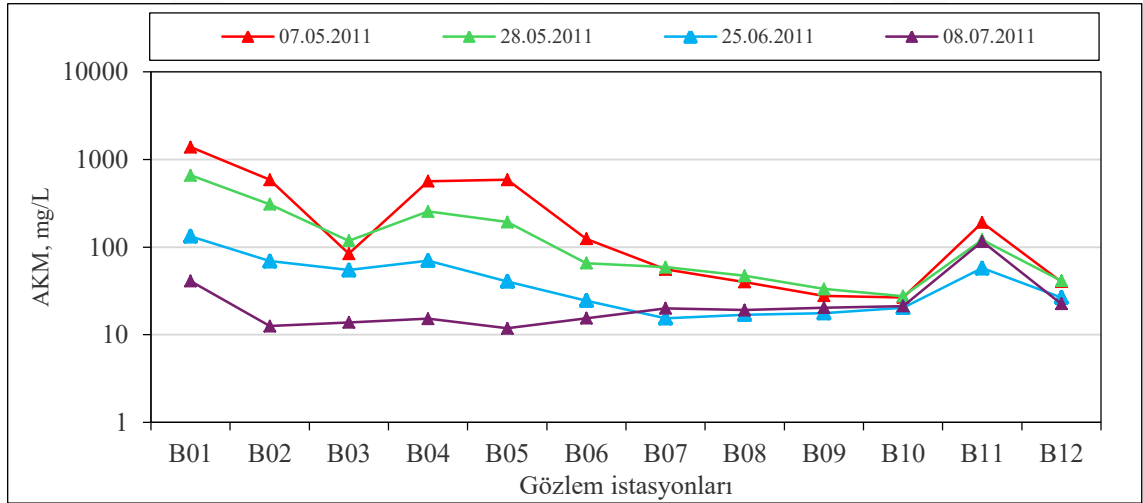


(c)

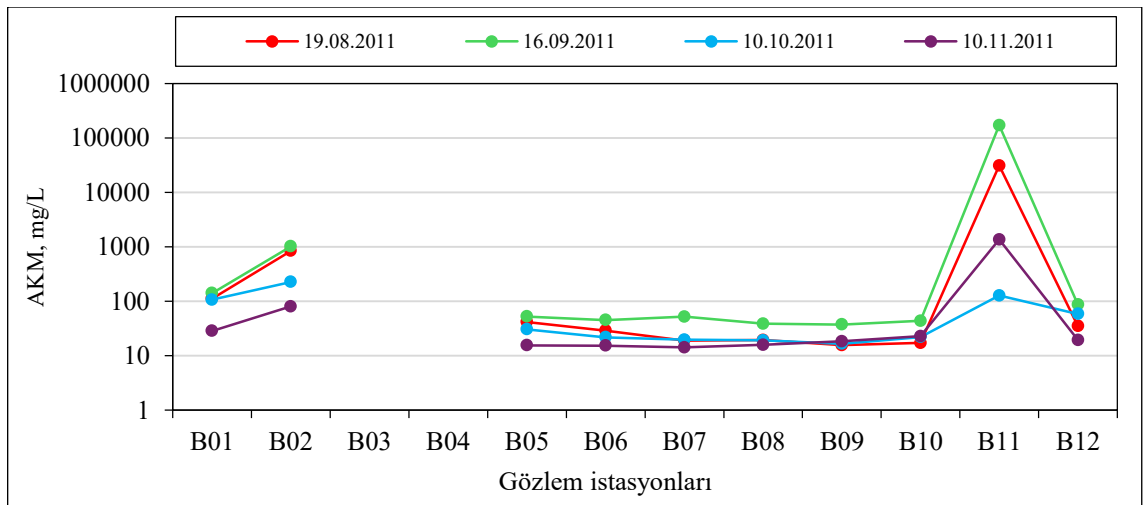
Şekil 22. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda bulanıklığın hazne su kotuna göre değişimi (a) <175 m, (b) >180 m, (c) 175-180 m arası



(a)



(b)

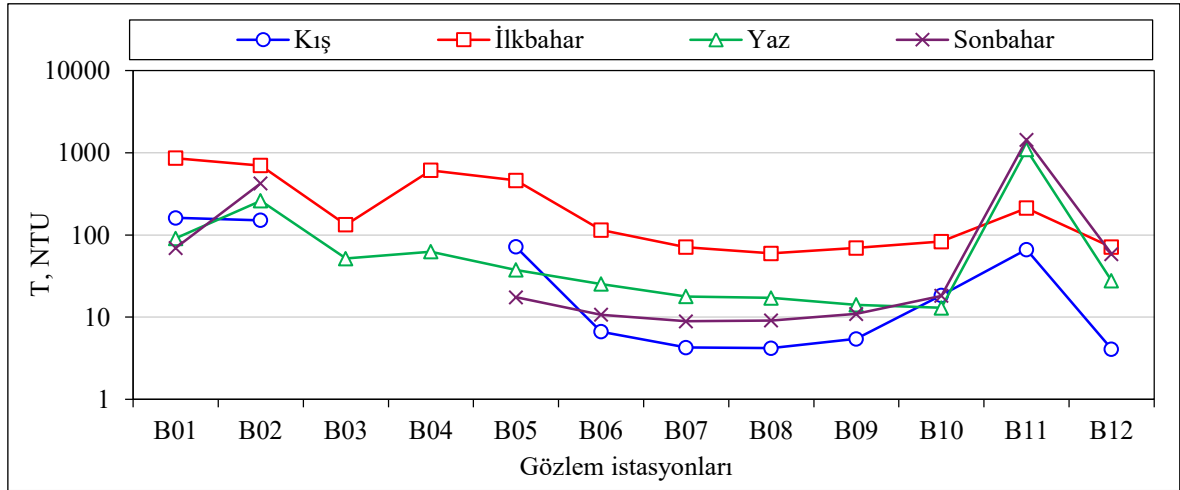


(c)

Şekil 23. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda askıda katı maddenin hazne su kotuna göre değişimi (a) <175 m, (b) >180 m, (c) 175-180 m arası

3.3.2. Bulanıklığın Mevsimlik Değişimi

Baraj gölündeki en düşük T değerleri genel olarak sonbahar ve kış aylarında, en yüksek T değerleri ise ilkbahar aylarında gerçekleşmiştir (Şekil 24). İlkbahar aylarında sıcaklıkların artmasıyla kışın yağın karlar erimekte ve ilkbahar yağmurları ile birlikte akarsu debisinde çok ciddi bir artış ortaya çıkmaktadır. İlkbahar ayındaki bu artış T değerlerinde de artışa sebep olmaktadır. Havzadaki arazi eğiminin fazla oluşu bu mevsimde yağış sularını hızla akışa geçirmekte ve erozyona uğrayan malzeme yamaç suları ile hazneye ulaşarak bulanıklığı arttırmaktadır. Baraj gölündeki istasyonlarda T değerleri membadan baraj gövdesine doğru gidildikçe azalmakta ve ilkbahar mevsimi için B02 istasyonunda en yüksek ortalama 697 NTU iken, baraj gövdesine yakın seçilen B09 istasyonunda yine ilkbahar mevsiminde en yüksek ortalama 69 NTU olarak belirlenmiştir. Baraj gölünde akım hızının düşmesiyle AKM çökelmekte ve T hemen hemen her mevsimde hazne alanındaki istasyonlar için düşük ve birbirine yakın değerler almaktadır. Murgul kolunun hazne içinde kalan B10 istasyonunda ise membadaki bakır madeni işletmesinin çalışmaları sebebiyle en yüksek T ortalama değerini 83 NTU olarak ilkbahar mevsiminde almıştır.



Şekil 24. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda bulanıklığın mevsimlik değişimi

B01 istasyonunda da (Çoruh Nehri) en yüksek T değerleri ilkbahar mevsiminde gerçekleşerek ortalama 859 NTU değerini alırken, istasyon yerine yakın noktadaki kum çakıl ocağının faaliyetlerinin bu istasyondaki T değerlerinde değişikliğe sebep olduğu

düşünülmektedir. En düşük T değeri ise sonbahar mevsiminde ortalama 70 NTU olarak belirlenmiştir.

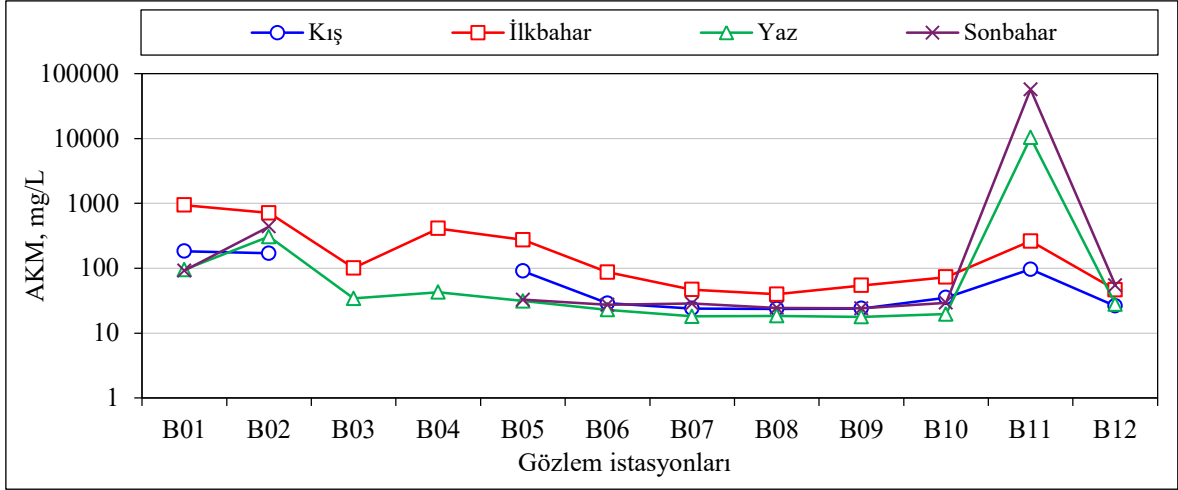
Murgul Çayı'nda (B11) ise en yüksek T değerleri yaz ve sonbahar mevsimlerinde tespit edilmiş olup, bunda bu dönemlerde Eti Bakır Murgul Tesisinin çalışıyor olması etkilidir. En düşük T değeri ise kış mevsiminde ortalama 66 NTU olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesine yakın seçilen B09 istasyonunun T değerleri de Murgul Çayı'nın hazneyle birleştiği noktaya çok yakın olduğundan Murgul Çayı'ndaki T değerlerinin değişiminden etkilenmiş ve en yüksek ortalama T değeri 83 NTU olarak ilkbahar mevsiminde tespit edilmiştir.

Barajın mansabındaki B12 istasyonunda en yüksek T değeri ilkbahar mevsiminde 6. çalışmanın gerçekleştirildiği 07.05.2011 tarihinde dolusavak çalışırken 136 NTU olarak belirlenmiştir. Dip savağın çalıştırıldığı 19.03.2011, 07.05.2011, 28.05.2011, 08.07.2011 ve 13.08.2011 tarihli çalışmalarda, savaklanan suyun mansapta birikmiş su içindeki askıdaki malzemeyi ve yataktaki malzemeyi harekete geçirdiği, bunun da bu istasyondaki bulanıklığı arttırdığı sonucuna varılmıştır.

“Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizyokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” tablosunda (YSKY, 2016) bulanıklığa yer verilmediğinden, elde edilen T değerlerine göre bir sınıflandırma yapılamamıştır.

3.3.3. Askıda Katı Madde Konsantrasyonunun Mevsimlik Değişimi

Baraj gölündeki istasyonlarda AKM konsantrasyonu ile T değerleri benzer bir davranış göstererek en yüksek değeri ilkbahar aylarında alırken, en düşük AKM konsantrasyonu ise genel olarak yaz aylarında gerçekleşmiştir (Şekil 25). Bu istasyonlarda AKM konsantrasyonu baraj gövdesine doğru giderek azalmakta ve ilkbahar mevsiminde B02 istasyonunda en yüksek ortalama 713.6 mg/L değerini alırken baraj gövdesine yakın seçilen B09 istasyonunda 54.4 mg/L değerini almıştır. Murgul kolunda hazne içindeki B10 nolu istasyonda ise ilkbahar mevsiminde en yüksek ortalama AKM 73.2 mg/L değerini almıştır. Tüm mevsimlerde B09 istasyonunun AKM değerlerinin B10 istasyonunun AKM değerlerinden etkilendiği ve artış gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 25. Borçka Baraj Gölü Havzası’nda askıda katı maddenin mevsimlik değişimi

Çoruh Nehri’nde (B01) en yüksek AKM konsantrasyonu ilkbahar mevsiminde ortalama 941.3 mg/L değerini alırken, istasyon yerine yakın olan kum-çakıl ocağındaki faaliyetlerin diğer mevsimlerde de AKM değerlerinde değişikliklere sebep olduğu anlaşılmaktadır. B01 istasyonundaki en düşük AKM konsantrasyonu ise sonbahar mevsiminde ortalama 91.9 mg/L olarak belirlenmiştir.

Murgul Çayı’nda (B11) istasyonunda en yüksek AKM değerleri T değerlerine paralel olarak yaz ve sonbahar mevsimlerinde gözlemlenmiş olup, aynı zamanda tüm istasyonlar arasında en yüksek değerler bu dönemlerde kaydedilmiştir. B11 istasyonundaki en düşük AKM konsantrasyonu ise kış mevsiminde ortalama 96.6 mg/L olarak tespit edilmiştir.

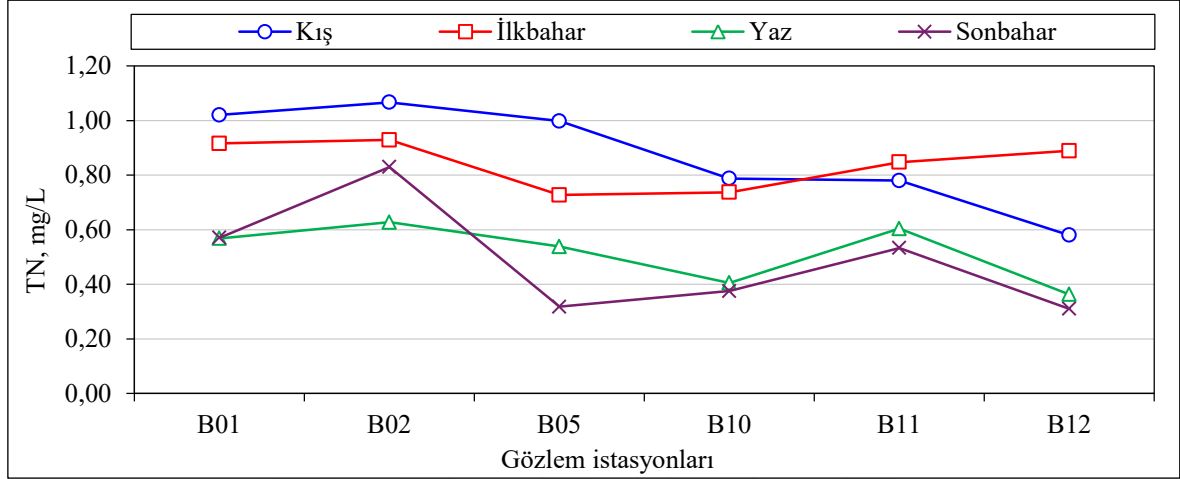
Baraj mansabındaki B12 istasyonunda en yüksek AKM konsantrasyonu ortalama 54.5 mg/L olarak sonbahar mevsiminde belirlenmiş olup, bunda Murgul Çayı’ndaki AKM konsantrasyonundaki ciddi artış etkili olmuştur.

Hatila Deresi’nin membaındaki B02 istasyonu ile Hatila Deresi’nin hazneyle birleştiği noktada katı madde yığılmasının büyük ölçüde arttığı ve evsel atıkların sağ sahilde biriktiği gözlemlenmiştir. Katı madde birikimi B02, B03 ve B04 istasyonlarında AKM değerlerinde artışa sebep olmuştur.

“Kıtaıçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizyokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” (YSKY, 2016) AKM’ye yer vermediğinden, elde edilen AKM değerlerine göre bir sınıflandırma yapılamamıştır.

3.3.4. Toplam Azotun Mevsimlik Değişimi

TN parametresinin mevsimlik değişimi ile ilgili olarak belirli bir eğilim olmasa da en yüksek ortalama değerlerin kış mevsiminde, en düşük ortalama değerlerin ise sonbahar mevsiminde gözlemlendiği söylenebilir (Şekil 26).



Şekil 26. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda toplam azotun mevsimlik değişimi

İstasyon bazında ise, en yüksek ortalama TN değerleri Şekil 26'dan görüldüğü üzere tüm mevsimlerde sırasıyla 1.067, 0.929, 0.628 ve 0.830 mg/L olarak evsel atıkların çoğunlukla biriktiği B02 istasyonunda elde edilmiştir. En düşük ortalama değerler ise kış, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 0.580, 0.363 ve 0.310 mg/L olarak barajın mansabındaki B12 istasyonunda, ilkbahar mevsiminde ise 0.727 mg/L olarak B05 istasyonunda tespit edilmiştir.

0.335-1.300 mg/L arasında değişen TN konsantrasyonunun olduğu B01 istasyonu (Çoruh Nehri), 0.217-1.310 mg/L arasında değişen TN konsantrasyonunun tespit edildiği B11 istasyonundan (Murgul Çayı) az bir miktar yüksek konsantrasyona sahiptir.

“Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizyokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” (YSKY, 2016) dikkate alınarak değerlendirme yapıldığında, TN için 3.5 mg/L üst sınır değerine göre Çoruh Nehri ve Murgul Çayı yüksek kaliteli olarak sınıflandırılabilir.

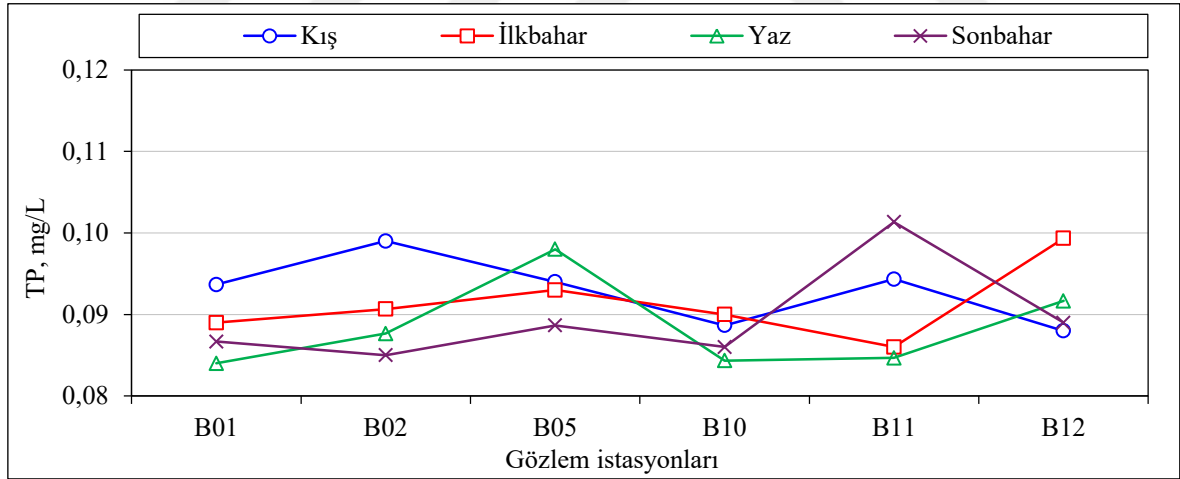
Borçka Baraj Gölü'nde TN konsantrasyonu 0.128-1.560 mg/L arasında değişmiştir. Yıllık ortalama 0.863 mg/L ile B02 istasyonunda maksimum değere ulaşılmıştır.

Sonrasında TN konsantrasyonu azalma eğilimi göstererek B10 istasyonunda 0.577 mg/L ile minimum değere düşmüştür.

“Göl, Gölet ve Baraj Gölleri Ötrofikasyon Kriterleri” (YSKY, 2016) dikkate alındığında baraj gölündeki trofik seviye mezotrofik olarak belirlenmiştir.

3.3.5. Toplam Fosfat Fosforunun Mevsimlik Değişimi

TP parametresinin mevsimlik değişimi ile ilgili olarak belirli bir eğilim tespit edilememiştir. İstasyon bazında ise en yüksek ortalama TP değerleri ile kış mevsiminde 0.099 mg/L olarak evsel atıkların biriktiği B02 istasyonunda, ilkbahar mevsiminde 0.099 mg/L olarak zaman zaman evsel atık su deşarjının yapıldığı baraj mansabındaki B12 istasyonunda, yaz mevsiminde 0.098 mg/L olarak evsel atıkların biriktiği B05 istasyonunda, sonbahar mevsiminde ise 0.101 mg/L olarak Eti Bakır Murgul Tesisinin çalıştığı dönemlerde suyun kirlilik yükünün arttığı B11 istasyonunda karşılaşılmıştır (Şekil 27).



Şekil 27. Borçka Baraj Gölü Havzası’nda toplam fosfat fosforunun mevsimlik değişimi

TP konsantrasyonunun 0.081-0.100 mg/L arasında değiştiği Çoruh Nehri, konsantrasyonun 0.080-0.114 mg/L arasında değiştiği Murgul Çayı’ndan daha düşük konsantrasyona sahiptir.

“Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizyokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” (YSKY, 2016) dikkate alınarak

değerlendirme yapıldığında, TP için 0.2 mg/L üst sınır değerine göre Çoruh Nehri ve Murgul Çayı az kirlenmiş olarak sınıflandırılabilir.

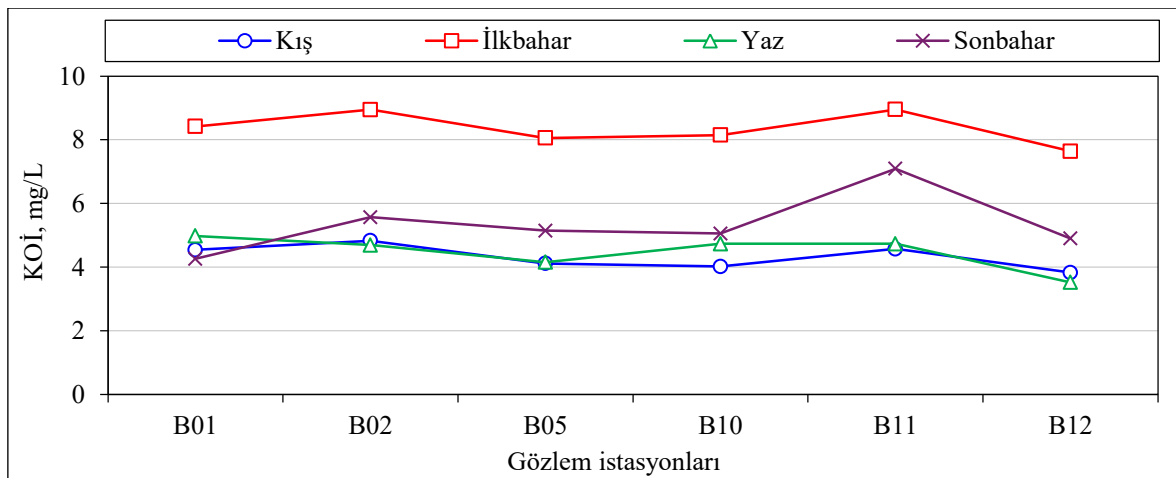
Borçka Baraj Gölü'ndeki TP konsantrasyonu 0.080-0.107 mg/L arasında değişmiştir. Yıllık ortalama 0.087 mg/L ile en düşük ortalama değer B10 istasyonunda tespit edilmiştir.

“Göl, Gölet ve Baraj Gölleri Ötrofikasyon Kriterleri” (YSKY, 2016) dikkate alındığında baraj gölündeki B02, B05 ve B10 istasyonları için trofik seviye ötrofik olarak belirlenmiştir.

3.3.6. Kimyasal Oksijen İhtiyacının Mevsimlik Değişimi

KOİ parametresinin mevsimlik değişimi ile ilgili olarak; tüm istasyonlardaki en yüksek ortalama KOİ değerleri ilkbahar mevsiminde elde edilirken, en düşük ortalama KOİ değerleri kış mevsiminde elde edilmiştir.

İstasyon bazında en yüksek ortalama KOİ değerleri; kış mevsiminde 4.830 mg/L olarak evsel atıkların biriktiği B02 istasyonunda, ilkbahar mevsiminde 8.953 mg/L olarak Eti Bakır Murgul Tesisinin faaliyette olduğu dönemlerde suyun kirlilik yükünün arttığı B11 istasyonunda, yaz mevsiminde 4.980 mg/L olarak B01 istasyonunda, sonbahar mevsiminde ise 7.093 mg/L ile B11 istasyonunda karşılaşılmıştır (Şekil 28). En düşük ortalama KOİ değerleriyle ise kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde sırasıyla 3.827, 7.640 ve 3.523 mg/L olarak hidrolik bekleme süresinin etkisiyle barajın mansabındaki B12 istasyonunda, sonbahar mevsiminde ise 4.260 mg/L B01 istasyonunda karşılaşılmıştır.



Şekil 28. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda kimyasal oksijen ihtiyacının mevsimlik değişimi

KOİ konsantrasyonunun 2.66-9.12 mg/L arasında değiştiği Çoruh Nehri (B01), 3.48-11.8 mg/L arasında değişen Murgul Çayı'ndan daha düşük bir konsantrasyona sahiptir. Yıllık ortalama minimum konsantrasyon ise 4.97 mg/L olup, bu değer haznedeki uzun hidrolik bekleme süresinden etkilenen ve Borçka Baraj Gölü'nden bırakılan suyu temsil eden B12 istasyonu için tespit edilmiştir.

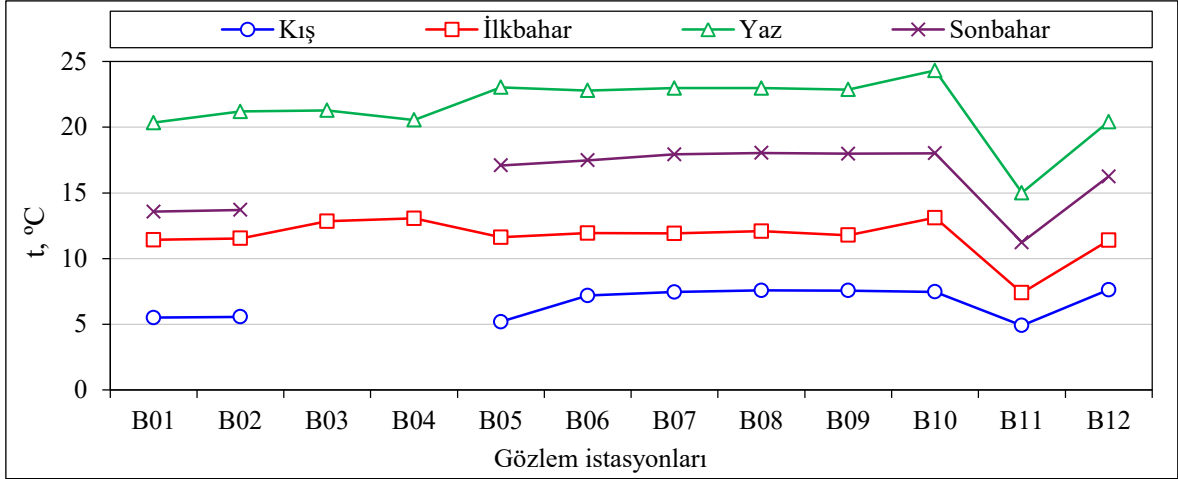
“Kıtaici Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizyokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” (YSKY, 2016) dikkate alınarak değerlendirme yapıldığında, KOİ için 25 mg/L üst sınır değerine göre Çoruh Nehri ve Murgul Çayı yüksek kaliteli olarak sınıflandırılabilir.

Borçka Baraj Gölü'ndeki KOİ konsantrasyonu 2.70-10.3 mg/L arasında değişmiştir. Minimum değer yıllık ortalama 5.37 mg/L ile B05 istasyonunda tespit edilmiştir. Baraj göllerinde KOİ için trofik sınıflandırma mevcut değildir.

3.3.7. Su Sıcaklığının Mevsimlik Değişimi

Yerüstü sularının sıcaklığı iklime göre belirlendiği için en düşük t değerleri Şekil 29'da görüldüğü üzere kış mevsiminde gerçekleşmiş olup, 184 m kotundaki B01 istasyonunda ortalama 5.5°C iken kot farkından dolayı B12 istasyonunda ortalama 7.6°C değerine ulaşmıştır. Kışın B03 ve B04 istasyonlarında ölçüm yapılamamış olup, B01 ve B02 istasyonları dışında kalan tüm istasyonlarda en düşük t değerleriyle, 19.02.2011 tarihinde gerçekleştirilen çalışmada karşılaşılmıştır. En yüksek t değerleri ise yaz aylarında gerçekleşmiş olup, B01 istasyonunda ortalama 20.3°C iken B12 istasyonunda ortalama 20.4°C olarak ölçülmüştür. 25.06.2011 ve 08.07.2011 tarihli çalışmalarda HES'in çalışıyor olması yüzey suyu sıcaklığını düşürmüştür.

Su sıcaklığındaki mevsimlik değişim Kış < İlkbahar < Sonbahar < Yaz şeklinde gerçekleşmiş olup, baraj gölündeki en düşük yıllık ortalama t 14°C ile B05 istasyonunda, en yüksek yıllık ortalama t ise 17.1°C ile B03 istasyonunda tespit edilmiştir. Baraj gölündeki su sıcaklığı yıl içinde hava sıcaklığı ve derinliğe bağlı olarak değişmiştir. YSKY (2016)'ya göre t bakımından bir sınıflandırma yapılamamıştır.



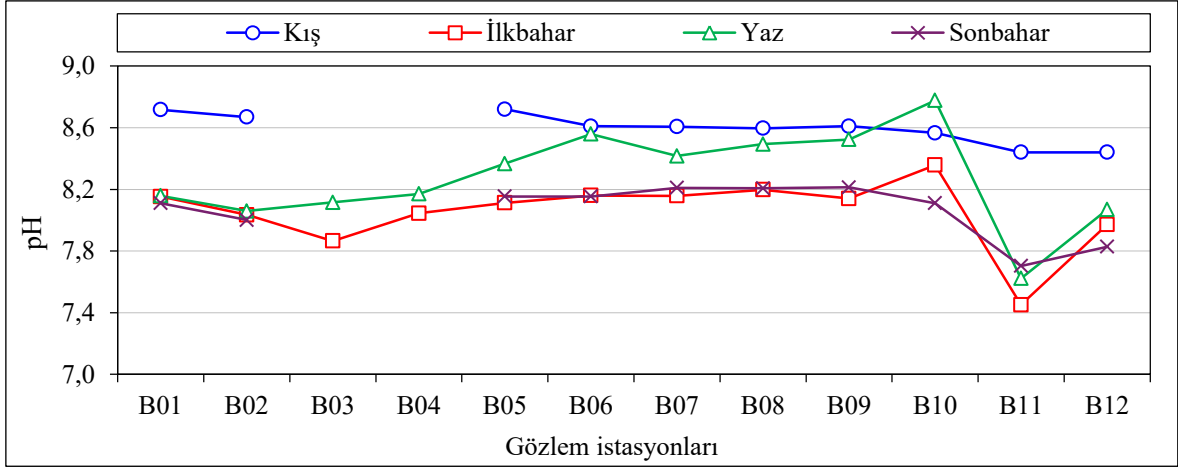
Şekil 29. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda su sıcaklığının mevsimlik değişimi

3.3.8. Hidrojen İyonu Konsantrasyonunun Mevsimlik Değişimi

Ana kolda; B01 istasyonunda pH değerleri yıl boyunca 8.03-8.84 arasında değişirken B02 istasyonunda 7.75-8.77 arasında değişmiştir. B01 ve B02 istasyonları için en yüksek ortalama pH değerleri kış mevsiminde, en düşük pH değerleri ise sonbaharda tespit edilmiştir.

Murgul Çayı'nda; B11 istasyonunda 7.22-8.65 arasında değişirken B10 istasyonunda ise 7.84-9.05 arasında değişmiştir. B11 istasyonunda en yüksek ortalama pH değeri kış mevsiminde, en düşük pH değeri ise ilkbahar mevsiminde tespit edilirken, B10 istasyonunda ise en yüksek ortalama pH değeri yaz mevsiminde, en düşük pH değeri ise sonbahar mevsiminde tespit edilmiştir. Tüm mevsimler için en düşük t değerleri B11 istasyonunda kaydedildiği gibi en düşük pH değerleri de B11 istasyonunda kaydedilmiştir (Şekil 30).

Borçka Baraj Gölü'ndeki B05, B06, B07, B08 ve B09 istasyonlarında ise pH 7.97-8.74 arasında değerler almıştır. Bu istasyonlardaki en yüksek yıllık ortalama değerler kışın, en düşük ortalama değerler ise ilkbahar mevsiminde kaydedilmiş olup, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerindeki ortalama değerlerin birbirine çok yakın olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 30. Borçka Baraj Gölü Havzası’nda hidrojen iyonu konsantrasyonunun mevsimlik değişimi

“Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizyokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” (YSKY, 2016) tarafından önerilen pH aralığı 6-9 olup, her mevsim için tüm istasyonlarda değerler bu aralıkta kalmıştır.

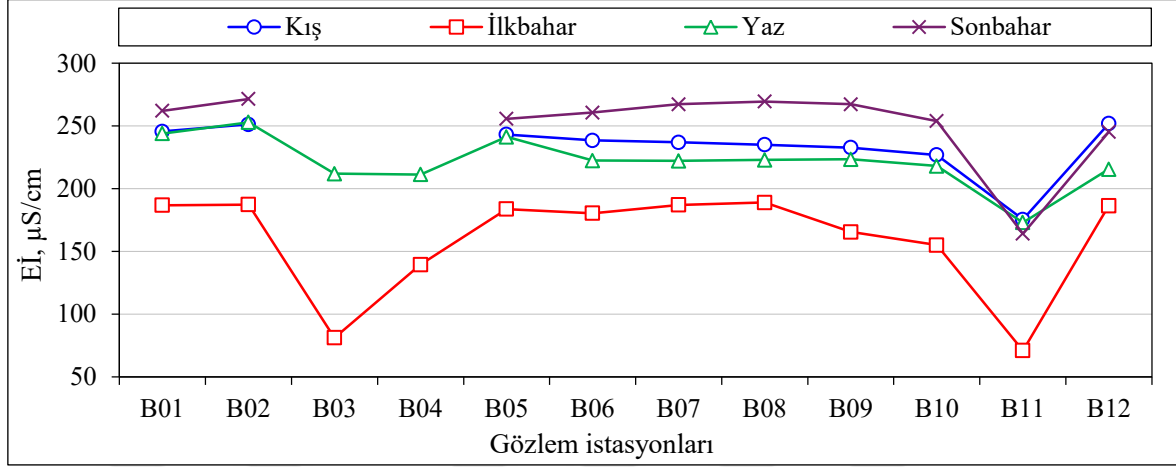
3.3.9. Elektriksel İletkenliğin Mevsimlik Değişimi

Anakolda; B01 istasyonunda Eİ değerleri yıl boyunca 138-330 $\mu\text{S/cm}$ arasında, B02 istasyonunda ise 136-346 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişerek birbirine yakın değerler almışlardır. En yüksek ortalama Eİ değerleri sonbahar mevsiminde, en düşük ortalama Eİ değerleri ise ilkbahar mevsiminde tespit edilmiştir (Şekil 31).

Murgul Çayı’nda; B11 istasyonunda Eİ değerleri 51-279 $\mu\text{S/cm}$ arasında, B10 istasyonunda ise 130-314 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmiştir. B10 istasyonu için en yüksek ortalama değer 254 $\mu\text{S/cm}$ ile sonbahar mevsiminde, en düşük ortalama değer 155 $\mu\text{S/cm}$ ile ilkbahar mevsiminde tespit edilmişken, B11 istasyonunda ise en yüksek ortalama değer 176 $\mu\text{S/cm}$ ile kış mevsiminde, en düşük ortalama değer 71 $\mu\text{S/cm}$ ile ilkbahar mevsiminde tespit edilmiştir.

Borçka Baraj Gölü’ndeki B05, B06, B07, B08 ve B09 istasyonlarında ise Eİ 130-317 $\mu\text{S/cm}$ arasında değerler almıştır (Şekil 31). Bu istasyonlarda en yüksek ortalama değerler sonbahar, en düşük ortalama değerler ise ilkbahar mevsiminde kaydedilmiştir. B10 ve B09 istasyonları karşılaştırıldığında B09 istasyonunda Eİ değerlerinde artış olurken, B09

istasyonu ile B12 istasyonları karşılaştırıldığında ise ilkbahar ve kış mevsimlerinde B12 istasyonunda EI'deki artış devam etmiştir.



Şekil 31. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda elektriksel iletkenliğin mevsimlik değişimi

“Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizyokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” (YSKY, 2016) dikkate alınarak değerlendirme yapıldığında, EI için 400 µS/cm üst sınır değerine göre Çoruh Nehri ve Murgul Çayı yüksek kaliteli olarak sınıflandırılabilir.

3.3.10. Çözünmüş Oksijenin Mevsimlik Değişimi

Anakolda; ÇO değerleri B01 istasyonu için 8.17-12.76 mg/L, B02 istasyonu için 6.91-12.96 mg/L arasında değerler almıştır. Her iki istasyon içinde en yüksek ortalama değer kış mevsiminde, en düşük ortalama değer ise yaz mevsiminde tespit edilmiştir (Şekil 32).

Murgul Çayı'nda; B11 istasyonunda ÇO konsantrasyonu 8.73-13.04 mg/L arasında değişirken, B10 istasyonunda ise 7.64-14.18 mg/L arasında değişmiştir. B10 istasyonunda kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için ortalama ÇO değerleri sırasıyla 10.43, 11.63, 11.58 ve 8.08 mg/L olarak hesap edilmiştir. B10 istasyonunda ilkbahar ve yaz mevsimleri ortalama ÇO değerleri birbirine çok yakınken; en yüksek değeri ilkbahar mevsiminde, en düşük değeri sonbahar mevsiminde almıştır. B11 istasyonunda ise en yüksek ortalama değer kışın en düşük ortalama değer ise yazın kaydedilmiştir (Şekil 32). Eti Bakır Murgul Tesisinin faaliyette olduğu 08.07.2011, 19.08.2011 ve 16.09.2011 tarihli

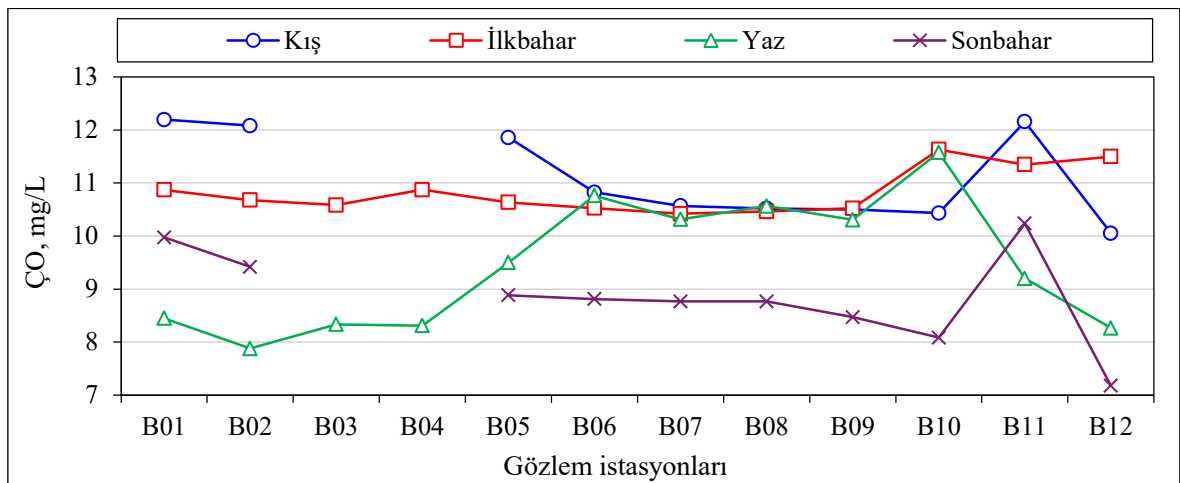
çalışmalarda Murgul Çayı'ndaki suyun kirlilik yükünün arttığı ve suyun yoğun gri renkte aktığı gözlemlenmiş olup, B11 istasyonu için en düşük ÇO konsantrasyonu 8.82, 8.86 ve 8.73 mg/L olarak bu tarihlerde tespit edilmiştir.

Borçka Baraj Gölü'nde seçilen B05, B06, B07, B08 ve B09 istasyonlarında ise ÇO 7.68-12.11 mg/L arasında değerler almıştır. Bu istasyonlar için en yüksek ortalama değerler kış mevsiminde, en düşük ortalama değerler ise sonbahar mevsiminde kaydedilmiştir. Baraj gölündeki istasyonlarda membadan mansaba doğru ÇO değerlerinde genel olarak bir azalma eğilimi olup, buna B05 ve B09 istasyonları arasındaki yüzey suyu sıcaklığındaki artışın sebep olabileceği düşünülmektedir.

Genel olarak en yüksek ÇO konsantrasyonları mevsimlik t farklarının etkisi ile kış aylarında gerçekleşirken, yaz aylarında debilerin azalması ve sıcaklığın artmasıyla ÇO konsantrasyonu azalmıştır.

Barajın membandaki istasyonlar ile barajın mansabındaki B12 istasyonu arasındaki değerler kıyaslandığında, ilkbahar mevsimi haricinde B12 istasyonundaki ortalama ÇO değerlerinin barajın membandaki değerlere göre düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu azalmaya baraj su seviyesi ile su alma yapısı arasındaki kot farkının sebep olduğu düşünülmektedir. ÇO doygunluğu suyun derinliklerinde gittikçe azalmaktadır.

19.03.2011, 07.05.2011 ve 28.05.2011 tarihlerinde Borçka HES'in işletmede olması ve suyun akış halinde olması sebebiyle, hava ile temas su içindeki ÇO konsantrasyonunu arttırmıştır.



Şekil 32. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda çözünmüş oksijenin mevsimlik değişimi

“Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizyokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” (YSKY, 2016) dikkate alınarak değerlendirme yapıldığında, istasyonlardaki yıllık ortalama ÇO değerlerine göre Çoruh Nehri ve Murgul Çayı yüksek kaliteli olarak sınıflandırılabilir.

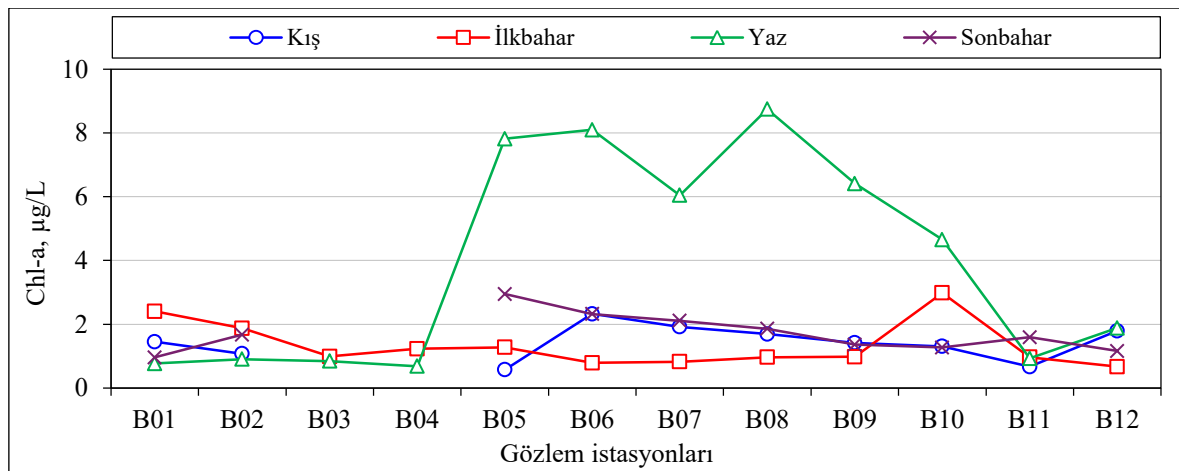
“Göl, Gölet ve Baraj Gölleri Ötrofikasyon Kriterleri” (YSKY, 2016) dikkate alındığında baraj gölü trofik seviyesi 7 mg/L üst sınırına göre oligotrofik olarak belirlenmiştir.

3.3.11. Klorofil-a Konsantrasyonunun Mevsimlik Değişimi

Baraj gölünde seçilen B05, B06, B07, B08, B09 ve B10 istasyonlarının ortalama Chl-a değerlerine bakıldığında yaz mevsiminde diğer mevsimlere kıyasla bu istasyonlarda ciddi oranda yüksek bulunmuştur. Chl-a miktarındaki bu artışa t ve ışık artışının sebep olduğu düşünülmektedir. Sonbahar mevsiminde ise bu istasyonlara ait ortalama Chl-a değerleri B05 istasyonundan baraj gövdesine yakın olan B09 istasyonuna doğru azalmıştır (Şekil 33).

Baraj gölündeki en düşük ortalama Chl-a değeri kış mevsiminde B05 istasyonunda 0.57 µg/L iken en yüksek ortalama değer yaz mevsiminde B08 istasyonunda 8.75 µg/L olarak elde edilmiştir.

Akıntı, t ve su kirliliği gibi çevresel faktörlerden etkilenen Chl-a değeri B11 istasyonunda tüm mevsimlerde genel olarak düşük tespit edilmiştir.



Şekil 33. Borçka Baraj Gölü Havzası’nda klorofil-a konsantrasyonunun mevsimlik değişimi

Çoruh Nehri'nde (B01) Chl-a konsantrasyonu 0.573-3.764 µg/L arasında değişirken, Murgul Çayı'nda (B11) 0.280-3.603 µg/L arasında değişen değerler tespit edilmiştir.

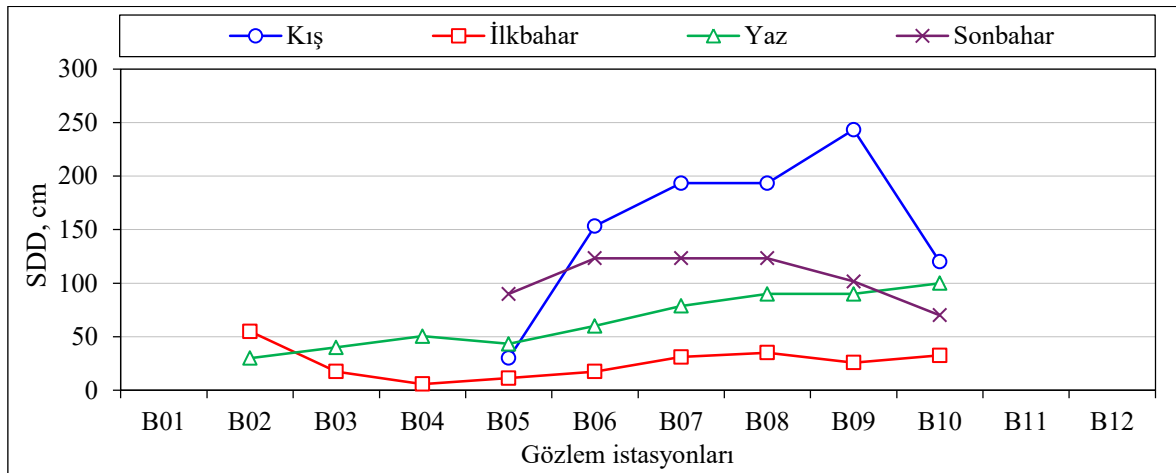
“Kıtaıçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizyokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” (YSKY, 2016) Chl-a için mevcut sınıflandırma yoktur.

Borçka Baraj Gölü'nde Chl-a konsantrasyonu 0.300-19.57 µg/L arasında değişim göstermektedir. En yüksek yıllık ortalama değer 3.183 µg/L ile B06 istasyonunda gerçekleşmiştir.

“Göl, Gölet ve Baraj Gölleri Ötrofikasyon Kriterleri” (YSKY, 2016) dikkate alındığında baraj gölü trofik seviyesi oligotrofik olarak belirlenmiştir.

3.3.12. Seki Diski Derinliğinin Mevsimlik Değişimi

Baraj gölündeki SDD 5-400 cm arasında değişim göstermiştir. B02, B03 ve B04 istasyonlarına sadece dört arazi çalışmasında ulaşım sağlanabildiğinden bu istasyonlarda ilkbahar ve yaz mevsimlerinde SDD ölçümü yapılabilmektedir (Şekil 34).



Şekil 34. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda Seki diski derinliğinin mevsimlik değişimi

Işık geçirgenliği tayininde kullanılan SDD; T arttıkça azalır, suyun berraklığı durumunda ise artmaktadır. T değerlerinin en yüksek olduğu ilkbahar mevsiminde SDD değerleri T değerlerine bağlı olarak en düşük değerleri alırken, en düşük T değerlerinin tespit edildiği kış ve sonbahar mevsimlerinde ise en yüksek değerleri almıştır. Kış

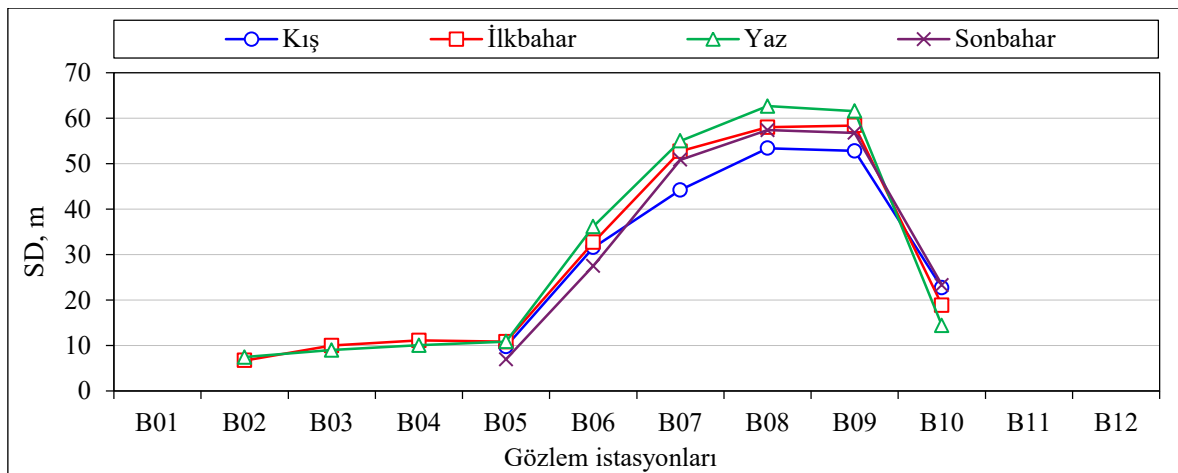
mevsiminde AKM membadan baraj gövdesine doğru baraj gölünde çökeldiğinden SDD artış göstererek, en yüksek ortalama değer kış mevsiminde B09 istasyonunda 243.3 cm olarak tespit edilmiştir. Taşkın döneminin yaşandığı ilkbahar mevsiminde B04 istasyonundaki AKM konsantrasyonu, B02 ve B03 istasyonlarının seçildiği kısımdaki AKM hareketinden de etkilendiğinden en düşük ortalama SDD 5.8 cm olarak B04 istasyonunda ilkbahar mevsiminde belirlenmiştir.

Trofik durum tespitinde yaygın olarak kullanılan parametrelerden biri SDD'dir. "Göl, Gölet ve Baraj Gölleri Ötrofikasyon Kriterleri" (YSKY, 2016) dikkate alındığında, baraj gölü trofik seviyesi B02, B03, B04, B05, B06 ve B10 istasyonları için hipertrofik; B07, B08 ve B09 istasyonları için ötrofik olarak belirlenmiştir.

3.3.13. Hazne Su Derinliğinin Mevsimlik Değişimi

Borçka Baraj Gölü'nde derinlik mevsimlere ve enerji üretimine bağlı olarak 6.09-65.95 m aralığında değişim göstermiştir (Şekil 35). Maksimum derinlik yaz mevsiminde B08 istasyonunda, minimum derinlik ilkbahar mevsiminde B02 istasyonunda ölçülmüştür.

İstasyonların yıllık ortalama değerlerine göre hazne su derinlik değişimi sırasıyla B08 (57.93 m) > B09 (57.51 m) > B07 (50.86 m) > B06 (32.43 m) > B10 (19.46 m) > B04 (10.59 m) B05 (9.95 m) > B03 (9.51 m) > B02 (7.10 m) şeklindedir. Mevsimlerin ortalama değerlerine göre değişim ise; kış (38.35 m) > sonbahar (37.37 m) > ilkbahar (34.86 m) > yaz (32.31 m) şeklindedir.



Şekil 35. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda hazne su derinliğinin mevsimlik değişimi

3.4. Su Kalitesi İndeksi Uygulama Bulgularının İrdelenmesi

CWQI uygulamasında, toplam ölçüm sayısı ve toplam parametre sayısı istasyonlar arasında farklılık göstermiştir. Bu durumun sebepleri; TN, TP ve KOİ değerlendirmesinin yalnızca B01, B02, B05, B10, B11 ve B12 istasyonları için yapılmış olması; hazne içinde yer alan B02, B03, B04, B05, B06, B07, B08, B09 ve B10 istasyonları için AKM ve Chl-a parametrelerine ait değerlerin de CWQI hesabına katılması, B03 ve B04 istasyonlarına ait yalnızca mayıs, haziran ve temmuz aylarına ait verilerin bulunmasıdır. CWQI'nın eksik verilere toleranslı olması indeks hesabında kolaylık sağlamıştır.

TSI hesabında; TSI(SDD) TSI değerinin SDD'den, TSI(Chl-a) TSI değerinin Chl-a konsantrasyonundan, TSI(TP) TSI değerinin TP konsantrasyonundan ve TSI(TN) TSI değerinin TN konsantrasyonundan hesaplandığını göstermekte, bu dört TSI değerinin ortalaması ise TSI(Ort) ile ifade edilmektedir. Hazne alanındaki istasyonlardan yalnızca B02, B05 ve B10 için TN ve TP değerleri elde edildiğinden TSI(TN) ve TSI(TP) değerlendirmesine bu istasyonlara ait veriler dahil edilmiştir.

3.4.1. Kanada Su Kalitesi İndeksi (CWQI) Uygulaması

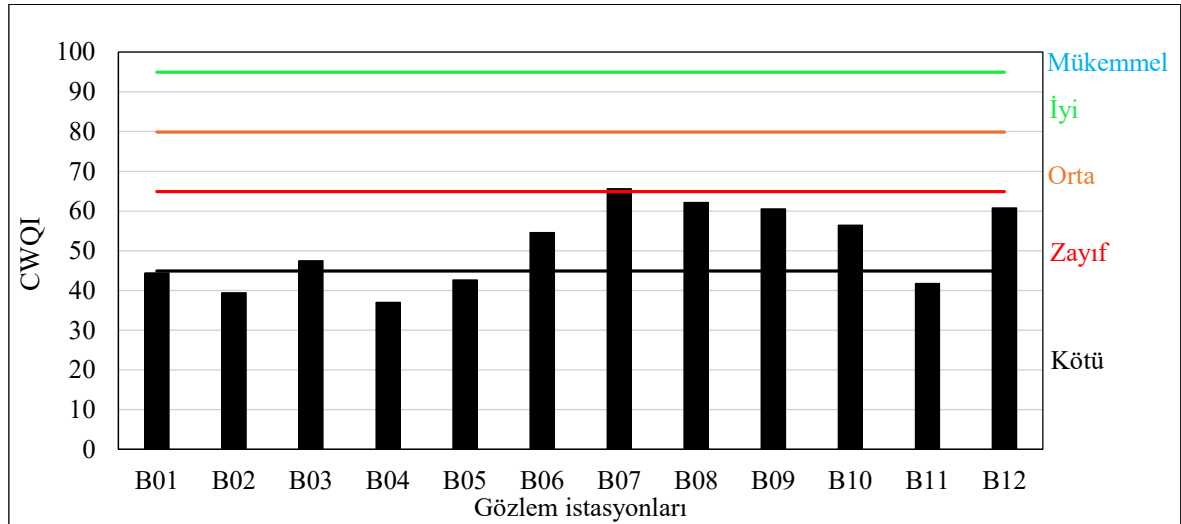
CWQI hesabında, seçilen parametrelerin hedef değerleri belirlenirken I. Sınıf su kalitesine uygun sınır değerler dikkate alınmıştır. CWQI uygulamasında herhangi bir parametre sınırlaması olmaması sebebiyle istenilen sayıda parametre indeks hesabına dahil edilebilir ve sınır değerler ise tercih edilen yönetmeliklere göre belirlenir. Bu çalışmadaki su kalite parametreleri, parametrelerin sınır değeri ve sınır değerin alındığı ilgili standart ve yönetmelikler Tablo 15'te verilmektedir.

CWQI yıllık bulgularına göre; hedefi karşılamayan parametre sayısı ve başarısız test sayısı değeri en yüksek olan istasyon B10 iken, sapmalar toplamı değerinin en yüksek olduğu istasyon ise B11 istasyonudur. Özellikle yaz ve sonbahar mevsiminde B11 istasyonundaki AKM değerlerindeki artışın fazla oluşu, T ölçüm değerlerinin hedef değerden ciddi oranda yüksek sapmalar göstermesine sebep olmuştur. B11 istasyonundan sonra en yüksek sapmalar toplamı değerine B02 istasyonu sahip olup, bu istasyonlardaki parametrelerin sapma değerlerine göre bir değerlendirme yapılacak olursa kaliteyi düşüren temel kirlenici parametrelerin; AKM, T, TP ve ÇO olduğu söylenebilir. En düşük sapmalar toplamına sahip istasyonlar ise sırasıyla B03, B09 ve B08 olup, bu duruma B03

istasyonunda yalnızca ilkbahar ve yaz aylarında ölçüm yapılabilmiş olmasının ve diğer istasyonlar içinse haznedeki hidrolik bekleme süresinin su kalitesi parametreleri üzerindeki olumlu etkisinin sebep olduğu düşünülmektedir. 12 gözlem istasyonu için elde edilen gözlem verilerine CWQI'nın uygulanması sonucu elde edilen indeks değerleri ve su kalitesi sınıfları Tablo 11'de verilirken, istasyonlardaki yıllık indeks değerleri Şekil 36'daki grafikte verildiği gibidir

Tablo 15. CWQI uygulamasında kullanılan parametreler ve sınır değerler

Parametre	Sınır değer	Birim	Kaynak
pH	6-9	-	Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (2016)
Eİ	400	$\mu\text{S/cm}$	
ÇO	8	mg/L	
KOİ	25	mg/L	
TN	3.5	mg/L	
TP	0.08	mg/L	
t	25	$^{\circ}\text{C}$	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (2004)
AKM	15	mg/L	
Chl-a	0.025	mg/L	
T	5	NTU	TS 266 (2005)

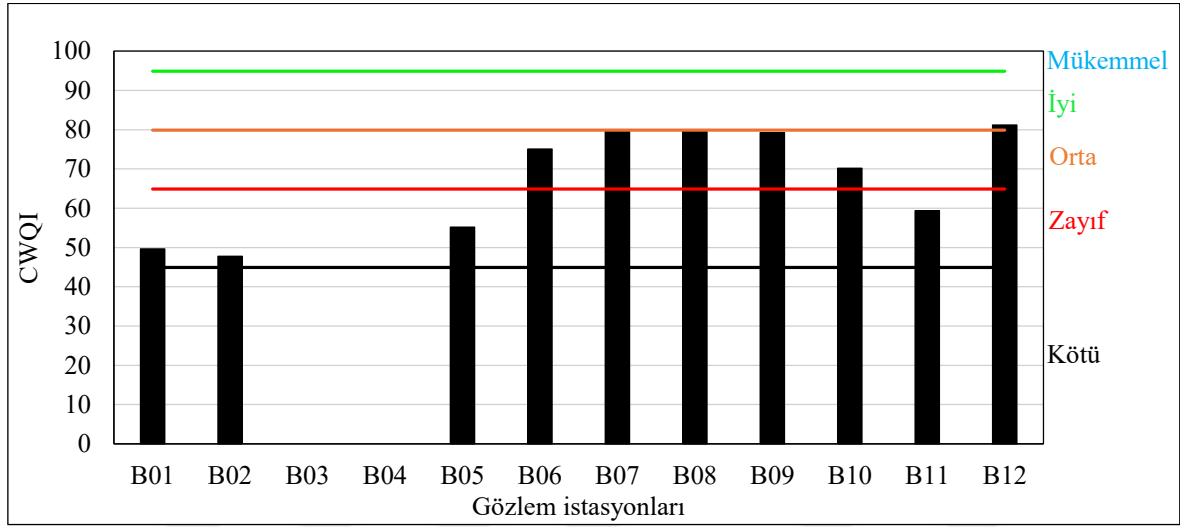


Şekil 36. Borçka Baraj Gölü Havzası'nda Kanada su kalitesi indeksi yıllık değerleri

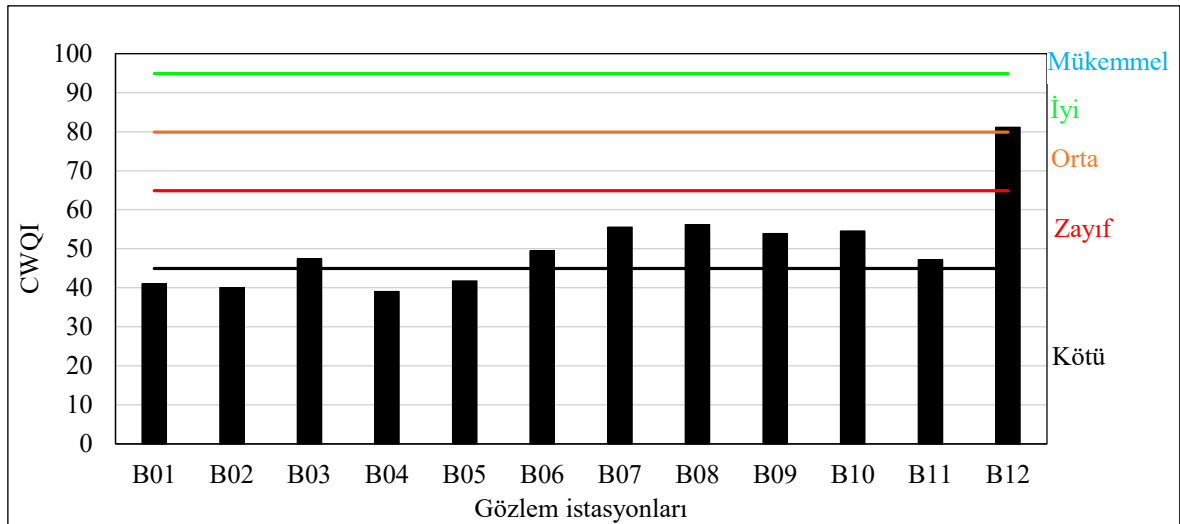
B01 ve B11 istasyonları akış halinde ve WQI sınıfı “Kötü” olup, hazne alanı boyunca B03, B06, B08, B09 ve B10 istasyonlarında WQI sınıfı “Zayıf” iken B07

istasyonunda su kalitesi sınıfı “Orta” olarak belirlenmiştir. B04 istasyonunun kalite sınıfının ise “Kötü” olduğu, B04 istasyonunun B02 ve B03 istasyonlarındaki katı madde hareketinden olumsuz etkilendiği ve bu etkinin B05 istasyonuna kadar azalarak devam ettiği, sonrasında ise WQI değerinde iyileşmenin olduğu tespit edilmiştir.

Borçka Baraj Gölü Havzası su kalitesi, CWQI modeli kullanılarak mevsimlik olarak da incelenmiştir (Şekil 37-40).



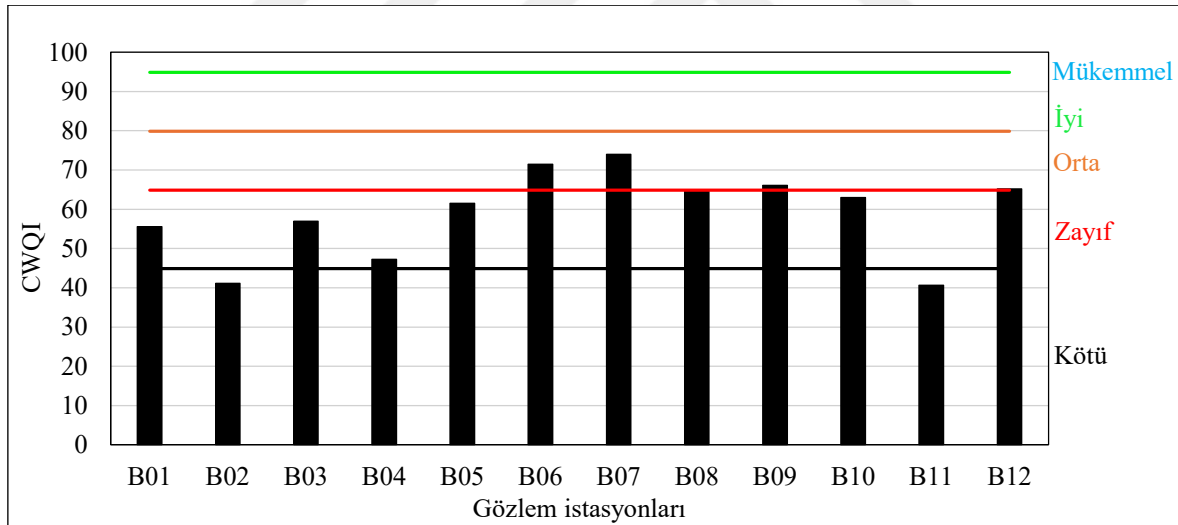
Şekil 37. Borçka Baraj Gölü Havzası’nda Kanada su kalitesi indeksi kış mevsimi değerleri



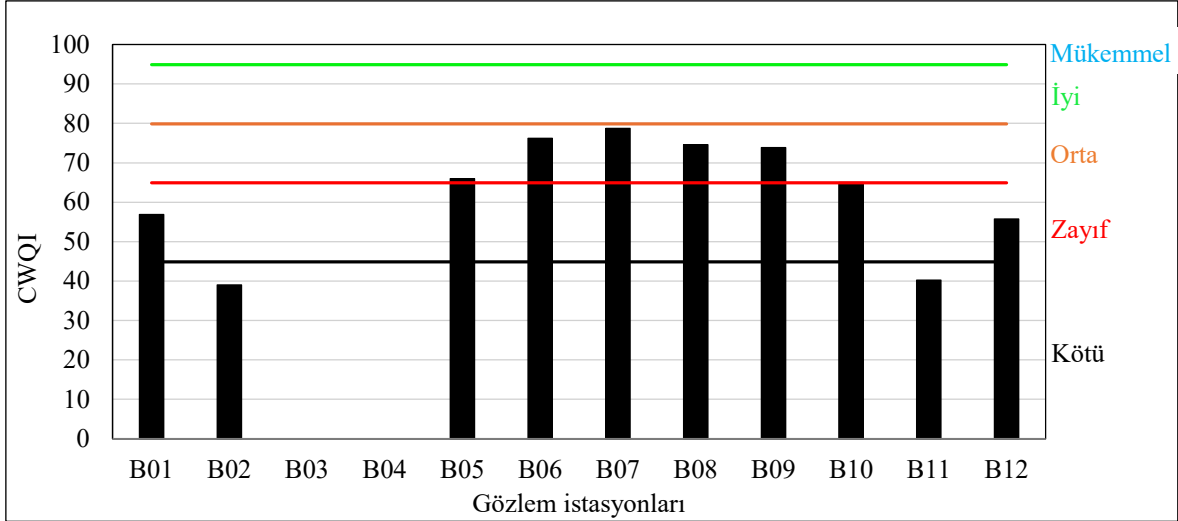
Şekil 38. Borçka Baraj Gölü Havzası’nda Kanada su kalitesi indeksi ilkbahar mevsimi değerleri

Baraj gölündeki B03, B04, B05, B06, B07, B08, B09 ve B10 istasyonları ile B01 (Çoruh Nehri) istasyonu için en düşük su kalitesi indeks değeri ilkbahar mevsiminde tespit edilmiş olup; ilkbahar mevsiminde su kalitesi B04 ve B05 istasyonları için “Kötü”, diğer istasyonlar içinse su kalitesi “Zayıf” olarak sınıflandırılmıştır. B02, B11 ve B12 istasyonları içinse en düşük değer sonbahar mevsiminde elde edilmiş olup; su kalitesi B02 ve B11 istasyonları için “Kötü” olarak belirlenirken, B12 istasyonu için “Zayıf” olarak belirlenmiştir.

İlkbaharda artan yağışlarla birlikte akarsu debisinde artış olması, havzadaki eğimin fazla oluşu sebebiyle yağış sularının hızla akışa geçmesi ve erozyona uğrayan malzemenin yamaç suları ile hazneye taşınması, hazne su seviyesindeki değişimlerle B01 ve B02 istasyonları arasında çökelen malzemenin yeniden askıya geçmesi gibi nedenlerle AKM ve T parametrelerine ait değerlerde artış olması ve bu değerlerin standartlarla belirlenen hedef değerlerden sapması, su kalitesi sınıfının CWQI ile hesaplanması aşamasında olumsuz bir etkiye sebep olmuştur.



Şekil 39. Borçka Baraj Gölü Havzası’nda Kanada su kalitesi indeksi yaz mevsimi değerleri

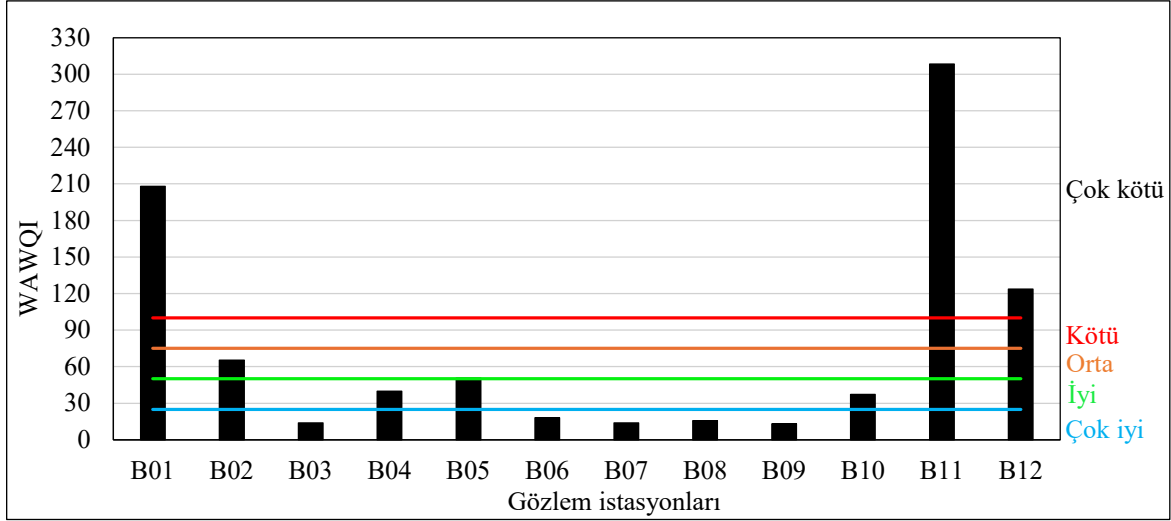


Şekil 40. Borçka Baraj Gölü Havzası’nda Kanada su kalitesi indeksi sonbahar mevsimi değerleri

En yüksek CWQI değeri; B02, B07, B08, B09, B10, B11 ve B12 istasyonları için kış mevsiminde belirlenirken; B11 ve B02 istasyonları “Zayıf”, B12 istasyonu “İyi”, B07, B08, B09 ve B10 istasyonları ise “Orta” kalite sınıfında yer almıştır. B01, B05 ve B06 istasyonlarında ise en yüksek CWQI değeri sonbahar mevsiminde tespit edilirken; B01 istasyonunun “Zayıf”, B05 ve B06 istasyonlarının ise “Orta” kalite sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. B03 ve B04 istasyonlarında ise maksimum CWQI değeri yaz mevsiminde belirlenirken; kalite sınıfları ise bu iki istasyon için “Zayıf” olarak saptanmıştır. CWQI değerinin ve kalite sınıfının belirlenmesinde etkili olan ÇO, TP, AKM ve T değerlerindeki sapmaların kış ve sonbahar mevsimleri için daha düşük olması su kalitesi sınıfının bu mevsimlerde daha iyi çıkmasına sebep olmuştur.

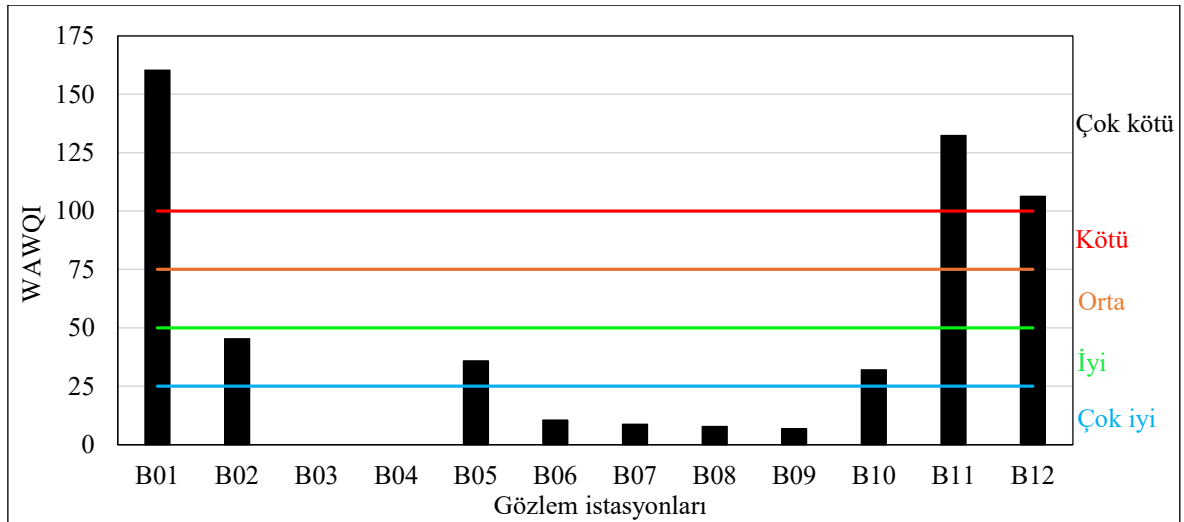
3.4.2. Ağırlıklı Aritmetik Su Kalitesi İndeksi (WAWQI) Uygulaması

WAWQI hesabı için de Tablo 15’te verilen su kalitesi parametreleri, sınır değer ve ilgi yönetmelikler kullanılmıştır. Tablo 12’de yer alan su kalitesi parametrelerine ait Vs, Ve, K, Wi ve Qi’ye göre yıllık WAWQI değeri 48.98 olarak hesaplanmış, Tablo 4’e göre çalışma alanının su kalitesi sınıfının “İyi” olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 41).



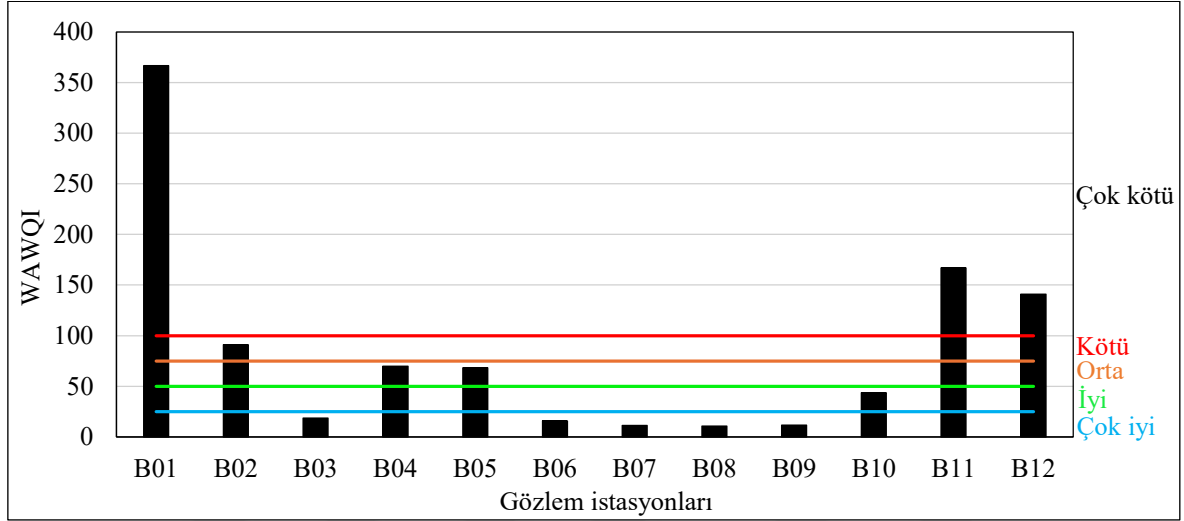
Şekil 41. Ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksi yıllık değerleri

Kış mevsiminde en yüksek WAWQI değeri 160.36 olarak B01 istasyonunda, en düşük WAWQI değeri 6.82 olarak B09 istasyonunda gözlemlenmektedir. Tablo 4'e göre su kalitesi sınıfı B01 istasyonunda "Çok kötü", B09 istasyonunda ise su kalitesi sınıfı "Çok iyi"dir (Şekil 42). B01, B11 ve B12 istasyonlarında su kalitesi sınıfı, Murgul Çayı'ndaki AKM dolayısıyla T artışından etkilenmiş ve "Çok kötü" olarak belirlenmiştir. Baraj gölündeki istasyonlarda ise, hidrolik bekleme süresinin su kalitesi sınıfı üzerinde olumlu etkisi olmuştur.



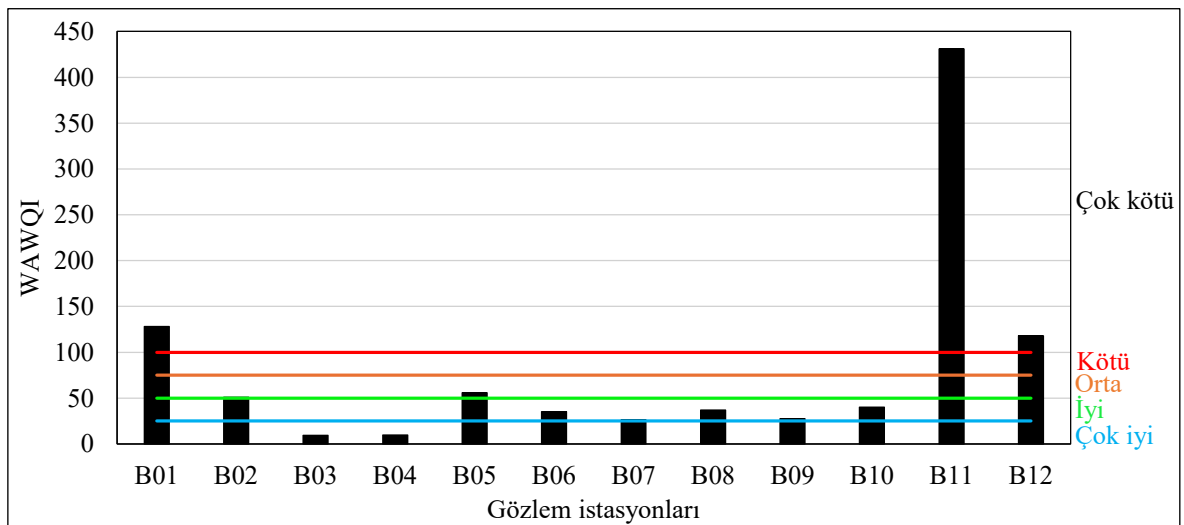
Şekil 42. Ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksi kış mevsimi değerleri

İlkbahar mevsiminde en yüksek WAWQI değeri 366.62 olarak B01 istasyonunda, en düşük WAWQI değeri 10.52 olarak B08 istasyonunda hesaplanmış olup, su kalite sınıfının B01 için “Çok kötü”, B08 için ise “Çok iyi” olduğu anlaşılmıştır (Şekil 43). T değerinin B01 istasyonunda yüksek olması en yüksek su kalitesi indeks değerini almasında etkili olurken, hidrolik bekleme süresinin olumlu etkisi ise B08 istasyonunun su kalitesi sınıfının “Çok iyi” olarak belirlenmesinde etkili olmuştur.



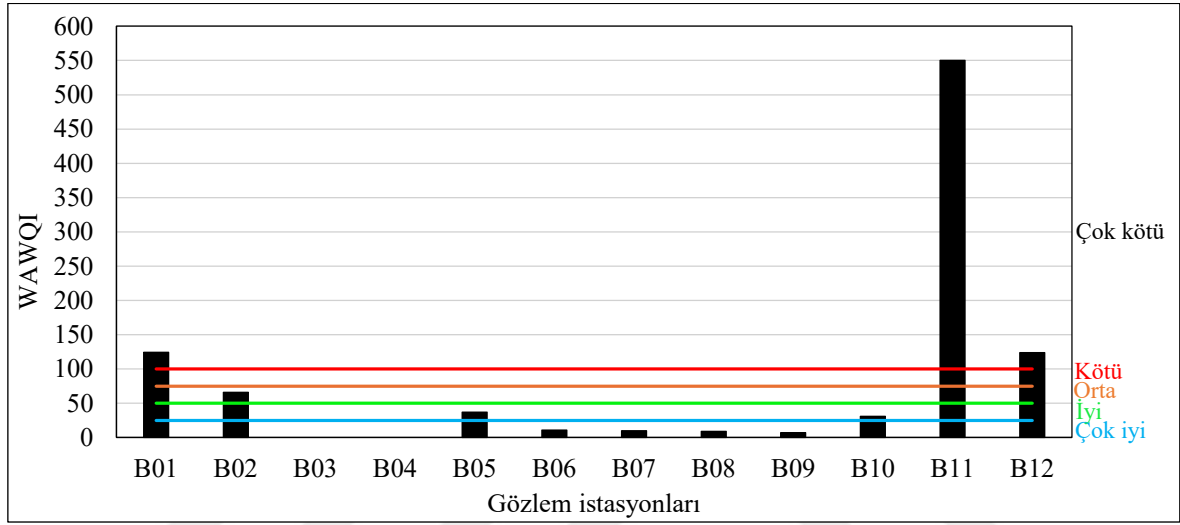
Şekil 43. Ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksi ilkbahar mevsimi değerleri

Yaz mevsiminde en yüksek WAWQI değeri 430.87 olarak B11 istasyonunda, en düşük WAWQI değeri 9.33 olarak B03 istasyonunda hesaplanmış olup, su kalitesi sınıfının B11 için “Çok kötü”, B03 için ise “Çok iyi” olduğu anlaşılmıştır (Şekil 44).



Şekil 44. Ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksi yaz mevsimi değerleri

Sonbahar mevsiminde en yüksek WAWQI değeri 550.35 olarak B11 istasyonunda, en düşük WAWQI değeri 7.24 olarak B09 istasyonunda hesaplanmış olup, su kalitesi sınıfının B11 için “Çok kötü”, B09 için ise “Çok iyi” olduğu anlaşılmıştır (Şekil 45). Yaz ve sonbahar mevsimlerinde; B11 istasyonundaki WQI üzerinde, Eti Bakır Murgul Tesisi kaynaklı yüksek T değerlerinin olumsuz etkisi olmuştur. Rezervuardaki hidrolik bekleme süresinin B03 ve B09 istasyonlarındaki su kalitesi sınıfı üzerinde olumlu etkisi olmuştur.



Şekil 45. Ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksi sonbahar mevsimi değerleri

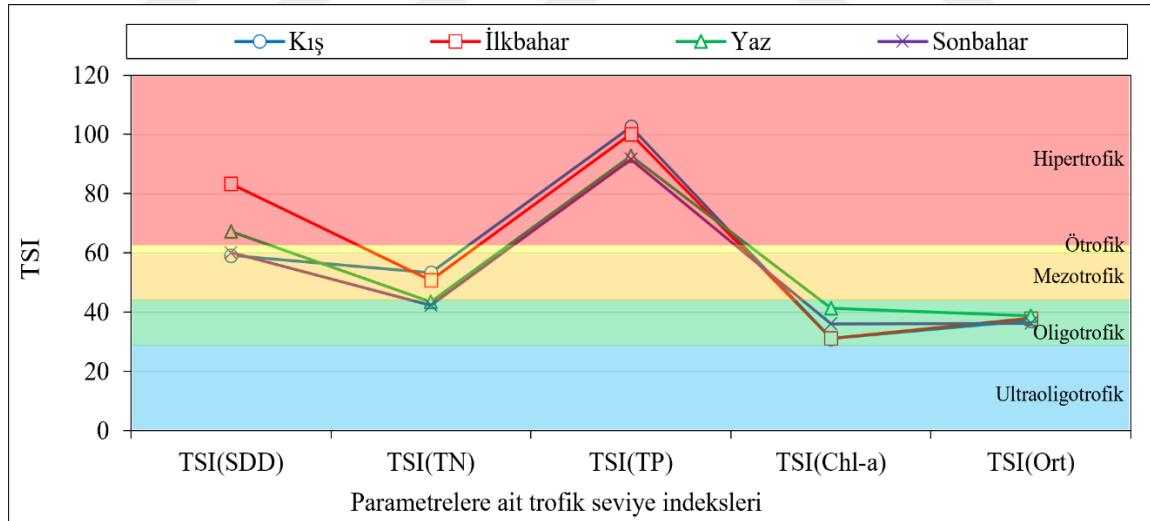
3.4.3. Trofik Seviye İndeksi (TSI) Uygulaması

TSI baraj gölünde seçilen istasyonlar için mevsimlik ortalamalar alınarak hesaplanmış ve Tablo 14’te verilmiştir. TSI değerlerinin mevsim sıralaması ise aşağıda verildiği gibidir.

$$\begin{aligned}
 & \text{TSI(SDD)}_{\text{İlk}} > \text{TSI(SDD)}_{\text{Yort}} > \text{TSI(SDD)}_{\text{Yaz}} > \text{TSI(SDD)}_{\text{Son}} > \text{TSI(SDD)}_{\text{Kış}} \\
 & \text{TSI(TN)}_{\text{Kış}} > \text{TSI(TN)}_{\text{İlk}} > \text{TSI(TN)}_{\text{Yort}} > \text{TSI(TN)}_{\text{Yaz}} > \text{TSI(TN)}_{\text{Son}} \\
 & \text{TSI(TP)}_{\text{Kış}} > \text{TSI(TP)}_{\text{İlk}} > \text{TSI(TP)}_{\text{Yort}} > \text{TSI(TP)}_{\text{Yaz}} > \text{TSI(TP)}_{\text{Son}} \\
 & \text{TSI(Chl-a)}_{\text{Yaz}} > \text{TSI(Chl-a)}_{\text{Son}} > \text{TSI(Chl-a)}_{\text{Yort}} > \text{TSI(Chl-a)}_{\text{İlk}} > \text{TSI(Chl-a)}_{\text{Kış}} \\
 & \text{TSI(Ort)}_{\text{Yaz}} > \text{TSI(Ort)}_{\text{İlk}} > \text{TSI(Ort)}_{\text{Yort}} > \text{TSI(Ort)}_{\text{Kış}} > \text{TSI(Ort)}_{\text{Son}}
 \end{aligned}$$

TSI(Chl-a) tüm mevsimler için en düşük değeri almıştır (Tablo 14). Bu durum mevcut alg büyümesinden daha fazla miktarda alg gelişimini sağlayabilecek besin maddesinin bulunduğu anlamına gelmektedir. TSI(Chl-a) değerleri daha düşükken TSI(SDD) değerlerinin yüksek olmasının yani ışık geçirgenliğindeki azalmanın nedeninin, fitoplankton kaynaklı olmadığı sudaki AKM'den ileri geldiği sonucuna varılabilir. Mevsimlik ortalamalara bakıldığında ise hava sıcaklığının TSI(Chl-a) üzerindeki etkisi daha iyi anlaşılmaktadır.

TSI(TP) ve TSI(TN) mevsimlik sıralaması aynıdır (Şekil 46). Kışın en yüksek TSI(TP) değeri elde edilirken TSI(Chl-a) değerinin en düşük olması fosfor dışında başka bir faktörün alg büyümesinde etkili olabileceği anlamına gelmektedir. SD'deki değişimler, özellikle Eti Bakır Murgul Tesisinin faaliyette olduğu dönemde suyun kirlilik yükünün artması, havanın ısınmasının azot konsantrasyonu üzerindeki etkisi, ilkbaharda hazneye giriş yapan yamaç suları ve yan kollardan gelen sular gibi faktörler TSI değerleri üzerinde etkili olmuştur. Yıllık ortalama değerler dikkate alındığında Borçka Baraj Gölü TSI(SDD) ve TSI(TP) değerlerine göre hipertrofik, TSI(TN) ve TSI(Chl-a) değerlerine göre ise oligotroftir.

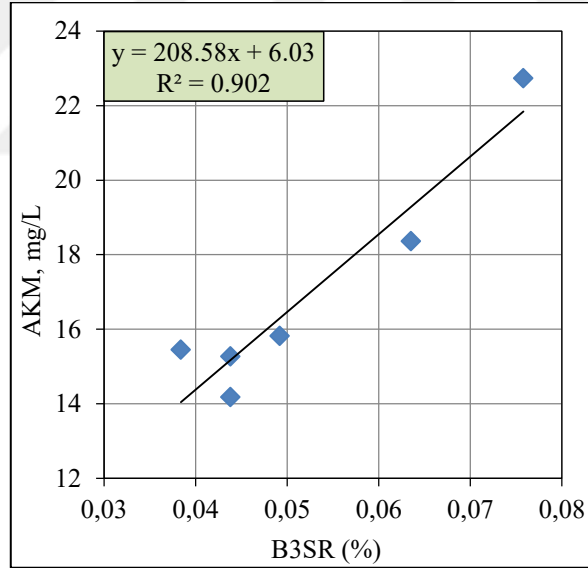


Şekil 46. Borçka Baraj Gölü'nde trofik seviye indeksi değerlerinin mevsimlik değişimi

3.5. Borçka Baraj Gölü Havzası Uydu Görüntüsü Yüzey Yansıma Değerleri ile Gözlem Değerleri Arasında Denklemlerin Kurulması

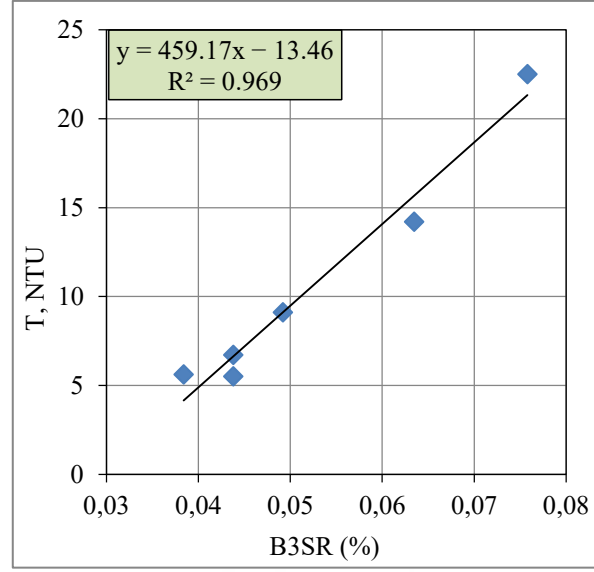
Regresyon analizinde en iyi denklemi elde edebilmek için B1, B2, B3 ve B4 numaralı görüntü bantları kullanılmıştır. Her bir banttan elde edilen yüzey yansıma (Surface Reflectance, SR) değerleri ile yerinde yapılan ölçümler arasında doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. AKM ve T için en yüksek determinasyon katsayısı (R^2) değerini veren SR değerleri B3SR bandından elde edilirken, Chl-a için en uygun band B1SR olmuştur.

AKM ile B3SR bandından elde edilen değerler arasındaki doğrusal regresyon grafiğı ve denklemi Şekil 47’de sunulmaktadır. Aradaki ilişkisinin düzeyini gösteren korelasyon (R) katsayısı 0.95 çıkmıştır. Bu değer altı örnek için 0.01 anlamlılık düzeyindeki sınır değer olan 0.917’den büyük çıkmıştır. Bu nedenle denklem 0.01 anlamlılık düzeyinde istatistik olarak anlamlıdır.



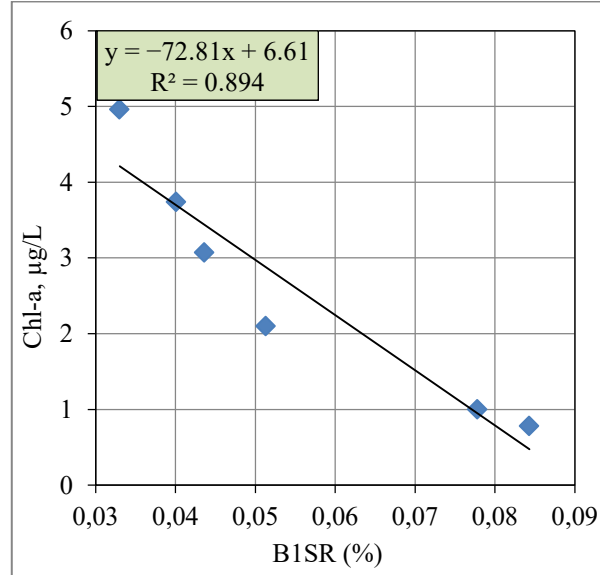
Şekil 47. Askıda katı madde ölçüm verileri ile B3SR değerleri arasındaki ilişki

Şekil 48’de T verileri ile BSR3 band değerleri arasındaki doğrusal regresyon ilişkisi görülmektedir. Denklem için hesaplanan R 0.984’tür. Bu değer sınır değerden yüksek olduğundan denklem 0.01 anlamlılık düzeyinde istatistik olarak anlamlıdır.



Şekil 48. Bulanıklık ölçüm verileri ile B3SR değerleri arasındaki ilişki

Chl-a ile B1SR bandından elde edilen değerler arasındaki doğrusal regresyon grafiği ve denklemi Şekil 49’da verilmektedir. Denklem için R -0.946 çıkmıştır. Bu değer mutlak değeri 0.01 anlamlılık düzeyindeki sınır değerden (0.917) büyük çıkmıştır. Bu nedenle denklem de 0.01 anlamlılık düzeyinde istatistik olarak anlamlıdır.



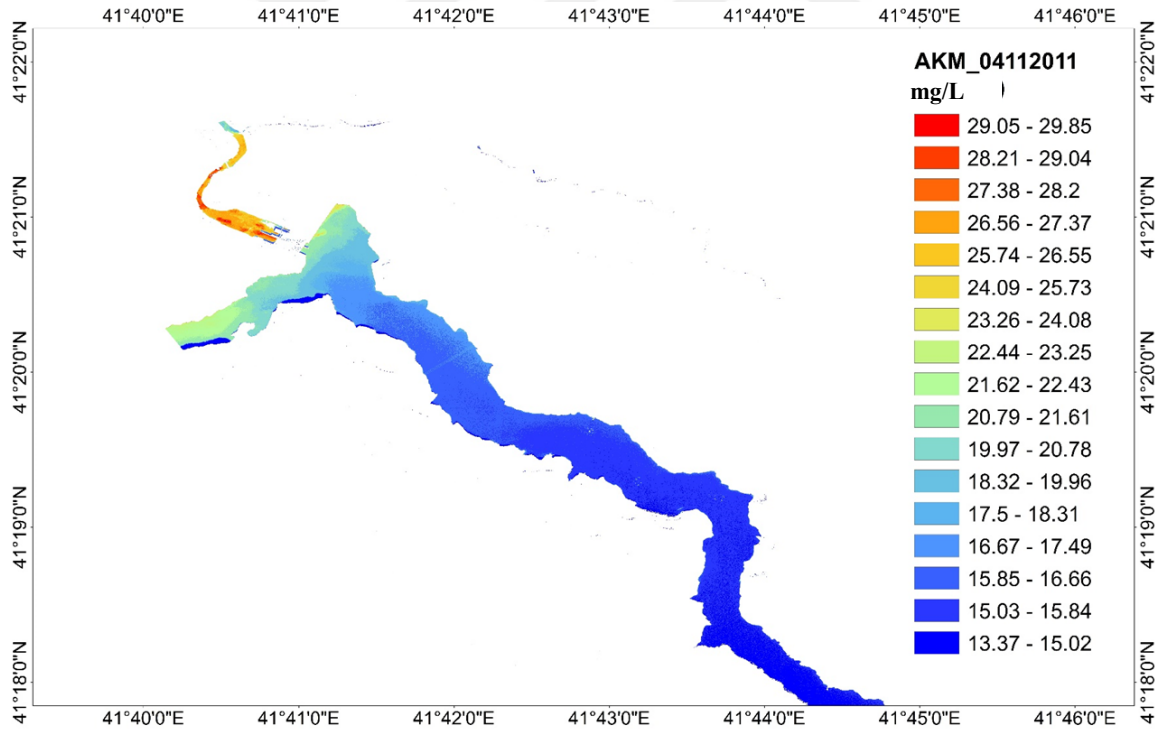
Şekil 49. Klorofil-a ölçüm verileri ile B1SR değerleri arasındaki ilişki

3.6. Borçka Baraj Gölü Havzası Askıda Katı Madde, Bulanıklık ve Klorofil-a Haritaları

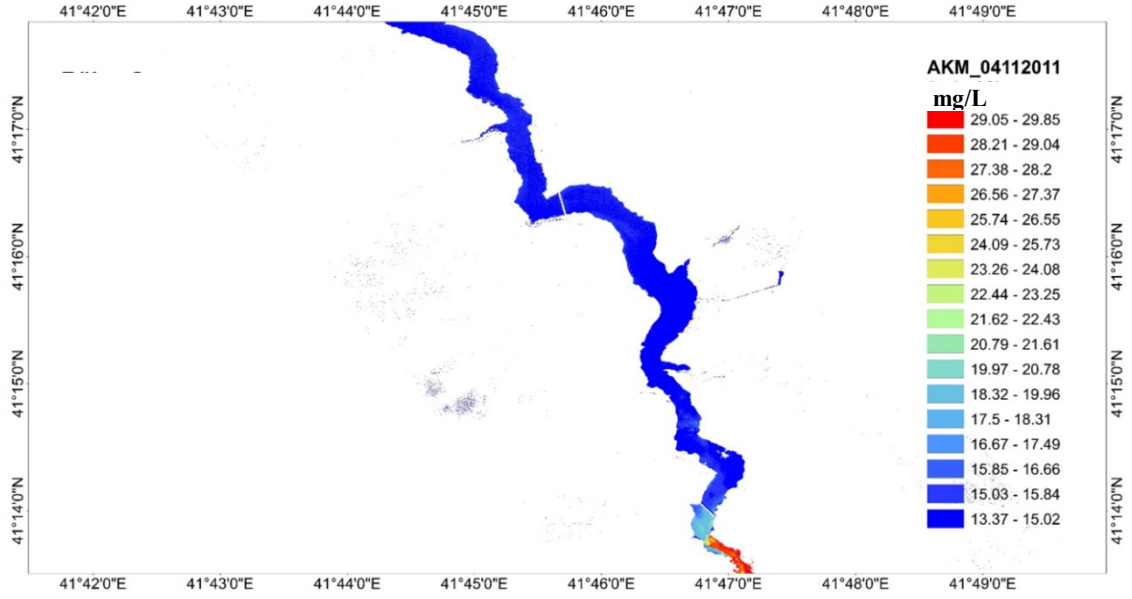
Çalışma alanı üç bölgeye ayrılarak AKM, T ve Chl-a parametreleri için haritalar oluşturulmuştur. B07, B08, B09, B10, B11 ve B12 istasyonları Bölge 1; B04, B05 ve B06 istasyonları Bölge 2; B01, B02 ve B03 istasyonları ise Bölge 3’de yer almaktadır.

3.6.1. Borçka Baraj Gölü Havzası Askıda Katı Madde Haritası

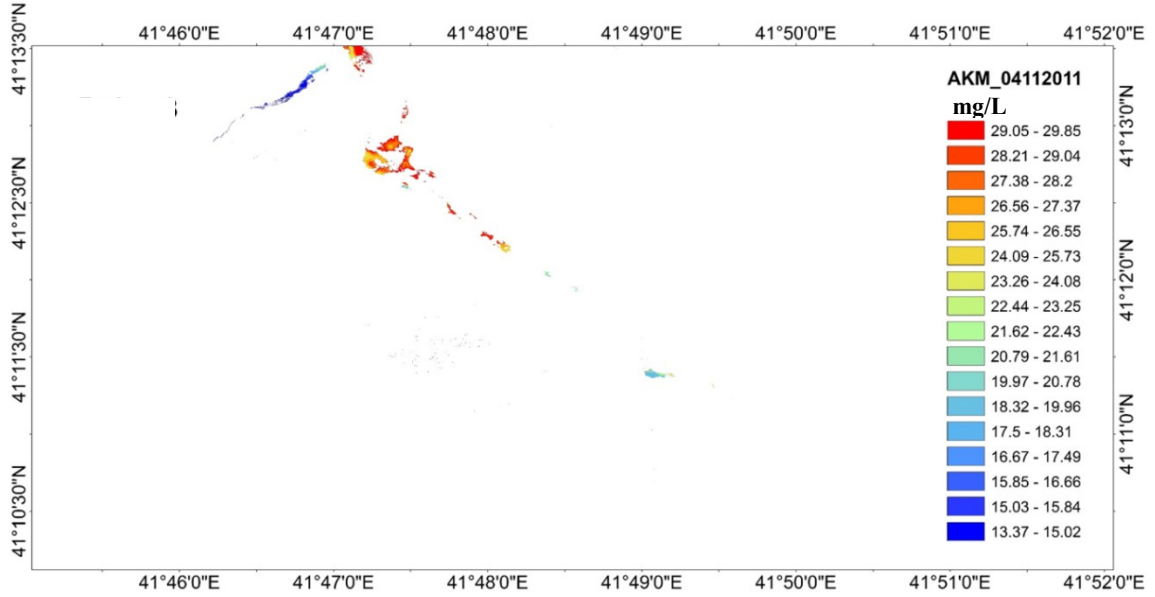
Bölge 1, Bölge 2 ve Bölge 3 için oluşturulan haritalar incelendiğinde AKM değerlerinin 13.37 ile 29.85 mg/L aralığında olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 50-52). Yersel ölçümlerde ise 14.18 ile 28.36 mg/L aralığında değerler elde edilmiştir. Çalışmada elde edilen AKM konsantrasyonlarının, AKM haritasındaki değerlere yakın olması algoritmanın büyük oranda tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 50. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 1) askıda katı madde haritası



Şekil 51. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 2) askıda katı madde haritası

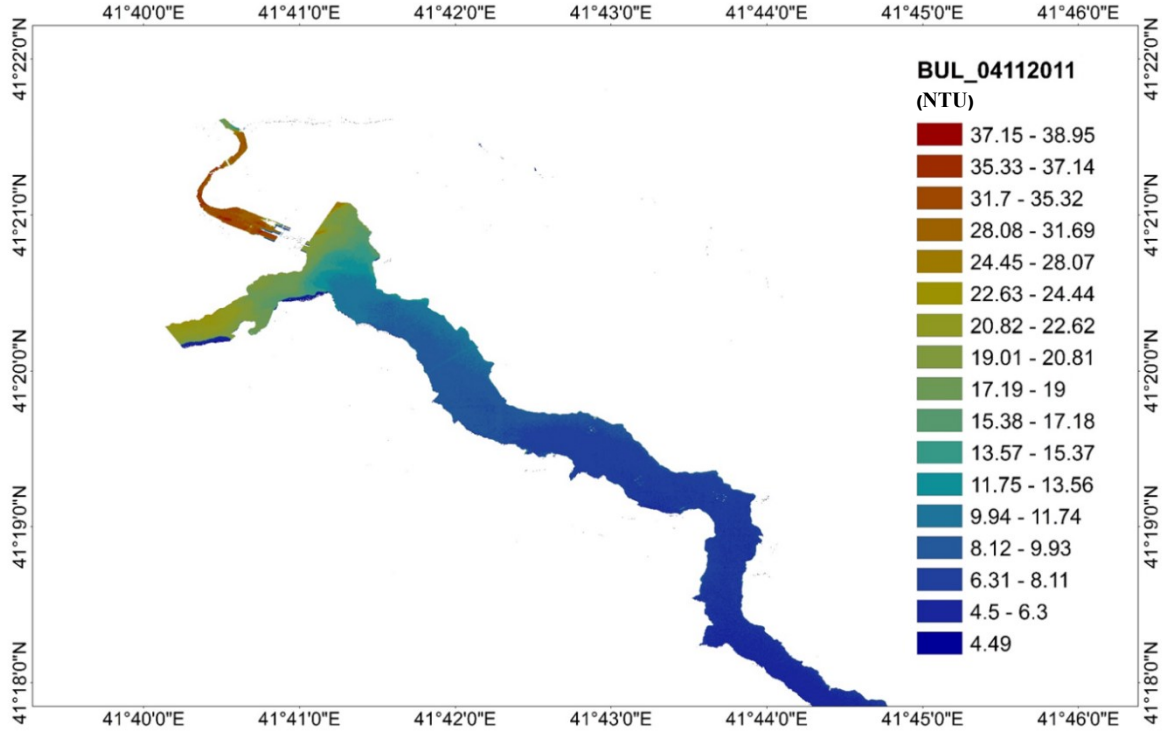


Şekil 52. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 3) askıda katı madde haritası

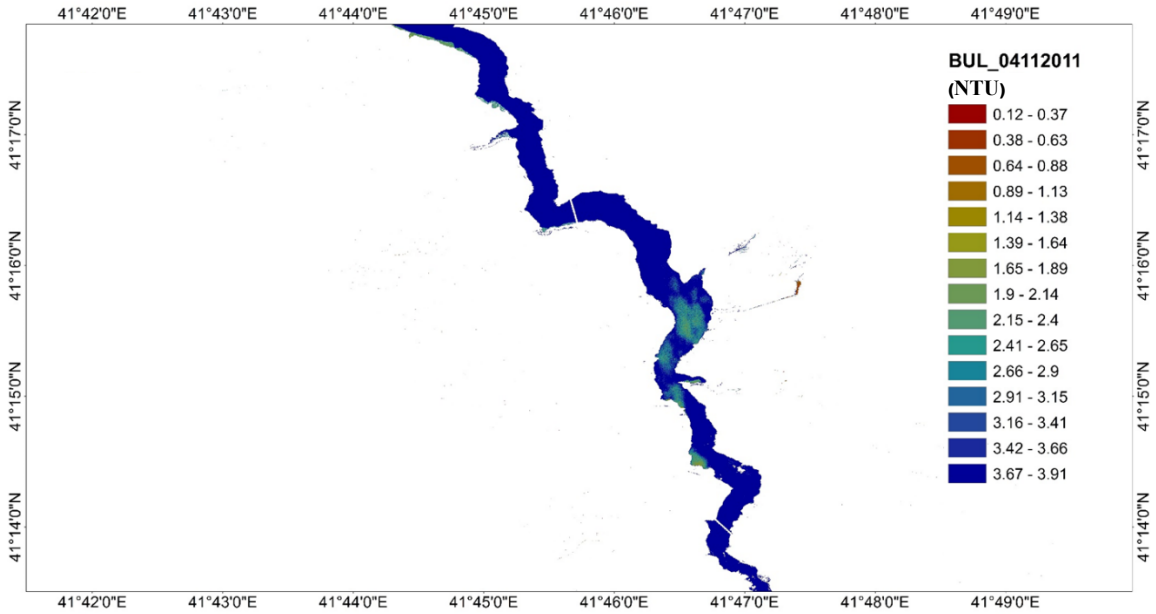
3.6.2. Borçka Baraj Gölü Havzası Bulanıklık Haritası

B07, B08, B09 ve B10 istasyonlarının yer aldığı Bölge 1 için harita (Şekil 53) incelendiğinde; bulanıklığın 4.5 ile 22.62 NTU aralığında değerler aldığı belirlenmiştir. Yersel ölçümlerde ise B07, B08, B09 ve B10 istasyonlarında T için 6.7 ile 22.5 NTU aralığında değerler tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen T verileri ile haritadan elde

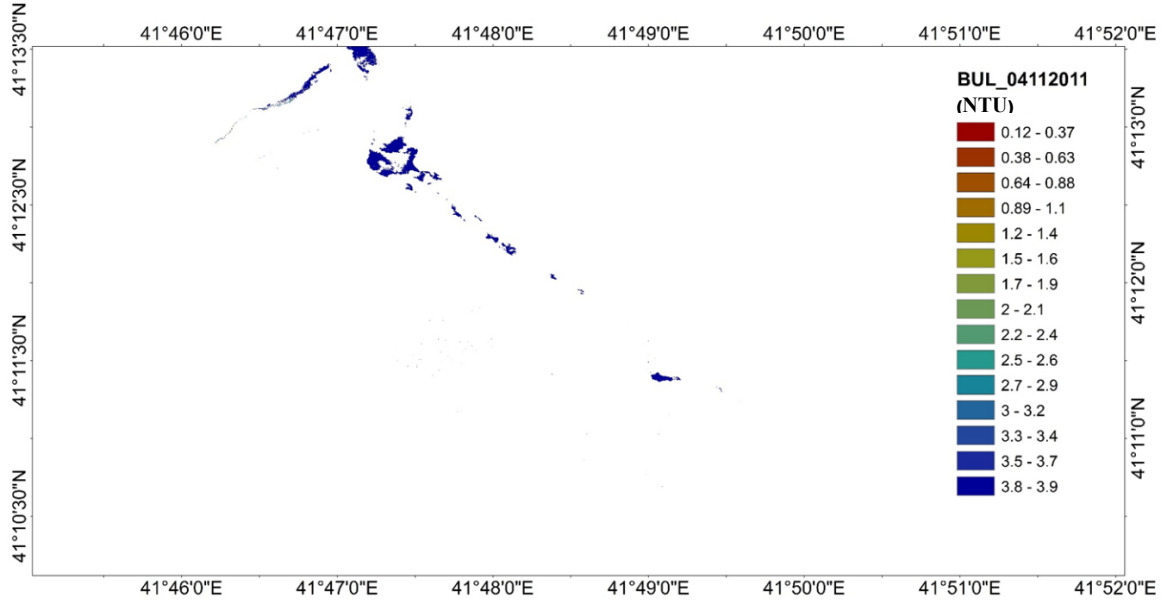
edilen T değerlerinin bu düzeyde yakın olması algoritmanın büyük oranda tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Diğer istasyonların yer aldığı bulanıklık haritaları ise Şekil 54 ve Şekil 55'te verilmektedir.



Şekil 53. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 1) bulanıklık haritası



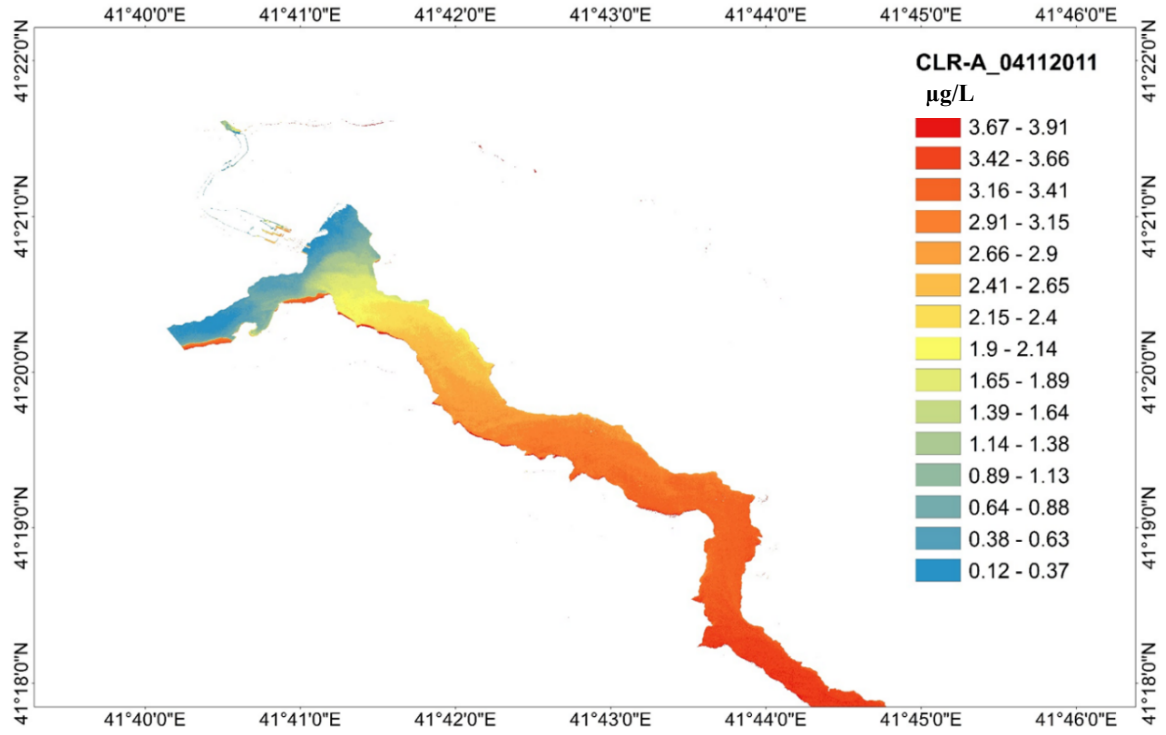
Şekil 54. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 2) bulanıklık haritası



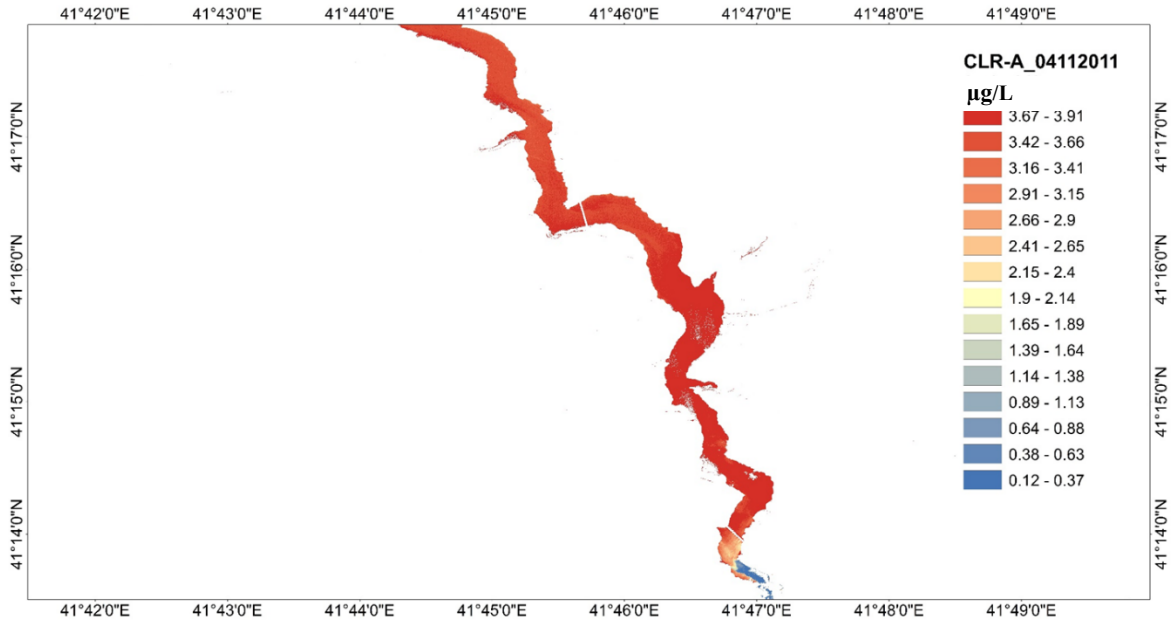
Şekil 55. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 3) bulanıklık haritası

3.6.3. Borçka Baraj Gölü Havzası Klorofil-a Haritası

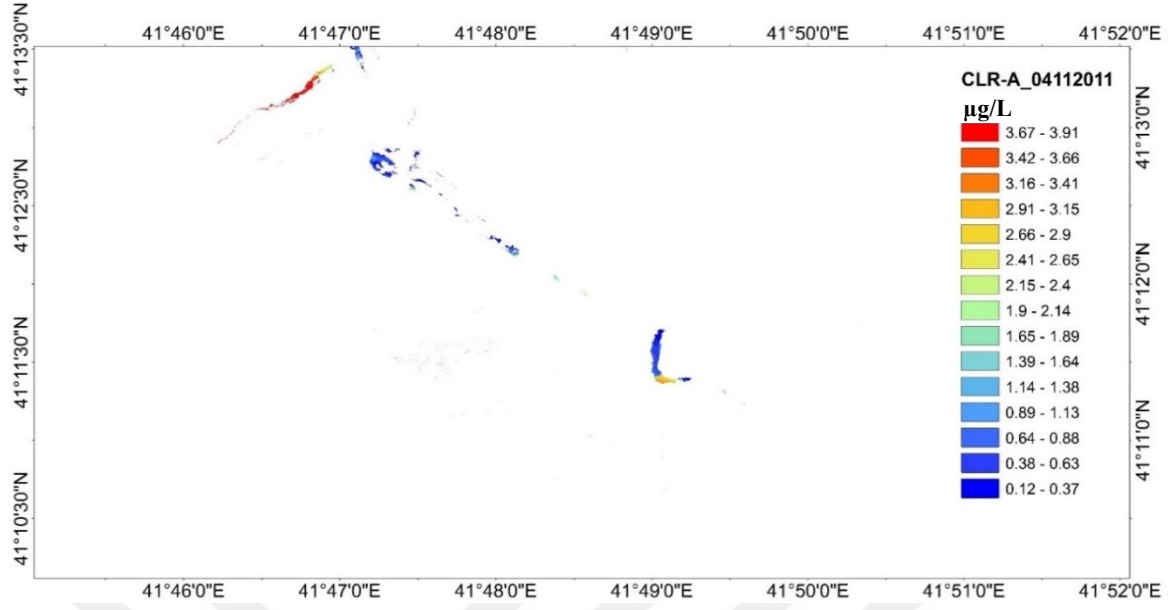
Haritalardan Chl-a değerlerinin 0.12 ile 3.91 $\mu\text{g/L}$ aralığında değiştiği anlaşılmaktadır (Şekil 56-58). Yersel Chl-a ölçümlerde ise 0.58 ile 4.96 $\mu\text{g/L}$ aralığında değerler elde edilmiştir. Çalışmada elde edilen Chl-a konsantrasyonlarının, Chl-a haritalarındaki değerlerden çok uzaklaşmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 56. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 1) klorofil-a haritası



Şekil 57. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 2) klorofil-a haritası



Şekil 58. Borçka Baraj Gölü Havzası (Bölge 3) klorofil-a haritası

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çoruh Nehri ve Murgul Çayı tarafından taşınan AKM üç farklı su kotunda (< 175 m, $175-180$ m ve > 180 m) üç farklı çökelme davranışı göstermiştir. Spesifik olarak su seviyesi arttıkça Çoruh Nehri'ndeki AKM haznede ilerlerken, su seviyesi azaldıkça Murgul Çayı'ndaki AKM haznede ilerlemiştir.

Eti Bakır Murgul Tesisinden üç açık ocaktan yılda 2,000,000 ton tüvenan bakır cevheri çıkarılmakta ve yılda 45,000 ton bakır konsantresi işlenmektedir. Murgul Çayı'nda bulunan istasyonun yıllık ortalama AKM ve T sırasıyla 16,992 mg/L ve > 712 NTU değerlerine dayanarak hazne suyunun Borçka Baraj Gölü'ne dökülen Murgul Çayı'na yapılan bakır madeni deşarjından ciddi şekilde etkilendiği anlaşılmıştır.

Seki diski derinlikleri ve hazne su derinliklerinin yüksek, AKM ile bulanıklığın düşük olduğu B08 istasyonunun ortalama yıllık değerleri esas alındığında, Borçka Baraj Gölü'nün uzun hidrolik bekleme süresi sebebiyle Çoruh Nehri ile taşınan AKM'nin %92.4'lük kısmını ve Murgul Çayı tarafından taşınan AKM'nin %99.8'lik kısmını çökeltebildiği sonucuna ulaşılmıştır.

YSKKY (2016)'ya göre Borçka Barajı Gölü Chl-a bakımından oligotrofik, TN bakımından mezotrofik ve TP bakımından ötrofik olarak sınıflandırılmıştır. Ölçülen sonuçlar, Çoruh Nehri ve Murgul Çayı'nın TN ve KOİ dikkate alındığında yüksek kaliteli suya sahip olduğu ancak TP açısından az kirlenmiş suya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. TN ve KOİ yıllık ortalama değerlerindeki düşüş göz önüne alındığında, Borçka Baraj Gölü'nün Aşağı Çoruh Havzası'ndaki yerüstü su kalitesine olumlu etki yaptığı sonucuna varılmıştır. Baraj gölündeki istasyonlar SDD için YSKY (2016) "Göl, Gölet ve Baraj Gölleri Ötrofikasyon Kriterleri" tablosuna göre değerlendirildiğinde ise hazne alanı B02, B03, B04, B05, B06 ve B10 istasyonları için hipertrofik; B07, B08 ve B09 istasyonları için mezotrofik olarak sınıflandırılmıştır.

"Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizyokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" (YSKKY 2016) dikkate alınarak değerlendirme yapıldığında Çoruh Nehri ve Murgul Çayı TN, KOİ, Eİ, ÇO ve pH parametrelerine göre I. Sınıf su kalitesine; TP'ya göre II. Sınıf su kalitesine sahiptir.

Yapılan çalışmada WAWQI ve CWQI modelleri incelenmiş ve bu modellerin su kalitesinin belirlenmesinde kullanımı değerlendirilmiştir. WAWQI yıllık olarak 48.98 olarak belirlenmiş ve su kalitesi “İyi” olarak sınıflandırılmıştır. Baraj gölündeki membada mansaba doğru istasyonlarda WAWQI değerine göre sınıflandırma “Çok iyi” ve “İyi” olarak yapılmıştır. Eti Bakır Murgul Tesisi sebebiyle AKM ve T değerlerindeki artış, B11 istasyonu ve sonrasındaki istasyonlarda (B10 ve B09) su kalitesini olumsuz yönde etkilemiş; haznedeki hidrolik bekleme süresinin ise su kalite sınıfı üzerinde olumlu etkisi olmuştur.

CWQI modeline göre akış halindeki B01 ve B11 istasyonları su kalite sınıfı “Kötü” iken, baraj gölündeki B07 istasyonu CWQI değeri 65.64 ile en yüksek değeri alarak “Orta” olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca CWQI değeri 39.44 ile B02 istasyonundaki olumsuz durumun B06 istasyonuna kadar devam ettiği tespit edilmiştir. CWQI modeli; modelin uygulaması esnasında herhangi bir parametre kısıtlamasının olmaması, hesaba hangi parametrelerin dahil edileceğine kullanıcının karar vermesi, çalışılan alandaki su kalitesini olumsuz etkileyen temel parametrelerin de indeks hesabında kullanılması gibi üstünlüklere sahiptir. Bu sebeple su kalitesinin belirlenmesine yönelik kullanılabilecek en uygun indeks modellerinden biridir.

WAWQI ve CWQI kalite sınıflarına göre istasyonlar arasındaki ilişkinin yorumlanması aşamasında yapılan tespitler, her iki indeks modeli için de benzer özelliktedir. Ancak CWQI; standartlardaki hedef değerlerden sapmaları esas almakta, sapmalara bağlı olarak indeks hesabını yapmakta ve bu noktada CWQI kullanımı daha uygun olmaktadır.

SDD, TP, TN ve Chl-a parametrelerinin yıllık ortalama TSI değerlerine göre baraj gölü trofik seviyesi; TSI(SDD) ve TSI(TP) için hipertrofik, TSI(TN) ve TSI(Chl-a) için ise oligotroftir. Mevsimlik değerlendirme ile elde edilen kalite sınıfları çalışma alanındaki malzeme hareketi ve kirlilik yükü ile uyumludur.

Uzaktan algılama verileri ile yerinde yapılan ölçümler arasında doğrusal regresyon analizi yapıldığında; AKM ile T için en uygun band B3SR ve Chl-a için en uygun band ise B1SR olarak belirlenmiştir. 13. çalışmaya ait yersel veriler ile haritalar karşılaştırıldığında algoritmaların büyük oranda tutarlı olduğu, yersel çalışmada elde edilen Chl-a verilerinin ise Chl-a haritasındaki değerlerden çok uzaklaşmadığı tespit edilmiştir.

Bu çalışma ile ilgili öneriler aşağıda sıralanmaktadır.

Dünya çapında bölgelerde askıda sediment dinamiği üzerine mekansal ve zamansal ölçekte giderek artan sayıda çalışma yapılmasına rağmen, askıda sediment ile ilgili çalışmalar Türkiye'deki nehirler, akarsular ve baraj hazneleri sınırlıdır ve çoğunlukla EİE veya DSİ tarafından sınırlı sayıdaki sediment ölçüm istasyonları ile yürütülmektedir. Dolayısıyla bu bir yıllık gözlemler, havzada işletmede olan ve planlanan hidrolik yapıların su kaynakları çevresel yönetimi için faydalı veriler olabilir.

Su kalitesi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, örnekleme sıklığının mevsimlik, aylık, on beş günlük veya haftalık şeklinde olduğu görülmektedir. Bu durum göz önüne alındığında aylık olarak gerçekleştirilen çalışmanın, on beş günlük aralıklarla gerçekleştirilmesi durumunda daha yararlı olabileceği düşünülmektedir. Özellikle karların erimeye başladığı ve yağışların arttığı Nisan, Mayıs ve Haziran aylarını kapsayan dönemde T ve AKM takibi için örnekleme sıklığının günlük olması önerilmektedir. Bu durumda daha sağlıklı verilere ulaşılabilir ve akarsu üzerinde işletilmekte ve yapılmakta olan su yapılarının AKM hareketine olan etkileri incelenebilir.

Aşağı Çoruh Nehri Havzası'ndaki AKM'nin bulanıklıkla mekana bağlı değişimini daha iyi anlamak için Muratlı ve Deriner barajlarını da kapsayan daha uzun vadeli bir çalışmanın yanı sıra daha sık izleme ve örnekleme yapılması önerilmektedir.

Cılız bitki örtüsü ve dik topoğrafyası sebebiyle Çoruh Nehri Havzası erozyona karşı hassastır. Kısa sürede hızlı çökme riskinin olması tamamlanmış, inşaatı devam eden ve planlanan baraj haznelerinin ekonomik ömrünü kısaltabilir. Bu sebeple erozyonun azaltılmasına yönelik havza rehabilitasyon faaliyetlerinin hedef alınması önerilmektedir.

Kıyı ötrofikasyonu birçok kıyı sularında özellikle karayla çevrili iç denizlerde uzun bir süre ciddi bir sorun olmuştur ve Karadeniz ötrofikasyon sorunları ile bu denizlerin en büyüklerinden biridir. Bunlar nehirler, kanalizasyon sistemleri vb. tarafından Karadeniz'in kıyı sularına artan miktarlarda verilen azot ve fosfordan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle Gürcistan'daki Çoruh Nehir ağzında azot ve fosforun belirlenmesi için özel bir su izleme ve numune alma istasyonu uzun vadeli izleme için seçilebilir.

Borçka Baraj Gölü'nde 2010 yılından itibaren kültür balıkçılığı şeklinde balıkçılık faaliyeti yürütülmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen veriler, işletilmekte ve planlanmakta olan kafeste alabalık üretim işletmeleri için yol gösterici olabilir.

Baraj gölleri çevre kirliliğinden birinci derecede etkilenen alanlardır. Sarp ve engebeli coğrafi yapı nedeniyle Çoruh Vadisi katı atıkların uygun şekilde bertaraf

edilememesi sorunu ile karşı karşıyadır. Çoruh Havzası'nda yer alan il, ilçe ya da köylerin çoğunda atıkların büyük bir kısmı doğrudan yan derelere ve oradan da Çoruh Nehri'ne ulaşmaktadır. Barajlar yapılmadan önce Çoruh Nehri'nin kısa mesafede sahip olduğu yüksek düşüş ile atıklar birikmeden taşınmaktaydı. Ancak sırasıyla Muratlı ve Borçka barajlarının tamamlanıp su tutmasıyla Çoruh Nehri'ne taşınan her türlü atık, baraj göllerinde birikmeye başlamış ve görsel kirliliğin yanında sudaki kirlilik yükünü arttırmak suretiyle su kalitesinin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle havzada üretilen katı atıklar tek bir elden yönetilmeli ve uygun yer seçimi yapılarak düzenli bir şekilde uzaklaştırılmalıdır. Böylece düzensiz depolamanın sebep olacağı sakıncalı durumların ortadan kaldırılması mümkün olacak ve mevcut su kaynakları korunabilecektir.

Su kalitesi tespiti üzerinde etkili olan parametreler için, farklı su kullanım alanlarına yönelik kalite kriterlerinin tek bir yönetmelikte tanımlanması su kalitesi izleme ve değerlendirme ile ilgili çalışmalarda kolaylık sağlayacaktır.

Borçka Baraj Gölü Havzası'nda yeni su kalitesi parametrelerine göre ölçümler yapılarak, kullanım amacına yönelik seçilecek su kalite indeksleri ile su kalite sınıfının yeniden belirlenmesi önerilmektedir.

Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde uzaktan algılama ve fotogrametri ile üretilen verilerde, üretim platformu olarak insansız hava araçları kullanılmaya başlanmıştır. Düşük maliyet, hız, yüksek çözünürlük ve tekrarlı uçuş kabiliyeti sayesinde insansız hava araçları küçük alanlar için tercih edilmektedir. Baraj gölü gibi alanlarda yüzeysel reflektans değerlerinin elde edilmesi için insansız hava araçlarının kullanılabilecek iyi bir alternatif olduğu düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Adda, M. S., Yebdri, D., Baghdadi, D., & Meshram, S. G. (2024). Artificial Neural Network for Modelling the Sediments Accumulation in Es-Saada Reservoir (North-Western Algeria), *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 17(1), 1-16.
- AÇDR, (2022), Artvin İli 2022 Yılı Çevre Durum Raporu, Artvin Valiliği.
- AGEP, (2005), Artvin İl Gelişme Planı, Artvin Valiliği.
- Ağırlioğlu, N. (2004). *Baraj Planlama ve Tasarımı, Cilt 1*, İstanbul: Özener Matbaacılık.
- Aksu, N. (2007). *Hurman Çayı Havzası'nda Sedimentasyonun Ampirik Yöntemlerle Tahmini*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.
- Akyüz, D. E. (2016). Trofik Durum İndeksi ile Anahtar Sınırlayıcı Parametrelerin Değerlendirilmesi: Taihu Gölü Örneği, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (Ek Sayı 1), 194-201.
- Ali, M. S., Mahjabin, T., & Hossen, M. B. (2012). Temporal and Spatial Distribution of Suspended Sediment Concentration in Bhairab River, Bangladesh, *Journal of Engineering Science*, 3(1), 128-137.
- Alp, M., Cıgızoğlu, H. K., & Züran, A. (2003). Askı Maddesi Miktarının Sediment Anahtar Eğrisi ve Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, *1. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, s. 669-675. İzmir.
- Alparslan, E., Aydöner, C., Tüfekci, V., & Tüfekci, H. (2007). Water Quality Assessment at Ömerli Dam Using Remote Sensing Techniques, *Environmental Monitoring and Assessment*, 135, 391-398.
- Al-Taani, A.A., El-Radaideh, N.M., & Al Khateeb, W.M. (2018). Status of Water Quality in King Talal Reservoir Dam, Jordan, *Water Resources*, 45, 603–614.
- Alvares-Robles, J.A., Zarazaga-Soria, F.J., Latre, M. A., Bejar, R. & Muro-Medrano, P.R. (2006). Water Quality Monitoring Based on Sediment Distribution Using Satellite Imagery, *9 th AGILE Conference on Geographic Information Science*, s. 144-150. Hungary.
- Alver, A., & Baştürk, E. (2019). Karasu Nehri Su Kalitesinin Farklı Su Kalitesi İndeksleri Açısından Değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(2), 488-497.
- Aras, E. (2018). Effects of Multiple Dam Projects on River Ecology and Climate Change: Çoruh River Basin, Turkey, *Advances in Environmental Research-An International Journal*, 7(2), 121-138.

- Baruah, P.J., Tamura, M., Oki, K., & Nishimura, H., Neural Network Modeling of Lake Surface Chlorophyll and Sediment Content from Landsat TM Imagery, *22nd Asian Conference on Remote Sensing*, Singapore.
- Başpehlivan, C., Sarıkaya, Ö. V., Karaburun, A., & Döker, M. F. (2004), Land Use Change Detection and Water Quality Management in Istanbul's Water Basins By Using IKONOS Imagery, *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35, 509-512.
- Bayram, A. (2011). Harşit Çayı Su Kalitesinin Mevsimsel Değişiminin İncelenmesi ve Askı Madde Konsantrasyonunun Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Tahmin Edilmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Bayram, A., Kankal, M., Önsoy, H., & Bulut, V.N. (2010). Harşit Çayı Hidrolik Yapılarının Askı Madde Hareketine Etkileri, *VI. Ulusal Hidroloji Kongresi*, s. 873-882. Denizli.
- Bayram A., & Kenanoğlu M. (2017). Temporal Variation of Total Nitrogen and Total Phosphorus in Surface Waters from the Lower Çoruh River Basin, Turkey, *Acta Physica Polonica A*, 132(3), 712-716.
- Bayram A., & Kenanoğlu M. (2016). Variation of Total Suspended Solids Versus Turbidity and Secchi Disk Depth in the Boreka Dam Reservoir, Coruh River Basin, Turkey, *Lake and Reservoir Management*. 32(3), 209-224.
- Bayram, A., Önsoy, H., Kankal, M., & Kömürcü, M. İ. (2014). Spatial and Temporal Variation of Suspended Sediment Concentration Versus Turbidity in the Stream Harşit Watershed, NE Turkey, *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 4987-4996.
- Bilgin, A. (2018). Evaluation of Surface Water Quality by Using Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) Method and Discriminant Analysis Method: a Case Study Coruh River Basin, *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(9), 554.
- Bilgin, A. (2018). Water Quality Index and Applications. *Journal of Current Researches on Engineering, Science and Technology*, 4(2), 161-170.
- Boakye, E., Anyemedu, F. O. K., Donkor, E. A., & Quaye-Ballard, J. A. (2022). Variability of Suspended Sediment Yield in the Pra River Basin, Ghana, *Environment, Development and Sustainability*, 24(1), 1241-1258.
- Bor, A., Elçi, Ş. & Tayfur, G., Tahtalı ve Şaşal Derelerine Taşınan Katı Madde Miktarının Tahmini, *VI. Ulusal Hidroloji Kongresi*, s. 826-837. Denizli.
- Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininger, R.A., & Tozer, R.G. (1970). A Water Quality Index-Do We Dare?, *Water Sewage Works*, 117(10), 339-343.
- Buta, B., Wiatkowski, M., Gruss, Ł., Tomczyk, P., & Kasperek, R. (2023). Spatio-Temporal Evolution of Eutrophication and Water Quality in the Turawa Dam Reservoir, Poland, *Scientific Reports*, 13(1), 9880.

- Canbaz, C. (2022). *Lalapaşa İlçesi İçme Suyu Kalitesinin Mevsimsel Değişimi ve Su Kalite İndeksi Kullanılarak İnsan Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi*, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne.
- Carlson, R.E. (1977). A Trophic State Index for Lakes, *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361-369.
- Carlson, R.E. (1983). Using Differences Among Carlson Trophic State Index Values in Regional Water-Quality Assessment – Discussion, *Water Resources Bulletin*, 19, 307-308.
- CCME, (2017). Canadian Council of Ministers of the Environment, Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index, User's Manual–2017 Update. In: Canadian Environmental Quality Guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Cesare, G. D., Schleiss, A., & Hermann, F. (2001). Impact of Turbidity Currents on Reservoir Sedimentation, *Journal of Hydraulic Engineering*, 127, 6-16.
- Chen, C., Tang, S., Pan, Z., Zhan, H., Larson, M., & Jönsson, L. (2007). Remotely Sensed Assessment of Water Quality Levels in the Pearl River Estuary, China, *Marine Pollution Bulletin*, 54, 1267-1272.
- Cigizoglu, H.K. (2004). Estimation and Forecasting of Daily Suspended Sediment Data by Multi-Layer Perceptrons, *Advances in Water Resources*, 27, 185-195.
- Cirik, S., & Cirik, Ş. (2005). *Limnoloji*, İzmir: Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi ayınları No: 21, Ege Üniversitesi Basımevi.
- Çobaner, M., Ünal, B., Kişi, Ö., & Ünal, S. (2006). Akarsularda Katı Madde Miktarının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmini, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21, 229-235.
- Çokgör, Ş. (2009). *Mechanism of Sediment Transport*, Sediment Transport Technology, Ankara: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- Çokgör, Ş. (2009). Sediment Transport Rate, *Sediment Transport Technology*, Ankara: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- de Oliveira, K. L., Ramos, R. L., Oliveira, S. C., & Christofaro, C. (2021). Water Quality Index and Spatio-Temporal Perspective of a Large Brazilian Water Reservoir, *Water Supply*, 21(3), 971-982.
- Dede, Ö. T., & Sezer, M. (2017). Aksu Çayı Su Kalitesinin Belirlenmesinde Kanada Su Kalitesi İndeks (CWQI) Modelinin Uygulanması, *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University/Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 909-917.
- Dekker, A.G., Vos, R.J., & Peters, S.W.M. (2001). Comparison of Remote Sensing Data, Model Results and in Situ Data for Total Suspended Matter (TSM) in the Southern Frisian Lakes, *Science of the Total Environment*, 268, 197-214.

- Dihkan, M. (2010). *Karadeniz Kıyısıl Sularında AKM Parametresinin Uzaktan Algılanmış Görüntülerle Tespiti*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Dilmen, Ö. (2023). Landsat 8 ve Sentinel 2 Uydu Görüntüleri ile İçme Suyu Baraj Göllerinde Bulanıklık Tahmini, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Doğan, E. (2009), Prediction of Sediment Concentration Using Artifical Neural Networks, *Teknik Dergi*, 20(1), 4567-4582.
- DOKAP, (2000). *Doğu Karadeniz Bölgesel Gelişme Planı (DOKAP)*, Nihai Rapor Cilt V: Çevre, Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Yayınları.
- Doxaran, D., Froidefond, J. M., Lavender, S., & Castaing, P. (2002). Spectral Signature of Highly Turbid Waters Application with SPOT Data to Quantify Suspended Particulate Matter Concentrations, *Remote Sensing of Environment*, 81(1), 149-161.
- Doxaran, D., Castaing, P., & Lavender, S. J. (2006). Monitoring the Maximum Turbidity Zone and Detecting Fine-Scale Turbidity Features in the Gironde Estuary Using High Spatial Resolution Satellite Sensor (SPOT HRV, Landsat ETM+) Data, *International Journal of Remote Sensing*, 27(11), 2303-2321.
- DSİ, (2006). *Artvin-Merkez Varlık Köyü Arazileri ve Yerleşim Yerlerinin Varlık Deresi Taşkınlarından Korunmasına Ait ÇED Raporu*, DSİ 26. Bölge Müdürlüğü.
- DSİ, 2011. DSİ 26. Bölge Müdürlüğü, Etüt ve Plan Şube Müdürlüğü.
- Duan, M., Qiu, Z., Li, R., Li, K., Yu, S., & Liu, D. (2024). Monitoring Suspended Sediment Transport in the Lower Yellow River Using Landsat Observations, *Remote Sensing*, 16(2), 229.
- Durgun, A. (2024). Eğirdir Gölü Havzası ve Olası Kuruma Tehlikesi, *Oğuzhan Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(2), 91-99.
- Egemen Ö., & Sunlu, U. (1996). *Su Kalitesi*, 2. Baskı, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
- EİE, (2012, Mayıs 12), Elektirk İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Hidrolik Çalışmalar. <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/HES/hidroloji/sedim.html> adresinden alınmıştır.
- EİE, (2012, Ağustos 28), Elektirk İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Sediment ve Su Kalitesi Çalışmaları. <http://www.eie.gov.tr/turkce/yek/hes/hidroloji/sedim.html> adresinden alınmıştır.
- El-Masri, B., & Faiz Rahman, A. (2006). Estimation of Water Quality for Lake Kemp Texas Derived from Remotely Sensed Data, Texas Water Resources Institue. <https://www.semanticscholar.org/paper> adresinden alınmıştır.
- Elshemy, M., & Meon, G. (2016). Water Quality Assessment of Aswan High Dam Reservoir, In: *Negm, A. (eds) The Nile River*, Springer, 105-143.

- Fan, H., Huang, H., Zeng, T. Q., & Wang, K. (2006). River Mouth Bar Formation, Riverbed Aggradation and Channel Migration in the Modern Huanghe (Yellow) River Delta, China, *Geomorphology*, 74, 124-136.
- Farzadkia, M., Djahed, B., Shahsavani, E., & Poureshg, Y. (2015). Spatio-Temporal Evaluation of Yamchi Dam Basin Water Quality Using Canadian Water Quality Index, *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(4), 168.
- Faye, J. M., Ndao, S., & Sambou, L. E. V. (2023). Evolution of the Physico-Chemical Quality of the Water in the Manantali Dam Reservoir from 1989 (One Year after Impoundment) to 2022, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 11(9), 351-366.
- Firat, M., & Güngör, M. (2005). Radial Tabanlı Sinir Ağları ile Katı Madde Miktarının Tahmini, *II. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, s. 683-692. İzmir.
- Gao, P. Pasternack, G. B., Bali, K. M., & Wallender, W. W. (2006). Estimating Suspended Sediment Concentration Using Turbidity in an Irrigation Dominated Southeastern California Watershed, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134, 250-259.
- Gao, Q., Li, Y., Cheng, Q., Yu, M., Hu, B., Wang, Z., & Yu, Z. (2016). Analysis and Assessment of the Nutrients, Biochemical Indexes and Heavy Metals in the Three Gorges Reservoir, China, from 2008 to 2013, *Water Research*, 92, 262-274.
- Garde, R. J., & Raju, K. R. (2000). Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems, Third Edition, Taylor & Francis.
- Göğüş, M., 2009, *Reservoir Sedimentation*, Sediment Transport Technology, Ankara: DSİ Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Göksu, M.Z.L. (2003). *Su Kirliliği*, Adana: Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No: 7.
- Güloğlu, E., Başbüyük, M., Balcı, B., & Erkurt, F. E. (2023). Adana İli İçme Suyu Kalite İndeksinin Belirlenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 38(3), 765-773.
- Güneş, G. (2019). Bartın Nehri'nin Fizikokimyasal Özelliklerinin Yağışlı ve Kurak Dönemlerdeki Değişimi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21(63), 761-774.
- Hadjimitsis, D. G., Hadjimitsis, M. G., Clayton, C., & Clarke B. A. (2006). Determination of Turbidity in Kourris Dam in Cyprus Utilizing Landsat TM Remotely Sensed Data, *Water Resources Management*, 20, 449-465.
- Hansda, S. K., Swain, K. K., Vaidya, S. P., & Jagtap, R. S. (2018). Assessment of Water Quality Trends of Khadakwasla Reservoir Using CCME-WQI, *In Environmental Pollution: Select Proceedings of ICWEES-2016*, s. 381-401. Springer Singapore.

- Hassanzadeh, Y. (2007). Evaluation of Sediment Load in a Natural River, *International Water Resources Association*, 32,145-154.
- He, W., Ghwn, S., Liu, X., & Chen, J. (2008). Water Quality Monitoring in a Slightly-Polluted Inland Water Body Through Remote Sensing-Case Study of the Guanting Reservoir in Beijing, China, *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 2(2), 163-171.
- Heidarnejad, M., Golmaee, S. H., Mosaedi, A., & Ahmadi, M. Z. (2006). Estimation of Sediment Volume in Karaj Dam Reservoir (Iran) by Hydrometry Method and a Comparison with Hydrography Method, *Lake and Reservoir Management*, 22(3), 233-239.
- Helweger, F. L., Schlosser, P., Lall, U., & Weissel, J. K. (2004). Use of Satellite Imagery for Water Quality Studies in New York Harbor, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 61(3), 437-448.
- Hepsağ, E. (2003). *Köyceğiz-Dalyan Lagün Havzası Su Kaynaklarının Su Kalitesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- HGM, (2024, Şubat 2), Harita Genel Müdürlüğü, <https://www.harita.gov.tr/urun/artvin-mulk-idare-il-haritasi/453> adresinden alınmıştır.
- Horton, R.K. (1965). An Index Number System for Rating Water Quality, *Journal of Water Pollution Control Federation*, 37 (3), 300-306.
- Jain, S. K. (2001). Development of Integrated Sediment Rating Curves Using ANNs, *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(1), 30-37.
- Jain, S., K., & Singh, P. (2002). Assessment of Sedimentation in Bhakra Reservoir in the Western Himalayan Region Using Remotely Sensed Data, *Hydrological Sciences*, 47(2), 203-212.
- Joshi, J., Atre, A., Nandgude, S., Shinde, M., Durgude, A., Gorantiwar, S., & Patil, M. (2023). Estimation of Suspended Sediment Concentration Using Sentinel-2 Band Functions in Mula Reservoir, Rahuri, India, *Environmental Engineering and Management Journal*, 22(2), 375-387.
- Jothiprakash, V., & Garg, V. (2009). Reservoir Sedimentation Estimation Using Artificial Neural Network, *Journal of Hydrologic Engineering*, 14, 1035-1040.
- Kaçan, M. (2020). *Fethiye Körfezinde Su Kalite İndeksleri ile Değerlendirmenin Karşılaştırılması*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Kayhan, B. A. (2001). *Nehir ve Rezervuar Sedimentasyonu*, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale.

- Kenanoğlu, M., & Bayram, A. (2015). Impact of Borçka Dam on Total Suspended Solids Carried by the Çoruh River and the Murgul Stream, Northeast Turkey, *9th World Congress of EWRA, Water Resources Management in a Changing World: Challenges and Opportunities*, s. 281-282. İstanbul.
- Kenanoğlu, M., Kömürcü, M. İ., Bayram, A., Yıldırım, Y., & Kenanoğlu, D. (2011). Borçka Barajı Rezervuar Alanında Askıdaki Katı Madde ve Bulanıklık Miktarının Tespiti, *II. Su Yapıları Sempozyumu*, s. 233-240. Diyarbakır.
- Khan, M. Y. A., Tian, F., Hasan, F., & Chakrapani, G. J. (2019). Artificial Neural Network Simulation for Prediction of Suspended Sediment Concentration in the River Ramganga, Ganges Basin, India, *International Journal of Sediment Research*, 34(2), 95-107.
- Kumcu, Y., & Kökpınar, M. A. (2009). Measurement of Sediment Load, Sediment Transport Technology, s. 65-88. Ankara. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- Küçükönder, M., Kalkan, E., & Cırık, K. (2022). Kılavuzlu Baraj Gölü (Kahramanmaraş) Su Kalitesi ve Kanada Su Kalite İndeks Sınıfı, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 118-142.
- Latifoğlu, L. (2003). *Barajlarda Ölü Hacim Hesabı ve Yamula Barajı Örneği*, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Lee, H. Y., & Yu, W. S. (1997). Experimental Study of Reservoir Turbidity Current, *Journal of Hydraulic Engineering*, 123, 520-528.
- Li, H., Lv, J., He, X., Bao, Y., & Nsabimana, G. (2024). Precipitation-Dependent Sensitivity of Suspended Sediment Concentration to Turbidity in a Mountainous River in Southwestern China, *Ecological Indicators*, 159, 111644.
- Li, R. R., Kaufman, Y. J., Gao, B. C., & Davis, C. O. (2003). Remote Sensing of Suspended Sediments and Shallow Coastal Waters, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 559-566.
- Li, R., & Li, J. (2004). Satellite Remote Sensing Technology for Lake Water Clarity Monitoring: An Overview, *Environmental Informatics Archives*, 2, 893-901.
- Li, Z., Ma, J., Guo, J., Paerl, H. W., Brookes, J. D., Xiao, Y., Ouyang, W., Fang, F., & Lunhui, L. (2019). Water Quality Trends in the Three Gorges Reservoir Region Before and After Impoundment (1992–2016), *Ecohydrology & Hydrobiology*, 19(3), 317-327.
- Liu, Y., Islam, M. A., & Gao, J. (2003). Quantification of Shallow Water Quality Parameters by Means of Remote Sensing, *Progress in Physical Geography*, 27, 24-43.
- Ma, R., & Dai, J. (2005). Investigation of Chlorophyll-a and Total Suspended Matter Concentrations Using Landsat ETM and Field Spectral Measurement in Taihu Lake, China, *International Journal of Remote Sensing*, 26(13), 2779-2795.

- Maansi, Jindal, R., & Wats, M. (2022). Evaluation of Surface Water Quality Using Water Quality Indices (WQIs) in Lake Sukhna, Chandigarh, India, *Applied Water Science*, 12(1), 2.
- Mabgowa, S. O., Chawla, A., & Thukral, A. K. (2010). Assessment of Water Quality Parameters of the Harike Wetland in India, a Ramsar Site, Using IRS LISS IV Satellite Data, *Environmental Monitoring and Assessment*, 170, 117-128.
- Maloi, S. K., Sang, J. K., Raude, J. M., Mutwiwa, U. N., Mati, B. M., & Maina, C. W. (2016). Assessment of Sedimentation Status of Ruiru Reservoir, Central Kenya, *American Journal of Water Resources*, 4(4), 77-82.
- Matos, T., Martins, M. S., Henriques, R., & Goncalves, L. M. (2024). A Review of Methods and Instruments to Monitor Turbidity and Suspended Sediment Concentration, *Journal of Water Process Engineering*, 64, 105624.
- Meral, R., Merdun, H., Thorne, P. D., & Demirkıran, A. R. (2007). Akustik Yöntemle Askı Malzemesi Ölçümü ve Kalibrasyonu, *III. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, s. 381-387. İzmir.
- Mete, B., & Bayram, A. (2024). Effects of Sediment-Storage Dams on Suspended Sediment Transport in the Sera Lake Watershed, Northeast Turkey, *Environmental Earth Sciences*, 83(8), 258.
- MGM, (2024, Şubat 12), Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi İstatistikler, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?m=ARTVIN> adresinden alınmıştır.
- Miller, L. R. & McKee, B. A. (2004). Using MODIS Terra 250 m Imagery to Map Concentrations of Total Suspended Matter in Coastal Waters, *Remote Sensing of Environment*, 93(1-2), 259-266.
- Minarecioğlu, N. (2008). *Doğal Akarsularda Taşınan Katı Madde Miktarının Yapay Zeka Yöntemleri Kullanılarak Tahmin Edilmesi*, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Morris, G.L. & Fan, J. (1998). *Reservoir Sedimentation Handbook*, McGraw-Hill, New York.
- Nas, B., Karabork, H., Ekercin, S., & Berktaş, A. (2007). Assessing Water Quality in the Beyşehir Lake (Turkey) by the Application of GIS, *Geostatistics and Remote Sensing, 12th World Lake Conference*, s. 639-646. India.
- Nayar, R. (2020). Assessment of Water Quality Index and Monitoring of Pollutants by Physico-Chemical Analysis in Water Bodies: A Review, *International Journal of Engineering Research and Technology*, 9(01), 178-185.
- Odabaşı, B. (2011). *Rezervuarlarda Sediment Birikiminin Önlenmesi ve Rezervuar Ekonomik Ömrünün Uzatılması*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- Ogunkoya, O. O., & Ogbole, A. S. (2024). Estimation of Suspended Sediment Balance of a Small Catchment in Southwestern Nigeria, *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(3), 292.
- Onderka, M., & Pekarova, P. (2008). Retrieval of Suspended Particulate Matter Concentrations in the Danube River from Landsat ETM Data, *Science of the Total Environment*, 397(1-3), 238-243.
- Ongley, E. (2013, Ekim 29). *Sediment Measurements*, Water Quality Monitoring, Taylor & Francis e-Library. <https://pdf4pro.com/view/chapter-13-sediment-measurements-269e1.html> adresinden alınmıştır.
- Ormeci, C., Sertel, E., & Sarikaya, O. (2009). Determination of Chlorophyll-a Amount in Golden Horn, Istanbul, Turkey using IKONOS and in situ data, *Environmental Monitoring and Assessment*, 155(1-14), 83-90.
- Osgood, R.A. (1982). Using Differences Among Carlson Trophic State Index Values in Regional Water-Quality Assessment, *Water Resources Bulletin*, 18(1), 67-74.
- Quevedo-Castro, A., Monjardín-Armenta, S. A., Plata-Rocha, W., & Rangel-Peraza, J. G. (2024). Implementation of Remote Sensing Algorithms to Estimate TOC, Chl-a, and TDS in a Tropical Water Body; Sanalona Reservoir, Sinaloa, Mexico, *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(2), 175.
- Paulista, R. S. D., de Almeida, F. T., de Souza, A. P., Hoshide, A. K., de Abreu, D. C., da Silva Araujo, J. W., & Martim, C. C. (2023). Estimating Suspended Sediment Concentration Using Remote Sensing for the Teles Pires River, Brazil, *Sustainability*, 15(9), 7049.
- Peng, D., Guo, S., Liu, P., & Liu, T. (2006). Reservoir Storage Curve Estimation Based on Remote Sensing Data, *Journal of Hydrologic Engineering*, 11, 165-172.
- Petus, C., Chust, G., Gohin, F., Doxaran, D., Froidefond, J.-M., & Sagarminaga, Y. (2010). Estimating Turbidity and Total Suspended Matter in the Adour River Plume (South Bay of Biscay) Using MODIS 250-m Imagery, *Continental Shelf Research*, 30, 379-392.
- Rai, A. K., & Kumar, A. (2015). Continuous Measurement of Suspended Sediment Concentration: Technological Advancement and Future Outlook, *Measurement*, 76, 209-227.
- Resmi Gazete. (2016). Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, 29797.
- Resmi Gazete. (2021). Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, Cumhurbaşkanlığı İdari İşler Başkanlığı Hukuk ve Mevzuat Genel Müdürlüğü, 31513.
- Roy, R., & Majumder, M. (2022). Assessment of Water Quality Trends in Deepor Beel, Assam, India, *Environment, Development and Sustainability*, 24(12), 14327-14347.

- Sa'ad, F. N. A., Tahir, M. S., Jemily, N. H. B., Ahmad, A., & Amin, A. R. M. (2021). Monitoring Total Suspended Sediment Concentration in Spatiotemporal Domain Over Teluk Lipat Utilizing Landsat 8 (OLI), *Applied Sciences*, 11(15), 7082.
- Saraç, M., & Eciroğlu, O. (2008). Çoruh Havzası ve EİE, *Su ve Enerji Konferansı*, s. 108-117. Artvin.
- Sarıdoğan, Ü. (2019). *Musagözü Baraj Göleti'nin (Eskişehir) Su Kalite İndeksine Göre Değerlendirilmesi*, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Satılmış, U. (2015). *Değirmendere Havzası (Trabzon) Yerüstü Su Kalitesinin Mekana ve Zamana Bağlı Değişiminin İncelenmesi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Selvi, E. (2023). *Akgöl Su Kalitesinin Organik Maddeleri Değerlerine Göre Su Kalite İndeksinin Değerlendirilip Karşılaştırılması*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Sever, R. (2008). Türkiye Hidroelektrik Üretiminde Çoruh Havzası Enerji Yatırım Projelerinin Yeri ve Önemi, *Su ve Enerji Konferansı*, s. 229-241. Artvin.
- Sezer, M. (2024). Karasu 1, Karasu 2 ve Okta Derelerinin Su Kalitesinin Belirli Kirleticiler ve Öncelikli Maddeler Açısından Kanada Su Kalitesi Index (CWQI) Modeli ile Değerlendirilmesi, *DSİ Teknik Bülteni*, (143), 13-27.
- Shanmugasundharam, A., Akhina, S. N., Adhithya, R. P., Singh, D. S. H., & Krishnakumar, S. (2023). Water Quality Index (WQI), Multivariate Statistical and GIS for Assessment of Surface Water Quality of Karamana River Estuary, West Coast of India, *Total Environment Research Themes*, 6, 100031.
- Stefouli, M., Dimitrakopoulos, D., Papadimitrakakis, J., & Charou, E. (2005). Monitoring and Assessing Internal Waters (Lakes) Using Operational Space Born Data and Field Measurements, *European Water*, 9(10), 25-33.
- Sterckx, S., Knaeps, E., Bollen, M., Trouw, K., & Houthuys, R. (2006). Operational Remote Sensing Mapping of Estuarine Suspended Sediment Concentrations (ORMES), *Proceedings of the 15th International Congress of the International Federation of Hydrographic Societies*, s. 129-132. Belgium.
- Sterckx S., Knaeps, E., Bollen, M., Trouw, K., & Houthuys, R. (2007). Retrieval of Suspended Sediment from Advanced Hyperspectral Sensor Data in the Scheldt Estuary at Different Stages in the Tidal Cycle, *Marine Geodesy*, 30(1-2), 97-108.
- Sümer, B., İleri, R., Şamandar, A., & Şengörür, B. (2001). Büyük Melen ve Kollarındaki Su Kalitesi, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 10(39), 13-18.
- Son, C. T., Giang, N. T. H., Thao, T. P., Nui, N. H., Lam, N. T., & Cong, V. H. (2020). Assessment of Cau River Water Quality Assessment Using a Combination of Water Quality and Pollution Indices, *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 69(2), 160-172.

- Şahin, M. (2018). *Porsuk Çayı'nın Su Kalite İndekslerine Göre Değerlendirilmesi ve Baraj Gölü Trofik Seviyesinin Belirlenmesi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir.
- Şimşek, A., Türkten, H., & Bakan, G. (2022). Su Kalite İndeksi ve İstatistiksel Analiz Kullanılarak Orta Karadeniz Bölgesi Kızılırmak ve Yeşilirmak Nehirleri Su Kalitesinin Değerlendirilmesi, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 645-662.
- Tarkan, A.S. (2007). *Ömerli Baraj Gölü'ne Akan Derelerin Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özelliklerinin İncelenmesi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Teixeira, L. C., Mariani, P. P., Pedrollo, O. C., dos Reis Castro, N. M., & Sari, V. (2020). Artificial Neural Network and Fuzzy Inference System Models for Forecasting Suspended Sediment and Turbidity in Basins at Different Scales, *Water Resources Management*, 34(11), 3709-3723.
- Titiz, A. M. (2020). *Su Kalitesi İndeksi ve Bazı Çoklu İstatistiksel Teknikler Kullanılarak İpsala İlçesi İçme Suyu Kalitesinin Değerlendirilmesi*, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne.
- TS 266, 2005. Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tüfekçioğlu, A., Güner, S., Tilki, F., & Cengiz, T. (2004). *Artvin İl Gelişme Planı Çevre ve Mekansal Gelişme Sektörü Raporu*, Artvin: Artvin Valiliği Yayınları.
- TÜİK, (2025, Şubat 24), Türkiye İstatistik Kurumu, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Veri Tabanı. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2024-53783> adresinden alınmıştır.
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., & Dobhal, R. (2013). Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index, *American Journal of Water Resources*, 1(3), 34-38.
- Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). A Review of Water Quality Index Models and Their Use for Assessing Surface Water Quality, *Ecological Indicators*, 122, 107218.
- Ulke, A., Tayfur, G., & Ozkul, S. (2009). Predicting Suspended Sediment Loads and Missing Data for Gediz River, Turkey, *Journal of Hydrologic Engineering*, 14, 954-965.
- Umwali, E. D., Kurban, A., Isabwe, A., Mind'je, R., Azadi, H., Guo, Z., Udahogora, M., Nyirarwasa, A., Umuhoza, J., Nzabarinda, V., Gasirabo, A., & Sabirhazi, G. (2021). Spatio-Seasonal Variation of Water Quality Influenced by Land Use and Land Cover in Lake Muhazi, *Scientific Reports*, 11(1), 17376.
- Uslu, A. (2022). *Aksu Çayı ve Acısu Deresi Su Kalitesinin Su Kalite İndeksleri Kullanılarak Değerlendirilmesi*, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Antalya.

- Uysal, E. (2015). *Eskişehir'deki Sulama Göletlerinin Su Kalite İndekslerinin Belirlenmesi ve Ekolojik Açıdan Değerlendirilmesi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Ünlü, A., Çoban, F., & Tunç, M. S. (2008). Hazar Gölü Su Kalitesinin Zamanla Değişimi, *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 93-101.
- Varçin, H. (2008), *Eğrekkaya Baraj Haznesi İçerisindeki Yoğunluk Akımlarının Üç-Boyutlu Matematik Modeli ile İncelenmesi*, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Hatay.
- Varol, M., Gökot, B., Bekleyen, A., & Şen, B. (2012). Spatial and Temporal Variations in Surface Water Quality of the Dam Reservoirs in the Tigris River Basin, Turkey. *Catena*, 92, 11-21.
- Wang, J. J., & Lu, X.X. (2010). Estimation of Suspended Sediment Concentrations Using Terra MODIS: An Example from the Lower Yangtze River, China, *Science of the Total Environment*, 408(5), 1131-1138.
- Wang, X. J., & Ma, T. (2001). Application of Remote Sensing Techniques in Monitoring and Assessing the Water Quality of Taihu Lake, *Environmental Contamination and Toxicology*, 67(6), 863-870.
- Wang, Y., Xia, H., Fu, J., & Sheng, G. (2004). Water Quality Change in Reservoirs of Shenzhen, China: Detection Using Landsat/TM Data, *Science of the Total Environment*, 328(1-3), 195-206.
- Wren, D. G., Barkdoll, B. D., Kuhnle, R. A., & Derrow, R. W. (2000). Field Techniques for Suspended Sediment Measurement, *Journal of Hydraulic Engineering*, 126, 97-104.
- Yalçın, H., & Gürü, M. (2002). *Su Teknolojisi*, Ankara: Palme Yayıncılık.
- Yan, Z., & Tang, D. (2009). Changes in Suspended Sediments Associated with 2004 Indian Ocean Tsunami, *Advances in Space Research*, 43, 89-95.
- Yang, S. Q. (2005). Formula for Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Waters, *Journal of Hydraulic Engineering*, 131, 968-979.
- Yıldız, D., & Kaş, İ. (2007). *Rezervuarlarda Sediment Birikimi ve Uzaklaştırma Yöntemleri*, Teknik Rapor, Ankara, Ada Mühendislik.
- Yu, W. S., Lee, H. Y., & Hsu, S. M. (2000). Experiments on Deposition Behavior of Fine Sediment in Reservoir, *Journal of Hydraulic Engineering*, 126, 912-920.
- Zheng, S., He, J., & Wu, B. (2023). Water and Sediment Regulation by Cascade Dams at the Yellow River, China, *Journal of Hydrologic Engineering*, 28(11), 05023020.
- Zotou, I., Tsihrintzis, V. A., & Gikas, G. D. (2018). Comparative Assessment of Various Water Quality Indices (WQIs) in Polyphytos Reservoir-Aliakmon River, Greece, *Proceedings*, 2(11), 611.

7. EKLER

Ek 1. B01 istasyonunda takibi yapılan parametrelerin mevsimlik (Aralık 2010-Kasım 2011) değişimi

Parametre	Birim	Kış				İlkbahar				Yaz				Sonbahar			
		Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S
T	NTU	30.00	161.00	414.00	219.00	282.00	859.00	1,374.00	538.00	55.00	91.00	130.00	38.00	22.00	70.00	104.00	43.00
AKM	mg/L	59.10	183.00	421.10	206.30	390.00	941.30	1,382.90	494.00	40.90	95.20	132.80	48.20	28.40	91.90	140.80	57.60
ÇO	mg/L	11.33	12.20	12.76	0.76	10.52	10.87	11.33	0.37	8.17	8.45	8.99	0.47	8.64	9.98	11.82	1.65
pH	-	8.52	8.72	8.84	0.17	8.03	8.15	8.32	0.13	8.07	8.16	8.24	0.08	8.06	8.11	8.16	0.05
t	°C	3.90	5.50	7.90	2.10	9.70	11.40	14.30	2.10	17.70	20.30	21.70	2.30	6.90	13.60	18.90	6.10
Eİ	µS/cm	219.00	246.00	284.00	34.00	138.00	187.00	247.00	56.00	195.00	244.00	319.00	66.00	226.00	262.00	330.00	59.00
Chl-a	µg/L	0.78	0.85	2.65	1.04	1.42	2.40	3.76	0.99	0.57	0.77	0.92	0.18	0.58	0.96	1.32	0.37
TN	mg/L	0.791	1.020	1.160	0.200	0.690	0.916	1.300	0.334	0.335	0.568	0.910	0.302	0.467	0.571	0.758	0.162
TP	mg/L	0.087	0.094	0.100	0.007	0.086	0.089	0.092	0.003	0.081	0.084	0.089	0.004	0.082	0.087	0.090	0.004
KOİ	mg/L	3.750	4.540	5.530	0.907	7.820	8.420	9.120	0.656	2.660	4.980	7.730	2.562	2.910	4.260	5.380	1.251
Min: en küçük, Ort: ortalama, Mak: en büyük, S: standart sapma																	

Ek 2. B02 istasyonunda takibi yapılan parametrelerin mevsimlik (Aralık 2010-Kasım 2011) değişimi

Parametre	Birim	Kış				İlkbahar				Yaz				Sonbahar			
		Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S
T	NTU	39.00	151.00	232.00	100.00	318.00	697.00	1335.00	477.00	34.00	260.00	653.00	341.00	113.00	425.00	901.00	419.00
AKM	mg/L	69.00	169.80	295.80	115.50	296.50	713.60	1,663.60	647.40	12.50	307.40	840.40	462.50	80.40	440.80	1,015.90	503.30
ÇO	mg/L	11.22	12.08	12.96	0.87	10.04	10.68	11.47	0.61	6.91	7.88	8.94	1.02	7.66	9.42	11.52	1.95
pH	-	8.59	8.67	8.77	0.09	7.94	8.03	8.11	0.08	7.75	8.06	8.26	0.27	7.96	8.00	8.05	0.05
t	°C	3.60	5.60	7.80	2.10	9.90	11.50	14.80	2.20	18.10	21.20	23.10	2.70	6.50	13.70	19.30	6.60
Eİ	µS/cm	231.00	251.00	288.00	32.00	136.00	187.00	249.00	57.00	200.00	253.00	337.00	73.00	224.00	271.00	346.00	65.00
Chl-a	µg/L	0.58	0.65	1.92	0.74	0.97	1.87	2.69	0.77	0.47	0.90	1.47	0.52	1.26	1.67	2.36	0.60
TN	mg/L	0.870	1.067	1.190	0.172	0.822	0.929	1.120	0.166	0.407	0.628	0.750	0.191	0.408	0.830	1.560	0.635
TP	mg/L	0.093	0.099	0.102	0.005	0.085	0.091	0.099	0.007	0.083	0.088	0.092	0.005	0.082	0.085	0.088	0.003
KOİ	mg/L	3.540	4.830	6.050	1,256	8.200	8.947	10.300	1.174	3.270	4.693	6.690	1.781	3.100	5.567	7.150	2.165
SDD	cm	-	-	-	-	10.00	55.00	100.00	63.60	20.00	30.00	40.00	14.10	-	-	-	-
SD	m	-	-	-	-	6.09	6.72	7.35	0.89	6.22	7.49	8.75	1.79	-	-	-	-
Min: en küçük, Ort: ortalama, Mak: en büyük, S: standart sapma																	

Ek 3. B03 istasyonunda takibi yapılan parametrelerin mevsimlik (Aralık 2010-Kasım 2011) değişimi

Parametre	Birim	Kış				İlkbahar				Yaz				Sonbahar			
		Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S
T	NTU	-	-	-	-	120.00	133.00	146.00	19.00	33.00	52.00	70.00	27.00	-	-	-	-
AKM	mg/L	-	-	-	-	84.10	101.20	118.20	24.10	13.80	34.30	54.70	28.90	-	-	-	-
ÇO	mg/L	-	-	-	-	9.76	10.59	11.41	1.17	7.85	8.34	8.82	0.69	-	-	-	-
pH	-	-	-	-	-	7.44	7.87	8.29	0.60	8.01	8.12	8.22	0.15	-	-	-	-
t	°C	-	-	-	-	8.40	12.80	17.30	6.30	19.40	21.30	23.20	2.70	-	-	-	-
Eİ	µS/cm	-	-	-	-	36.00	81.00	126.00	64.00	201.00	212.00	223.00	16.00	-	-	-	-
Chl-a	µg/L	-	-	-	-	0.91	0.99	1.07	0.11	0.46	0.85	1.23	0.54	-	-	-	-
SDD	cm	-	-	-	-	10.00	17.50	25.00	10.60	20.00	40.00	60.00	28.30	-	-	-	-
SD	m	-	-	-	-	9.40	10.02	10.63	0.87	7.57	9.01	10.45	2.04	-	-	-	-
Min: en küçük, Ort: ortalama, Mak: en büyük, S: standart sapma																	

Ek 4. B04 istasyonunda takibi yapılan parametrelerin mevsimlik (Aralık 2010-Kasım 2011) değişimi

Parametre	Birim	Kış				İlkbahar				Yaz				Sonbahar			
		Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S
T	NTU	-	-	-	-	303.00	611.00	918.00	435.00	35.00	63.00	90.00	39.00	-	-	-	-
AKM	mg/L	-	-	-	-	255.30	410.20	565.10	219.00	15.30	42.70	70.10	38.80	-	-	-	-
ÇO	mg/L	-	-	-	-	10.28	10.88	11.47	0.84	7.77	8.31	8.85	0.76	-	-	-	-
pH	-	-	-	-	-	8.01	8.05	8.08	0.05	8.06	8.17	8.28	0.16	-	-	-	-
t	°C	-	-	-	-	10.90	13.10	15.20	3.00	18.10	20.50	23.00	3.40	-	-	-	-
Eİ	µS/cm	-	-	-	-	136.00	139.00	143.00	5.00	201.00	211.00	222.00	15.00	-	-	-	-
Chl-a	µg/L	-	-	-	-	0.90	1.23	1.56	0.47	0.51	0.68	0.85	0.24	-	-	-	-
SDD	cm	-	-	-	-	5.00	5.80	6.70	1.20	21.00	50.50	80.00	41.70	-	-	-	-
SD	m	-	-	-	-	10.14	11.12	12.09	1.38	8.22	10.07	11.92	2.62	-	-	-	-
Min: en küçük, Ort: ortalama, Mak: en büyük, S: standart sapma																	

Ek 5. B05 istasyonunda takibi yapılan parametrelerin mevsimlik (Aralık 2010-Kasım 2011) değişimi

Parametre	Birim	Kış				İlkbahar				Yaz				Sonbahar			
		Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S
T	NTU	33.00	72.00	119.00	44.00	125.00	461.00	848.00	345.00	32.00	38.00	48.00	9.00	6.00	17.00	26.00	10.00
AKM	mg/L	70.70	90.80	125.60	30.30	121.60	273.90	585.70	210.60	11.80	31.30	41.50	16.90	15.50	32.70	52.30	18.50
ÇO	mg/L	11.38	11.86	12.11	0.42	10.00	10.64	11.43	0.59	8.42	9.50	10.98	1.33	7.94	8.88	9.82	0.94
pH	-	8.71	8.72	8.74	0.02	7.97	8.11	8.34	0.16	8.26	8.37	8.51	0.13	8.14	8.15	8.18	0.02
t	°C	3.80	4.30	6.90	1.60	9.80	11.60	15.80	2.80	20.80	23.0	25.40	2.30	12.30	17.1	22.40	5.10
Eİ	µS/cm	221.00	243.00	277.00	30.00	133.00	184.00	240.00	51.00	188.00	241.00	317.00	67.00	210.00	256.00	304.00	47.00
Chl-a	µg/L	0.44	0.47	0.78	0.18	0.79	1.27	1.63	0.38	2.17	7.82	17.82	8.68	1.43	2.95	4.96	1.82
TN	mg/L	0.921	0.998	1.120	0.107	0.507	0.737	0.966	0.230	0.128	0.406	0.604	0.248	0.295	0.375	0.467	0.087
TP	mg/L	0.087	0.094	0.102	0.008	0.089	0.093	0.098	0.005	0.087	0.098	0.107	0.010	0.087	0.089	0.091	0.002
KOİ	mg/L	3.230	4.117	4.590	0.768	7.700	8.060	8.340	0.327	2.960	4.153	5.110	1.094	3.700	5.147	5.910	1.253
SDD	cm	20.00	30.00	40.00	10.00	5.00	11.30	20.00	6.30	40.00	43.30	50.00	5.80	50.00	90.00	160.00	60.80
SD	m	8.67	9.79	10.79	1.07	6.75	10.85	14.32	3.63	8.34	10.89	13.66	2.67	6.10	7.00	7.89	1.27
Min: en küçük, Ort: ortalama, Mak: en büyük, S: standart sapma																	

Ek 6. B06 istasyonunda takibi yapılan parametrelerin mevsimlik (Aralık 2010-Kasım 2011) değişimi

Parametre	Birim	Kış				İlkbahar				Yaz				Sonbahar			
		Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S
T	NTU	6.00	7.00	9.00	2.00	71.00	115.00	218.00	70.00	24.00	25.00	28.00	2.00	6.00	11.00	14.00	5.00
AKM	mg/L	21.30	28.90	43.80	13.00	65.70	87.00	124.50	25.80	15.50	22.90	28.80	6.80	15.30	27.40	45.20	15.80
ÇO	mg/L	10.19	10.83	11.55	0.68	9.94	10.53	10.78	0.39	10.64	10.76	10.87	0.12	8.16	8.81	9.53	0.69
pH	-	8.53	8.61	8.73	0.11	8.04	8.16	8.47	0.21	8.45	8.56	8.62	0.09	8.03	8.15	8.31	0.14
t	°C	5.20	7.20	9.60	2.20	9.20	11.90	16.90	3.60	20.40	22.80	25.20	2.40	12.70	17.50	22.50	4.90
Eİ	µS/cm	215.00	238.00	269.00	28.00	130.00	180.00	238.00	48.00	181.00	222.00	293.00	62.00	215.00	261.00	303.00	44.00
Chl-a	µg/L	1.30	1.31	4.36	1.76	0.52	0.79	1.11	0.26	5.15	8.10	9.88	2.57	0.93	2.32	3.74	1.41
SDD	cm	60.00	153.30	220.00	83.30	10.00	17.50	20.00	5.00	60.00	60.00	60.00	0.00	90.00	123.30	180.00	49.30
SD	m	27.54	31.57	39.64	6.99	25.95	32.70	38.88	5.61	32.80	36.20	40.97	4.25	21.54	27.52	33.50	8.46
Min: en küçük, Ort: ortalama, Mak: en büyük, S: standart sapma																	

Ek 7. B07 istasyonunda takibi yapılan parametrelerin mevsimlik (Aralık 2010-Kasım 2011) değişimi

Parametre	Birim	Kış				İlkbahar				Yaz				Sonbahar			
		Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S
T	NTU	4.00	4.00	5.00	1.00	22.00	71.00	122.00	43.00	15.00	18.00	21.00	3.00	7.00	9.00	10.00	2.00
AKM	mg/L	21.10	24.00	29.30	4.60	35.70	46.70	59.10	12.40	15.50	18.10	20.00	2.40	14.20	28.60	52.00	20.50
ÇO	mg/L	9.89	10.57	11.19	0.65	10.14	10.42	10.71	0.25	9.22	10.32	11.64	1.23	8.26	8.77	9.27	0.51
pH	-	8.52	8.61	8.66	0.08	8.08	8.16	8.36	0.14	8.32	8.42	8.53	0.11	8.10	8.21	8.29	0.10
t	°C	5.50	7.50	9.90	2.30	9.00	11.90	16.00	3.20	20.50	23.00	25.40	2.50	12.80	17.90	22.50	4.90
Eİ	µS/cm	213.00	237.00	267.00	27.00	138.00	187.00	270.00	59.00	178.00	222.00	308.00	74.00	216.00	267.00	303.00	45.00
Chl-a	µg/L	0.90	0.90	3.95	1.76	0.53	0.83	1.27	0.32	3.62	6.05	10.64	3.98	1.38	2.11	3.07	0.87
SDD	cm	100.00	193.30	240.00	80.80	17.00	31.00	60.00	20.30	60.00	78.70	100.0	20.10	100.00	123.30	160.00	32.10
SD	m	33.59	44.21	51.78	9.47	47.99	52.72	57.41	4.69	52.74	55.03	56.61	2.03	50.61	50.88	51.15	0.38
Min: en küçük, Ort: ortalama, Mak: en büyük, S: standart sapma																	

Ek 8. B08 istasyonunda takibi yapılan parametrelerin mevsimlik (Aralık 2010-Kasım 2011) değişimi

Parametre	Birim	Kış				İlkbahar				Yaz				Sonbahar			
		Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S
T	NTU	4.00	4.00	5.00	1.00	19.00	60.00	98.00	34.00	15.00	17.00	20.00	3.00	8.00	9.00	10.00	1.00
AKM	mg/L	20.20	23.70	29.30	4.90	34.80	39.70	47.00	5.30	16.90	18.40	19.30	1.30	15.80	24.50	38.60	12.30
ÇO	mg/L	9.79	10.52	11.11	0.67	10.18	10.46	10.66	0.21	9.52	10.57	11.97	1.26	8.05	8.77	9.35	0.66
pH	-	8.51	8.60	8.70	0.10	8.03	8.20	8.44	0.18	8.40	8.49	8.62	0.11	8.06	8.21	8.32	0.13
t	°C	5.50	7.60	10.10	2.40	9.20	12.10	16.20	3.10	20.70	23.00	25.50	2.40	12.80	18.00	22.40	4.90
Eİ	µS/cm	208.00	235.00	265.00	28.00	142.00	189.00	276.00	60.00	178.00	223.00	310.00	75.00	215.00	270.00	303.00	47.00
Chl-a	µg/L	0.52	0.76	3.56	1.63	0.46	0.97	2.12	0.78	1.92	8.75	19.57	9.48	1.61	1.86	2.10	0.25
SDD	cm	80.00	193.30	260.00	98.70	20.00	35.00	70.00	23.80	70.00	90.00	120.00	26.50	110.00	123.30	140.00	15.30
SD	m	53.26	53.40	53.50	0.13	48.06	58.03	64.62	7.86	59.47	62.67	65.95	3.24	57.06	57.40	57.73	0.47
Min: en küçük, Ort: ortalama, Mak: en büyük, S: standart sapma																	

Ek 9. B09 istasyonunda takibi yapılan parametrelerin mevsimlik (Aralık 2010-Kasım 2011) değişimi

Parametre	Birim	Kış				İlkbahar				Yaz				Sonbahar			
		Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S
T	NTU	4.00	5.00	9.00	3.00	49.00	69.00	112.00	30.00	10.00	14.00	19.00	5.00	9.00	11.00	14.00	3.00
AKM	mg/L	19.30	24.00	31.10	6.20	27.80	54.40	121.80	45.00	15.50	17.80	20.40	2.40	16.50	24.10	37.30	11.50
ÇO	mg/L	9.78	10.50	11.10	0.67	10.17	10.53	11.00	0.39	8.15	10.31	11.94	1.95	7.68	8.47	9.43	0.89
pH	-	8.47	8.61	8.72	0.13	8.07	8.14	8.27	0.09	8.35	8.52	8.61	0.15	7.97	8.21	8.40	0.22
t	°C	5.40	7.60	10.30	2.50	8.00	11.80	16.40	3.60	20.80	22.90	25.40	2.30	12.60	18.00	22.00	4.80
Eİ	µS/cm	205.00	233.00	262.00	28.00	145.00	165.00	181.00	17.00	177.00	223.00	313.00	78.00	209.00	267.00	303.00	51.00
Chl-a	µg/L	0.41	0.54	3.16	1.52	0.55	0.98	2.19	0.81	1.95	6.41	14.74	7.22	1.00	1.36	1.67	0.34
SDD	cm	70.00	243.30	400.00	165.60	20.00	25.80	30.00	5.10	70.00	90.00	100.00	17.30	85.00	101.70	120.00	17.60
SD	m	51.86	52.79	54.64	1.61	52.76	58.39	63.90	6.35	58.83	61.55	64.50	2.84	56.19	56.80	57.40	0.86
Min: en küçük, Ort: ortalama, Mak: en büyük, S: standart sapma																	

Ek 10. B10 istasyonunda takibi yapılan parametrelerin mevsimlik (Aralık 2010-Kasım 2011) değişimi

Parametre	Birim	Kış				İlkbahar				Yaz				Sonbahar			
		Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S
T	NTU	8.00	18.00	40.00	18.00	26.00	83.00	211.00	87.00	7.00	13.00	19.00	6.00	14.00	18.00	23.00	4.00
AKM	mg/L	21.10	35.30	57.50	19.50	26.70	73.20	189.80	78.40	17.20	19.60	21.30	2.20	22.00	29.50	43.70	12.30
ÇO	mg/L	9.76	10.43	11.13	0.69	10.21	11.63	13.44	1.35	8.00	11.58	14.18	3.20	7.64	8.08	8.67	0.53
pH	-	8.44	8.57	8.69	0.13	8.04	8.36	8.91	0.40	8.40	8.78	9.05	0.34	7.84	8.11	8.25	0.23
t	°C	5.30	7.50	10.20	2.50	7.50	13.10	20.70	5.70	22.80	24.30	25.70	1.50	12.50	18.00	22.40	5.00
Eİ	µS/cm	199.00	227.00	254.00	28.00	130.00	155.00	166.00	17.00	153.00	218.00	314.00	85.00	193.00	254.00	287.00	53.00
Chl-a	µg/L	0.30	1.30	3.03	1.50	0.60	2.98	7.23	3.09	1.70	4.66	8.88	3.75	0.78	1.27	1.72	0.47
TN	mg/L	0.595	0.788	1.140	0.306	0.507	0.737	0.966	0.230	0.128	0.406	0.604	0.248	0.295	0.375	0.467	0.087
TP	mg/L	0.082	0.089	0.094	0.006	0.083	0.090	0.095	0.006	0.080	0.084	0.087	0.004	0.083	0.086	0.091	0.004
KOİ	mg/L	2.790	4.017	4.670	1.063	6.890	8.147	8.900	1.095	2.700	4.733	6.350	1.860	2.900	5.057	7.190	2.145
SDD	cm	40.00	120.00	180.00	72.10	10.00	32.50	50.00	17.10	60.00	100.00	140.00	40.00	60.00	70.00	80.00	10.00
SD	m	20.65	22.72	25.65	2.61	7.56	18.89	24.45	7.67	12.70	14.39	17.40	2.61	21.55	23.30	25.04	2.47
Min: en küçük, Ort: ortalama, Mak: en büyük, S: standart sapma																	

Ek 11. B11 istasyonunda takibi yapılan parametrelerin mevsimlik (Aralık 2010-Kasım 2011) değişimi

Parametre	Birim	Kış				İlkbahar				Yaz				Sonbahar			
		Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S
T	NTU	58.00	66.00	82.00	14.00	114.00	212.00	402.00	134.00	48.00	> 1097	>3000	-	135.00	1430	3000	1452
AKM	mg/L	89.60	96.60	105.50	8.10	121.10	261.90	609.30	233.70	57.60	10,374	30,950	17,819	126.50	57,181	170,063	97,761
ÇO	mg/L	11.23	12.16	13.04	0.91	10.70	11.35	11.64	0.44	8.82	9.20	9.93	0.63	8.73	10.24	11.86	1.57
pH	-	8.30	8.44	8.65	0.18	7.22	7.45	7.77	0.23	7.54	7.62	7.68	0.07	7.31	7.70	8.16	0.42
t	°C	2.70	4.90	7.50	2.40	6.50	7.40	9.30	1.30	11.80	15.00	17.00	2.80	6.10	11.20	16.10	5.00
Eİ	µS/cm	141.00	176.00	241.00	56.00	51.00	71.00	87.00	16.00	122.00	173.00	262.00	77.00	88.00	164.00	279.00	101.00
Chl-a	µg/L	0.55	0.71	0.87	0.17	0.68	0.97	1.75	0.53	0.28	0.93	1.85	0.82	0.58	1.59	3.60	1.74
TN	mg/L	0.666	0.780	0.963	0.160	0.577	0.847	1.310	0.403	0.257	0.604	0.784	0.301	0.217	0.533	0.692	0.274
TP	mg/L	0.080	0.094	0.110	0.015	0.083	0.086	0.088	0.003	0.082	0.085	0.088	0.003	0.089	0.101	0.114	0.013
KOİ	mg/L	3.760	4.573	5.300	0.774	7.530	8.953	10.200	1.344	3.480	4.733	5.920	1.221	3.520	7.093	11.800	4.255

Min: en küçük, Ort: ortalama, Mak: en büyük, S: standart sapma

Ek 12. B12 istasyonunda takibi yapılan parametrelerin mevsimlik (Aralık 2010-Kasım 2011) değışimi

Parametre	Birim	Kış				İlkbahar				Yaz				Sonbahar			
		Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S	Min	Ort	Mak	S
T	NTU	1.00	4.00	6.00	3.00	27.00	71.00	136.00	48.00	10.00	28.00	56.00	25.00	14.00	59.00	102.00	44.00
AKM	mg/L	20.60	26.20	36.10	8.70	40.30	46.50	62.20	10.50	22.50	28.00	34.80	6.20	19.30	54.50	86.20	33.60
ÇO	mg/L	9.47	10.05	10.51	0.53	9.93	11.50	13.67	1.61	7.28	8.27	8.86	0.86	6.29	7.17	8.52	1.18
pH	-	8.40	8.44	8.48	0.04	7.60	7.97	8.13	0.25	7.98	8.07	8.20	0.12	7.67	7.83	7.92	0.14
t	°C	5.90	7.60	10.50	2.50	7.80	11.40	15.00	3.10	17.70	20.40	22.70	2.50	12.00	16.30	20.40	4.20
Eİ	µS/cm	225.00	252.00	285.00	31.00	142.00	186.00	262.00	54.00	164.00	215.00	286.00	63.00	202.00	245.00	277.00	39.00
Chl-a	µg/L	0.59	0.81	3.75	1.71	0.46	0.67	0.84	0.16	1.20	1.88	2.86	0.86	0.97	1.16	1.44	0.25
TN	mg/L	0.419	0.580	0.874	0.255	0.769	0.889	0.969	0.106	0.246	0.363	0.518	0.140	0.245	0.310	0.395	0.077
TP	mg/L	0.080	0.088	0.093	0.007	0.093	0.099	0.110	0.009	0.088	0.092	0.099	0.006	0.083	0.089	0.097	0.007
KOİ	mg/L	2.720	3.827	4.600	0.983	6.780	7.640	8.450	0.836	2.760	3.523	4.750	1.073	3.710	4.900	5.810	1.078

Min: en küçük, Ort: ortalama, Mak: en büyük, S: standart sapma

Ek 13. Su kalitesi parametrelerinin B01 istasyonunda elde edilen değerleri için Pearson korelasyon matrisi

	ÇO	t	pH	Eİ	Chl-a	T	AKM	TN	TP
t	-0.979 0.000								
pH	0.526 0.065	-0.587 0.035							
Eİ	-0.337 0.261	0.212 0.487	0.233 0.443						
Chl-a	0.157 0.609	-0.235 0.439	0.240 0.430	0.139 0.651					
T	0.220 0.471	-0.140 0.648	-0.218 0.474	-0.463 0.112	0.389 0.189				
AKM	0.227 0.455	-0.149 0.627	-0.227 0.455	-0.469 0.106	0.429 0.143	0.996 0.000			
TN	0.472 0.122	-0.475 0.119	0.545 0.067	-0.040 0.901	0.435 0.158	0.564 0.056	0.544 0.067		
TP	0.678 0.015	-0.716 0.009	0.547 0.066	-0.316 0.317	0.390 0.210	0.298 0.347	0.293 0.355	0.330 0.295	
KOİ	0.025 0.939	-0.020 0.950	-0.194 0.545	-0.107 0.740	0.616 0.033	0.679 0.015	0.713 0.009	0.156 0.629	0.104 0.748

Ek 14. Su kalitesi parametrelerinin B02 istasyonunda elde edilen değerleri için Pearson korelasyon matrisi

	ÇO	t	pH	Eİ	Chl-a	T	AKM	TN	TP	KOİ	SDD
t	-0.958 0.000										
pH	0.625 0.022	-0.603 0.029									
Eİ	-0.487 0.092	0.258 0.395	-0.035 0.909								
Chl-a	-0.193 0.528	-0.010 0.974	-0.277 0.360	0.503 0.080							
T	-0.177 0.562	0.137 0.655	-0.402 0.173	0.151 0.623	0.572 0.041						
AKM	-0.218 0.474	0.149 0.626	-0.358 0.229	0.279 0.356	0.608 0.028	0.975 0.000					
TN	0.132 0.683	-0.199 0.536	0.247 0.440	0.411 0.185	0.387 0.214	0.298 0.346	0.282 0.375				
TP	0.659 0.020	-0.542 0.069	0.583 0.046	-0.644 0.024	-0.293 0.356	-0.402 0.195	-0.414 0.181	-0.128 0.691			
KOİ	0.152 0.637	-0.183 0.570	-0.403 0.194	-0.299 0.346	0.420 0.174	0.475 0.119	0.453 0.139	-0.200 0.532	0.208 0.517		
SDD	0.514 0.486	-0.509 0.491	0.197 0.803	-0.347 0.653	0.411 0.589	0.771 0.229	0.699 0.301	0.030 0.981	-0.756 0.454	-0.644 0.554	
SD	-0.460 0.540	0.514 0.486	0.726 0.274	0.512 0.488	0.109 0.891	-0.142 0.858	-0.214 0.786	0.315 0.796	-0.537 0.639	-0.398 0.739	0.421 0.579

Ek 15. Su kalitesi parametrelerinin B03 istasyonunda elde edilen değerleri için Pearson korelasyon matrisi

	O	t	pH	Eİ	Chl-a	T	AKM	SDD
t	–0.987 0.013							
pH	–0.779 0.221	0.869 0.131						
Eİ	–0.987 0.013	0.972 0.028	0.751 0.249					
Chl-a	0.056 0.944	–0.076 0.924	–0.061 0.939	–0.210 0.790				
T	0.781 0.219	–0.671 0.329	–0.224 0.776	–0.770 0.230	–0.095 0.905			
AKM	0.706 0.294	–0.586 0.414	–0.128 0.872	–0.683 0.317	–0.198 0.802	0.991 0.009		
SDD	–0.583 0.417	0.484 0.516	0.137 0.863	0.491 0.509	0.616 0.384	–0.843 0.157	–0.892 0.108	
SD	–0.024 0.976	0.095 0.905	0.353 0.647	–0.124 0.876	0.827 0.173	0.205 0.795	0.157 0.843	0.281 0.719

Ek 16. Su kalitesi parametrelerinin B04 istasyonunda elde edilen değerleri için Pearson korelasyon matrisi

	ÇO	t	pH	Eİ	Chl-a	T	AKM	SDD
t	-0.990 0.010							
pH	-0.690 0.310	0.730 0.270						
Eİ	-0.969 0.031	0.937 0.063	0.732 0.268					
Chl-a	0.759 0.241	-0.706 0.294	-0.053 0.947	-0.683 0.317				
T	0.917 0.083	-0.904 0.096	-0.368 0.632	-0.818 0.182	0.929 0.071			
AKM	0.960 0.040	-0.942 0.058	-0.466 0.534	-0.889 0.111	0.903 0.097	0.991 0.009		
SDD	-0.860 0.140	0.896 0.104	0.956 0.044	0.855 0.145	-0.325 0.675	-0.622 0.378	-0.697 0.303	
SD	-0.054 0.946	0.194 0.806	0.323 0.677	-0.123 0.877	0.235 0.765	-0.059 0.941	-0.014 0.986	0.334 0.666

Ek 17. Su kalitesi parametrelerinin B05 istasyonunda elde edilen değerleri için Pearson korelasyon matrisi

	ÇO	t	pH	Eİ	Chl-a	T	AKM	TN	TP	KOİ	SDD
t	-0.824 0.001										
pH	0.550 0.052	-0.411 0.163									
Eİ	-0.414 0.160	0.266 0.379	0.253 0.404								
Chl-a	0.004 0.990	0.412 0.161	0.083 0.786	-0.152 0.619							
T	0.310 0.303	-0.260 0.392	-0.486 0.092	-0.560 0.047	-0.185 0.545						
AKM	0.377 0.204	-0.283 0.348	-0.340 0.256	-0.600 0.030	-0.223 0.465	0.905 0.000					
TN	0.616 0.033	-0.656 0.020	0.585 0.046	-0.080 0.806	-0.455 0.137	0.327 0.300	0.467 0.126				
TP	-0.155 0.631	0.327 0.300	0.142 0.660	-0.351 0.263	0.228 0.476	-0.094 0.772	-0.049 0.880	0.258 0.417			
KOİ	-0.075 0.816	-0.157 0.626	-0.609 0.036	-0.314 0.320	-0.400 0.198	0.572 0.052	0.651 0.022	-0.010 0.976	-0.178 0.579		
SDD	-0.338 0.258	0.166 0.588	-0.095 0.759	0.176 0.564	0.211 0.488	-0.490 0.089	-0.499 0.082	-0.557 0.060	-0.173 0.590	-0.198 0.537	
SD	0.178 0.581	0.014 0.965	0.020 0.951	-0.687 0.014	0.037 0.909	0.206 0.521	0.404 0.193	0.262 0.436	0.835 0.001	0.042 0.902	-0.370 0.236

Ek 18. Su kalitesi parametrelerinin B06 istasyonunda elde edilen değerleri için Pearson korelasyon matrisi

	ÇO	t	pH	Eİ	Chl-a	T	AKM	SDD
t	-0.392 0.185							
pH	0.428 0.145	0.011 0.971						
Eİ	-0.477 0.099	0.215 0.481	0.406 0.168					
Chl-a	0.156 0.610	0.670 0.012	0.569 0.043	0.207 0.497				
T	0.217 0.477	-0.094 0.761	-0.497 0.084	-0.681 0.010	-0.337 0.261			
AKM	0.202 0.508	-0.271 0.371	-0.473 0.102	-0.512 0.074	-0.538 0.058	0.913 0.000		
SDD	-0.242 0.426	-0.236 0.438	0.301 0.317	0.419 0.154	0.074 0.809	-0.622 0.023	-0.679 0.011	
SD	0.213 0.506	0.253 0.427	0.153 0.635	-0.333 0.291	0.493 0.104	0.191 0.551	-0.136 0.673	-0.063 0.845

Ek 19. Su kalitesi parametrelerinin B07 istasyonunda elde edilen değerleri için Pearson korelasyon matrisi

	ÇO	t	pH	Eİ	Chl-a	T	AKM	SDD
t	-0.432							
	0.141							
pH	0.385	-0.188						
	0.194	0.538						
Eİ	-0.606	0.208	0.289					
	0.028	0.495	0.338					
Chl-a	0.265	0.549	0.367	-0.064				
	0.381	0.052	0.218	0.836				
T	0.200	-0.029	-0.638	-0.675	-0.259			
	0.511	0.924	0.019	0.011	0.393			
AKM	-0.028	-0.067	-0.475	-0.303	-0.439	0.748		
	0.928	0.829	0.101	0.315	0.134	0.003		
SDD	-0.121	-0.308	0.594	0.374	0.089	-0.673	-0.550	
	0.695	0.305	0.032	0.208	0.773	0.012	0.052	
SD	-0.178	0.605	-0.457	-0.245	0.392	0.453	0.154	-0.247
	0.580	0.037	0.136	0.443	0.208	0.139	0.632	0.438

Ek 20. Su kalitesi parametrelerinin B08 istasyonunda elde edilen değerleri için Pearson korelasyon matrisi

	O	t	pH	Eİ	Chl-a	T	AKM	SDD
t	-0.287 0.341							
pH	0.438 0.134	-0.051 0.868						
Eİ	-0.577 0.039	0.229 0.451	0.267 0.378					
Chl-a	0.455 0.118	0.486 0.092	0.405 0.170	-0.137 0.655				
T	0.220 0.470	-0.023 0.942	-0.607 0.028	-0.674 0.012	-0.117 0.704			
AKM	0.042 0.891	-0.199 0.514	-0.427 0.146	-0.272 0.368	-0.343 0.251	0.684 0.010		
SDD	-0.221 0.468	-0.235 0.440	0.501 0.081	0.409 0.165	-0.072 0.816	-0.676 0.011	-0.573 0.041	
SD	0.235 0.462	0.616 0.033	-0.073 0.822	-0.374 0.231	0.494 0.103	0.411 0.185	0.040 0.903	-0.365 0.243

Ek 21. Su kalitesi parametrelerinin B09 istasyonunda elde edilen değerleri için Pearson korelasyon matrisi

	O	t	pH	Eİ	Chl-a	T	AKM	SDD
t	-0.362							
	0.224							
pH	0.386	0.093						
	0.193	0.762						
Eİ	-0.718	0.385	0.223					
	0.006	0.194	0.464					
Chl-a	0.399	0.452	0.418	-0.137				
	0.176	0.121	0.156	0.654				
T	0.325	-0.303	-0.565	-0.580	-0.176			
	0.279	0.313	0.044	0.038	0.565			
AKM	0.235	-0.367	-0.332	-0.261	-0.204	0.834		
	0.440	0.217	0.267	0.390	0.503	0.000		
SDD	-0.142	-0.167	0.567	0.466	0.015	-0.555	-0.329	
	0.643	0.585	0.043	0.108	0.961	0.049	0.272	
SD	0.135	0.646	-0.045	-0.329	0.519	0.054	-0.318	-0.344
	0.676	0.023	0.890	0.296	0.083	0.868	0.313	0.273

Ek 22. Su kalitesi parametrelerinin B10 istasyonunda elde edilen değerleri için Pearson korelasyon matrisi

	ÇO	t	pH	Eİ	Chl-a	T	AKM	TN	TP	KOİ	SDD
t	0.063										
	0.838										
pH	0.729	0.409									
	0.005	0.166									
Eİ	-0.738	0.329	-0.112								
	0.004	0.273	0.716								
Chl-a	0.624	0.461	0.607	-0.332							
	0.023	0.113	0.028	0.268							
T	0.139	-0.428	-0.399	-0.534	-0.232						
	0.650	0.144	0.177	0.060	0.446						
AKM	0.077	-0.446	-0.381	-0.429	-0.307	0.975					
	0.802	0.127	0.199	0.144	0.308	0.000					
TN	0.092	-0.696	-0.184	-0.264	-0.351	0.552	0.576				
	0.775	0.012	0.567	0.407	0.263	0.063	0.050				
TP	-0.012	-0.142	-0.048	-0.148	-0.228	-0.130	-0.239	0.097			
	0.972	0.660	0.883	0.646	0.477	0.688	0.454	0.764			
KOİ	0.187	-0.150	-0.271	-0.460	0.027	0.644	0.505	0.446	0.161		
	0.561	0.641	0.393	0.132	0.933	0.024	0.094	0.147	0.618		
SDD	-0.311	0.144	0.264	0.647	-0.059	-0.585	-0.512	-0.336	0.000	-0.651	
	0.301	0.638	0.383	0.017	0.848	0.036	0.073	0.285	1.000	0.022	
SD	-0.124	-0.177	0.036	0.214	0.058	-0.594	-0.590	-0.108	-0.001	-0.222	0.130
	0.700	0.582	0.910	0.503	0.858	0.042	0.043	0.751	0.997	0.511	0.687

Ek 23. Su kalitesi parametrelerinin B11 istasyonunda elde edilen değerleri için Pearson korelasyon matrisi

	O	t	pH	Eİ	Chl-a	T	AKM	TN	TP
t	-0.995 0.000								
pH	0.262 0.387	-0.249 0.413							
Eİ	-0.507 0.077	0.506 0.078	0.610 0.027						
Chl-a	0.179 0.557	-0.148 0.630	-0.096 0.755	-0.105 0.733					
T	-0.582 0.037	0.589 0.034	0.093 0.762	0.691 0.009	0.344 0.249				
AKM	-0.516 0.071	0.503 0.080	0.243 0.425	0.641 0.018	-0.088 0.774	0.770 0.002			
TN	0.269 0.397	-0.239 0.455	0.361 0.249	0.017 0.958	0.317 0.316	0.118 0.715	0.016 0.961		
TP	0.044 0.892	-0.073 0.821	0.294 0.354	0.347 0.269	0.393 0.206	0.302 0.340	0.266 0.404	-0.065 0.840	
KOİ	0.420 0.174	-0.440 0.153	-0.458 0.134	-0.668 0.018	0.661 0.019	-0.174 0.590	-0.349 0.266	0.220 0.492	0.206 0.522

Ek 24. Su kalitesi parametrelerinin B12 istasyonunda elde edilen değerleri için Pearson korelasyon matrisi

	ÇO	t	pH	Eİ	Chl-a	T	AKM	TN	TP
t	-0.582 0.037								
pH	0.377 0.204	-0.399 0.177							
Eİ	-0.612 0.026	0.043 0.890	0.149 0.626						
Chl-a	-0.260 0.392	0.272 0.369	0.388 0.190	0.292 0.333					
T	0.252 0.406	0.224 0.462	-0.470 0.105	-0.461 0.113	-0.410 0.165				
AKM	-0.265 0.381	0.197 0.518	-0.419 0.155	0.295 0.327	-0.465 0.109	0.430 0.142			
TN	0.680 0.015	-0.564 0.056	-0.030 0.926	-0.136 0.674	-0.506 0.093	-0.026 0.937	0.160 0.620		
TP	0.327 0.300	-0.056 0.863	-0.505 0.094	-0.692 0.013	-0.150 0.641	0.217 0.498	-0.272 0.393	0.404 0.193	
KOİ	0.331 0.293	-0.279 0.381	-0.528 0.078	-0.101 0.755	-0.408 0.188	0.343 0.276	0.332 0.291	0.748 0.005	0.585 0.046

ÖZGEÇMİŞ

Meltem KENANOĞLU ilk, orta ve lise öğrenimini 1986-1998 yılları arasında Trabzon'da tamamladı. 2002-2003 eğitim-öğretim yılı bahar yarıyılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2004-2005 eğitim-öğretim yılı güz yarıyılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Ocak 2007'de yüksek lisansını tamamlayıp 2006-2007 eğitim-öğretim yılı bahar yarıyılında İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora öğrenimine başladı.

Eylül 2005'te Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 26. Bölge Müdürlüğü'nde İnşaat Mühendisi olarak göreve başlayan ve 22. Bölge Müdürlüğü'nde bu görevini sürdürmekte olan Meltem KENANOĞLU, evli ve iki çocuk annesidir. Doktora Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen iki adet SCIE makalesi aşağıda verilmektedir:

1. Bayram A. & Kenanoğlu M. (2016). Variation of Total Suspended Solids Versus Turbidity and Secchi Disk Depth in the Borcka Dam Reservoir, Coruh River Basin, Turkey. *Lake and Reservoir Management*, 32(3), 209-224.
2. Bayram A. & Kenanoğlu M. (2017). Temporal Variation of Total Nitrogen and Total Phosphorus in Surface Waters from the Lower Coruh River Basin, Turkey. *Acta Physica Polonica A*, 132(3), 712-716.