



**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI**

**ALTINKAYA BARAJ GÖLÜ'NDE FİZİKO-KİMYASAL SU
KALİTESİ PARAMETRELERİ VE TAŞIMA KAPASİTESİNİN
TAHMİNİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet ALTINBAŞ

**Danışman
Prof. Dr. Ahmet Mutlu GÖZLER**

**RİZE
2026**

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalında, Prof. Dr. Ahmet Mutlu GÖZLER danışmanlığında, Mehmet ALTINBAŞ tarafından hazırlanan *Altinkaya Baraj Gölü'nde Fiziko-Kimyasal Su Kalitesi Parametreleri ve Taşıma Kapasitesinin Tahmini* adlı bu tez çalışması, 05/03/2026 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliğiyle/~~oy çokluğuyla~~ başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Ünvanı, Adı SOYADI	İmza
Başkan	: Prof. Dr. Coşkun ERÜZ	
Üye	: Prof. Dr. Bülent VEREP	
Üye	: Prof. Dr. Ahmet Mutlu GÖZLER	

ETİK BEYAN

Su Ürünleri Tezli Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Altınkaya Baraj Gölü’nde Fiziko-Kimyasal Su Kalitesi Parametreleri ve Taşıma Kapasitesinin Tahmini” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

05/03/2026

Mehmet ALTINBAŞ

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının amacı, Altinkaya Baraj Gölü'nün su kalite parametreleri üzerinden mevcut ekolojik durumunu ortaya koymak ve elde edilen bulgular doğrultusunda gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) kafes yetiştiriciliği için gölün taşıma kapasitesini belirlemektir. Bu kapsamda, farklı istasyon ve derinliklerden alınan su ve sediment örnekleri değerlendirilerek gölün fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ayrıntılı biçimde incelenmiş; su ürünleri yetiştiriciliğine ekolojik uygunluk ile sürdürülebilir alabalık üretimine olanak sağlayabilecek taşıma kapasitesi bilimsel yöntemlerle hesaplanmıştır.

Bu tez aynı zamanda, ileride gerçekleştirilecek olan ekolojik durum belirleme, ile özellikle taşıma kapasitesi değerlendirmelerine referans teşkil edebilecek nitelikte bir veri tabanı sunmayı hedeflemektedir. Araştırmanın kapsamı, yedi istasyonda yürütülen fiziksel, kimyasal ve biyolojik ölçümlerle sınırlı olmakla birlikte, çalışma alanının su kolonu yapısına ilişkin ayrıntılı ve güncel bir karakterizasyon sağlamaktadır.

Bu çalışmanın yürütülmesi sürecinde maddi-manevi desteklerini esirgemeyen kişi ve kurumlara teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Öncelikle, araştırma sürecinin tüm aşamalarında imkân ve destek sağlayan Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne ve tez yazım sürecinde desteğini gördüğüm Prof. Dr. Ahmet Mutlu GÖZLER'e teşekkür ederim.

Saha çalışmaları, örnekleme ve laboratuvar süreçlerinde değerli katkılarıyla çalışmanın sağlıklı bir şekilde ilerlemesine destek olan çalışma arkadaşlarım Ömer KALIPÇI, Dilek FİDAN, Volkan ÖRNEK, Meryem YAVUZ, Ayşe Nur AYDIN ve Muammer AKTAŞ'a ayrıca arazi çalışmalarında örnekleme çalışmalarına desteklerinden dolayı Bafra İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü'ne içtenlikle teşekkür ederim.

Mehmet ALTINBAŞ
RİZE/2026

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYAN	II
ÖN SÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
KISALTMALAR	VIII
TABLolar LİSTESİ	X
ŞEKİLLER LİSTESİ	XI
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	4
1.1. Su Kalitesi Parametreleri	4
1.2. Tatlı Su Ekosistemlerinde Biyotik İndekslerin Önemi.....	8
1.3. Trofik Duruma Göre Göl Ekosistemlerinin Limnolojik Sınıflandırılması.....	9
1.4. Tatlı Su Ekosistemlerinde Fosfor Dinamikleri.....	11
1.5. Taşıma Kapasitesinin Genel Tanımı ve Önemi	13
1.6. Taşıma Kapasitesi Tahmininde Ekolojik ve Matematiksel Yaklaşımlar	16
2. MATERYAL VE METOT.....	19
2.1. Çalışma Alanı	19
2.2. Numune Alımı ve Analiz Yöntemleri.....	20
2.2.1. Fizikokimyasal Ölçümler ve Su Örnekleme.....	20
2.2.2. Bentik Makroomurgasız Örnekleme ve Teşhisi.....	22
2.3. Verilerin Değerlendirilmesi	22
3. BULGULAR.....	25
3.1. Yerde Ölçümler	25
3.1.1. Sıcaklık.....	25
3.1.2. Çözünmüş Oksijen	26
3.1.3. pH.....	28
3.1.4. Elektriksel İletkenlik	30
3.1.5. Secchi Diski.....	32

3.2. Laboratuvar Analizleri	33
3.2.1. Nitrat-Nitrit Azotu	33
3.2.2. Amonyak	34
3.2.3. o-Fosfat.....	35
3.2.4. Toplam Fosfor	36
3.2.5. Toplam Azot	37
3.2.6. Askıda Katı Madde	38
3.2.7. Klorofil- <i>a</i>	39
3.2.8. Organik Madde.....	40
3.2.9. Toplam Sertlik	41
3.3. TR-BMWP (Biological Monitoring Working Party) İndeksinin Hesaplanması	42
3.4. Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması	46
3.5. İstatistiki Analizler	48
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	50
4.1. Sıcaklık.....	50
4.2. Çözülmüş Oksijen	51
4.3. pH.....	54
4.4. Elektriksel İletkenlik	57
4.5. Secchi Disk	60
4.6. Nitrat-Nitrit Azotu.....	62
4.7. Amonyak	64
4.8. o-Fosfat	66
4.9. Toplam Fosfor	67
4.10. Toplam Azot	68
4.11. Askıda Katı Madde.....	69
4.12. Klorofil- <i>a</i>	71
4.13. Organik Madde.....	73
4.14. Toplam Sertlik.....	75
4.15. Bentik Makroomurgasızlar ve TR-BMWP/TR-ASPT (Biyotik İndeks) Değerlendirmesi.....	76
KAYNAKÇA.....	80

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : Su Ürünleri
Tez Türü : Yüksek Lisans Tezi
Danışman : Prof. Dr. Ahmet Mutlu GÖZLER
Hazırlayan : Mehmet ALTINBAŞ
Yıl : 2026
Sayfa Sayısı : 97

ÖZET

ALTINKAYA BARAJ GÖLÜ'NDE FİZİKO-KİMYASAL SU KALİTESİ PARAMETRELERİ VE TAŞIMA KAPASİTESİNİN TAHMİNİ

Tatlı su ekosistemleri; içme suyu temini, tarımsal sulama, balıkçılık, rekreasyon ve enerji üretimi gibi kritik ekosistem hizmetleri sunmakta, ancak özellikle göller ve baraj gölleri durağan hidrodinamik yapıları nedeniyle çevresel baskılara karşı hassasiyet göstermektedir. Türkiye’de iç sularda ağ kafeslerde gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) yetiştiriciliğinin yaygınlaşması, alıcı ortamlarda organik madde ve besin elementi yüklenmesi üzerinden su kalitesi ve ekolojik durumun izlenmesini ve ekosistemle uyumlu üretim düzeylerinin belirlenmesini gerekli kılmaktadır. Bu tez çalışmada Altınkaya Baraj Gölü’nün fiziko-kimyasal su kalite parametreleri üzerinden mevcut ekolojik durumu ortaya konmuş ve elde edilen bulgular temelinde kafes yetiştiriciliği için gölün taşıma kapasitesinin belirlenmesine yönelik bilimsel bir değerlendirme yapılmıştır.

Çalışmada farklı istasyon ve derinliklerden alınan su ve sediment örnekleri kullanılarak fiziksel ve kimyasal parametreler (sıcaklık, çözünmüş oksijen, pH, elektriksel iletkenlik, Secchi disk, besin tuzları, askıda katı madde, klorofil-*a*, organik madde ve toplam sertlik) değerlendirilmiş; ayrıca bentik makroomurgasızlar familya düzeyinde incelenerek TR-BMWP ve TR-ASPT biyotik indeksleri hesaplanmıştır. Yüzey suyu sıcaklıkları 9,57–24,89 °C aralığında değişmiş ve mevsimsel tabakalaşma yaz döneminde belirginleşmiştir. Çözünmüş oksijen 0,87–14,35 mg/L aralığında olup özellikle yazın ve ≥ 50 m derinliklerde kritik düzeylere gerileyerek derin zonlarda hipoksi riskini göstermiştir. pH değerleri genel olarak hafif bazik karakterde (7,19–8,89) seyretmiş; elektriksel iletkenlik (1544,1–3717,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ise havza jeolojisi ve olası yayılı girdilerle ilişkili yüksek mineralizasyonu işaret ederek su kalitesinin ağırlıklı olarak orta sınıfa yaklaşabildiğini göstermiştir. Secchi disk derinliğinin yüksek olması (3,0–7,5 m) ve klorofil-*a*’nın düşük düzeyleri (0,00–6,87 $\mu\text{g}/\text{L}$; ort. 0,70 $\mu\text{g}/\text{L}$), fitoplankton biyokütlesinin genel olarak düşük olduğunu; buna karşın toplam fosfor (0,031–0,050 mg/L; ort. 0,039 mg/L) ve toplam azot (0,10–0,63 mg/L; ort. 0,45 mg/L) değerlerinin gölde mezotrofik–alt ötrofikleşme riskinin izlenmesi gerektiğini düşündürmüştür. Bentik biyotik indeksler (TR-BMWP: 0–23; TR-ASPT: 3,0–5,5) ve düşük familya zenginliği (N: 0–6), bazı istasyon ve dönemlerde bentik habitat uygunluğunun sınırlanabildiğini; bunun yalnızca dışsal kirlilikle değil, tabakalaşma, derin zon oksijenlenmesi ve sediman koşullarıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Sonuç olarak Altınkaya Baraj Gölü’nde su berraklığı ve klorofil-*a* bulguları görece iyi bir ekolojik duruma işaret ederken, yüksek iletkenlik/mineralizasyon, toplam besin tuzu düzeyleri ve özellikle yazın derin tabakalarda belirginleşen oksijen azalımı ekosistem açısından kritik eşikler oluşturabilmektedir. Bu nedenle taşıma kapasitesi değerlendirmelerinde özellikle çözünmüş oksijen rejimi, besin tuzu–organik yük birikimi ve derin zonların ekolojik duyarlılığı temel belirleyiciler olarak ele alınmalı; yetiştiricilik alanlarında organik yükün kontrolü, havza kaynaklı besin girdilerinin azaltılması ve mevsimsel–dikey izleme programlarının güçlendirilmesi sürdürülebilir yönetim için önceliklendirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Altınkaya Baraj Gölü, Su Kalitesi, Taşıma Kapasitesi, Yetiştiricilik, Besin Tuzları, Bentik Makroomurgasızlar.

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies

Department : Fisheries
Thesis Type : Master Thesis
Supervisor : Prof. Dr. Ahmet Mutlu GÖZLER
Author : Mehmet ALTINBAŞ
Year : 2026
Pages : 97

ABSTRACT

**PHYSICO-CHEMICAL WATER QUALITY PARAMETERS AND
ESTIMATION OF CARRYING CAPACITY IN ALTINKAYA DAM LAKE**

Freshwater ecosystems provide critical ecosystem services such as drinking water supply, agricultural irrigation, fishing, recreation, and energy production. However, lakes and reservoirs, in particular, are sensitive to environmental pressures due to their stagnant hydrodynamic structures. The widespread farming of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in net cages in inland waters in Turkey necessitates the monitoring of water quality and ecological status through the loading of organic matter and nutrients in receiving environments and the determination of production levels compatible with the ecosystem. In this thesis study, the current ecological status of Altinkaya Dam Lake was determined based on water quality parameters, and a scientific assessment was conducted to determine the lake's carrying capacity for cage farming based on the findings.

In the study, water and sediment samples collected from different stations and depths were used to evaluate physical and chemical parameters (temperature, dissolved oxygen, pH, electrical conductivity, Secchi disk, nutrient salts, suspended solids, chlorophyll-a, organic matter, and total hardness); and benthic macroinvertebrates were examined at the family level to calculate the TR-BMWP and TR-ASPT biotic indices. Surface water temperatures ranged from 9.57 to 24.89 °C, and seasonal stratification was pronounced during the summer. Dissolved oxygen ranged from 0.87 to 14.35 mg/L, falling to critical levels, especially in summer and at depths ≥ 50 m, indicating a risk of hypoxia in the deep zones. pH values were generally slightly alkaline (7.19–8.89), while electrical conductivity (1544.1–3717.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$) indicated high mineralization related to the basin geology and possible diffuse inputs, suggesting that water quality was predominantly of medium quality. The high depth of the Secchi disk (3.0–7.5 m) and low chlorophyll-a levels (0.00–6.87 $\mu\text{g}/\text{L}$; avg. 0.70 $\mu\text{g}/\text{L}$) indicate that phytoplankton biomass is generally low; however, total phosphorus (0.031–0.050 mg/L; avg. 0.039 mg/L) and total nitrogen (0.10–0.63 mg/L; avg. 0.45 mg/L) values suggest that the risk of mesotrophic–hypereutrophication in the lake should be monitored. Benthic biotic indices (TR-BMWP: 0–23; TR-ASPT: 3.0–5.5) and low family richness (N: 0–6) revealed that benthic habitat suitability may be limited at some stations and periods; this should be evaluated not only in relation to external pollution but also in conjunction with stratification, deep zone oxygenation, and sediment conditions.

In conclusion, while water clarity and chlorophyll-a findings in Altinkaya Dam Lake indicate a relatively good ecological status, high conductivity/mineralization, total nutrient salt levels, and oxygen depletion, which becomes particularly pronounced in deep layers during summer, may constitute critical thresholds for the ecosystem. Therefore, in carrying capacity assessments, the dissolved oxygen regime, nutrient–organic load accumulation, and ecological sensitivity of deep zones should be considered as key determinants; controlling organic load in aquaculture areas, reducing nutrient inputs from the watershed, and strengthening seasonal–vertical monitoring programs should be prioritized for sustainable management.

Keywords: Altinkaya Dam Lake, Water Quality, Carrying Capacity, Aquaculture, Nutrient Salts, Benthic Macroinvertebrates.

KISALTMALAR

AB	:	Avrupa Birliđi
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
AKM	:	Askıda Katı Madde
ANOVA	:	Varyans Analizi
ASPT	:	Average Score Per Taxon
AWWA	:	American Water Works Association
BAP	:	Bilimsel Araştırma Projeleri
BMWP	:	Biological Monitoring Working Party
CBS	:	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CDOM	:	Chromophoric Dissolved Organic Matter
CHL	:	Klorofil
cm	:	Santimetre
ÇO	:	Çözünmüş Oksijen
EC	:	Electrical Conductivity
EU	:	European Union
EXO	:	(YSI) EXO çoklu parametre probu/sondu
FAO	:	Food and Agriculture Organization
FCR	:	Feed Conversion Ratio
GPS	:	Global Positioning System
TDS	:	Total Dissolved Solids (Toplam Çözünmüş Madde)
TKN	:	Total Kjeldahl Nitrogen (Toplam Kjeldahl Azotu)
TN	:	Total Nitrogen (Toplam Azot)
TR-ASPT	:	Turkish Average Score Per Taxon
TR-BMWP	:	Turkish Biological Monitoring Working Party
TP	:	Total Phosphorus (Toplam Fosfor)
TSI	:	Trophic State Index (Trokik Durum İndeksi)
TSS	:	Total Suspended Solids (Toplam Askıda Katı Madde)
UNECE	:	United Nations Economic Commission for Europe
USEPA	:	United States Environmental Protection Agency
WEF	:	Water Environment Federation

WFD	:	Water Framework Directive (AB Su Çerçeve Direktifi)
WQI	:	Water Quality Index (Su Kalitesi İndeksi)
YSI	:	YSI ölçüm cihazları
YSKY	:	Yüzeysel Su Kalitesi Yönetmeliği
µm	:	Mikrometre



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1. Fosfor kütle dengesi temelli modeller, veri tabanları ve kaynaklar	18
Tablo 2. Çalışma istasyonlarının koordinatları	21
Tablo 3. Çalışmalarda kullanılan ölçüm ve analiz metotları	21
Tablo 4. Kıta içi yerüstü su kaynaklarının genel kimyasal ve fizikokimyasal parametreler açısından sınıflarına göre kalite kriterleri	23
Tablo 5. Göl, gölet ve baraj gölleri ötrofikasyon kriterleri	24
Tablo 6. Derinliğe bağlı mevsimsel ortalama sıcaklık değişimi	25
Tablo 7. Derinliğe bağlı mevsimsel ortalama çözünmüş oksijen değişimi	27
Tablo 8. Derinliğe bağlı ortalama mevsimsel pH değişimi	29
Tablo 9. Dikey profillerde mevsimsel ortalama elektriksel iletkenlik istatistikleri ..	31
Tablo 10. Altınkaya Baraj Gölü'nde bentik makroomurgasız türlerinin mevsim ve istasyonlara göre birey sayıları	43
Tablo 11. Altınkaya Baraj Gölü'nde tespit edilen bentik makroomurgasız familyaları ve TR-BMWP duyarlılık puanları	44
Tablo 12. Altınkaya Baraj Gölü'nde istasyon ve mevsimlere göre TR-BMWP ve TR-ASPT puanları	45
Tablo 13. Altınkaya Baraj Gölü'nde taşıma kapasitesi hesaplamasında kullanılan model girdileri	47

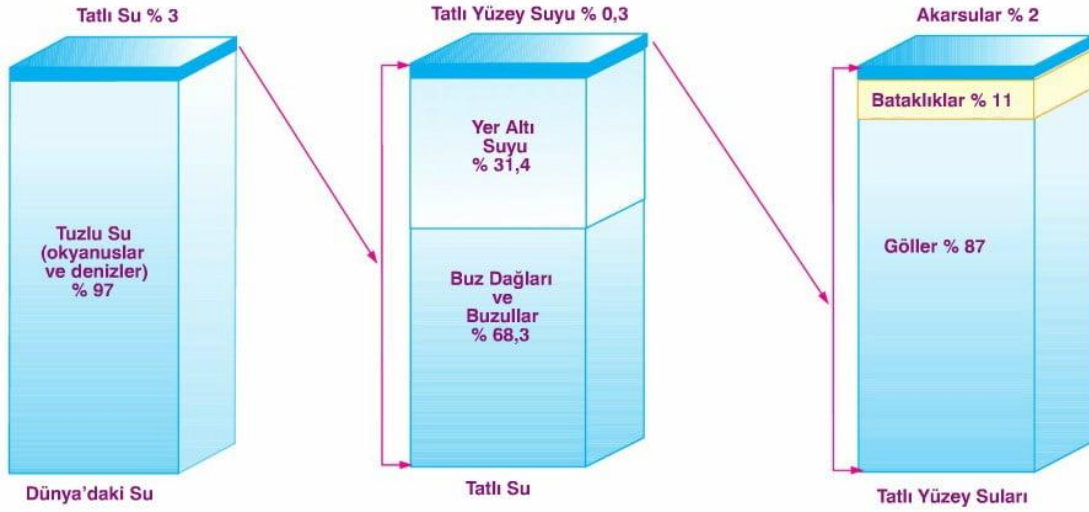
ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Yeryüzündeki su kaynaklarının dağılımı	2
Şekil 2. Fosfor döngüsünün kafes balıkçılığındaki akış şeması.	13
Şekil 3. Altınkaya Barajı'nın kapak kısmını ve göl alanından bir görünüm	19
Şekil 4. Altınkaya Baraj Gölü'nde örneklem istasyonlarının konumu	20
Şekil 5. Sıcaklığın istasyon ve derinlik bazlı değişimi	26
Şekil 6. Ortalama sıcaklığın mevsimsel değişimi.....	26
Şekil 7. Çözülmüş oksijenin istasyon ve derinlik bazlı değişimi	28
Şekil 8. Ortalama çözülmüş oksijenin mevsimsel değişimi	28
Şekil 9. pH'ın istasyon ve derinlik bazlı değişimi	30
Şekil 10. Ortalama pH'ın mevsimsel değişimi	30
Şekil 11. E.İletkenliğin istasyon ve derinlik bazlı değişimi	32
Şekil 12. Ortalama elektriksel iletkenliğin mevsimsel değişimi	32
Şekil 13. Mevsimsel ve düşey dağılıma göre Secchi diski derinlikleri	33
Şekil 14. Derinliğe bağlı mevsimsel $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ konsantrasyonları değişimi	34
Şekil 15. Derinliğe bağlı mevsimsel $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları değişimi	35
Şekil 16. Derinliğe bağlı mevsimsel $\text{PO}_4\text{-P}$ konsantrasyonları değişimi.....	36
Şekil 17. Derinliğe bağlı mevsimsel TP konsantrasyonları değişimi	37
Şekil 18. Derinliğe bağlı mevsimsel TN konsantrasyonları değişimi	38
Şekil 19. Derinliğe bağlı mevsimsel AKM konsantrasyonları değişimi	39
Şekil 20. Derinliğe bağlı mevsimsel klorofil- <i>a</i> konsantrasyonları değişimi	40
Şekil 21. Derinliğe bağlı mevsimsel permanganat indeksi konsantrasyonları değişimi	41
Şekil 22. Derinliğe bağlı mevsimsel toplam sertlik konsantrasyonları değişimi	42
Şekil 23. Korelasyon analizi	49

GİRİŞ

Tatlı su ekosistemleri hem insanlar hem de diğer canlı türleri için yaşamsal öneme sahip olup, içme suyu temini, tarımsal sulama, balıkçılık, rekreasyon ve enerji üretimi gibi pek çok ekosistem hizmeti sunmaktadır. Bu ekosistemlerden biri olan göller, durağan hidrodinamik yapıları nedeniyle çevresel baskılara karşı oldukça hassastır. Ağır metaller, ötrofikasyon, tuzluluk artışı, asitleşme ve çeşitli toksik maddeler göllerin ekolojik dengesini tehdit ederken; tarımsal faaliyetler, suyun aşırı kullanımı ve iklim değişikliği gibi faktörler doğal su döngüsünü olumsuz yönde etkilemektedir (Akyüz Şahin vd., 2013). Bu nedenle göl ekosistemlerinin korunması, su kalitesinin düzenli olarak izlenmesi ve sürdürülebilir yönetim stratejilerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Dünya üzerindeki toplam su hacminin yaklaşık %97'sinin tuzlu sulardan oluşması, doğrudan erişilebilir tatlı su miktarının son derece sınırlı olduğunu göstermektedir. Tatlı su kaynaklarının büyük bir bölümü buzullar ve yeraltı suları şeklinde depolandığından, göl ve akarsu gibi yüzey suları hem miktar hem de kalite açısından dikkatle korunması gereken ekosistemlerdir (Şekil 1). Türkiye, çok sayıda doğal göl ve baraj gölüne sahip olmasına rağmen kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı bakımından su stresi yaşayan ülkeler arasında değerlendirilmektedir (TÜİK, 2019). Artan nüfus ve iklim değişikliği etkileri, mevcut su kaynakları üzerindeki baskıyı daha da artırmakta; bu durum, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini ve çok amaçlı kullanım planlamasını zorunlu kılmaktadır (Biyolokum, 2018; Kınacı, 2017).



Şekil 1. Yeryüzündeki su kaynaklarının dağılımı (Kınacı, 2017)

Baraj gölleri enerji üretiminin yanında yetiştiricilik amacıyla kullanılmaktadır. Son yıllarda üreticiler tarafından birçok baraj gölünün balık yetiştiriciliğine açılması yönünde istekler yoğunlaşmaktadır. Bu barajlardan biri de Altınkaya Baraj Gölü'dür. Son elli yılda yaşanan bilimsel ve teknolojik gelişmeler, akuakültür üretiminde önemli artışlar sağlamış; su ürünleri, yüksek biyolojik değere sahip hayvansal protein kaynağı olarak öne çıkmıştır (Bostock, 2011). Balıkçılık ve su ürünleri sektörü, insan beslenmesine katkısının yanı sıra istihdam yaratması ve kırsal kalkınmayı desteklemesi nedeniyle ülkelerin ekonomileri açısından stratejik bir konuma sahiptir (Acara & Coşkun, 1989).

Türkiye'de iç sularda yürütülen su ürünleri yetiştiriciliği içerisinde gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) üretimi önemli bir paya sahiptir ve bu üretimin büyük bölümü baraj göllerinde kurulan ağ kafes sistemlerine dayanmaktadır. Ağ kafes yetiştiriciliği, mevcut su kütlelerinden yüksek verimle yararlanma imkânı sunarken; yem ve dışkı kaynaklı organik madde ve besin elementi yüklerinin artışı nedeniyle alıcı ortam üzerinde çeşitli çevresel baskılar oluşturabilmektedir (Martinez-Porchas ve Martinez-Cordova, 2012; Topçu vd., 2017; Tokgöz Yayan, 2015). Özellikle durağan veya hidrodinamik yenilenmenin sınırlı olduğu baraj göllerinde, bu baskıların ekosistem fonksiyonlarını etkileme potansiyeli daha yüksektir.

Bu bağlamda, su ürünleri yetiştiriciliğinin çevresel sürdürülebilirliğinin sağlanması için alıcı ortamın ekolojik özellikleriyle uyumlu üretim düzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir. Taşıma kapasitesi kavramı, belirli bir su kütlesinde

ekosistem bütünlüğü bozulmadan sürdürülebilir olarak gerçekleştirilebilecek maksimum üretim miktarının tanımlanmasına olanak tanıyan temel bir araçtır (Ross vd., 2013; Beveridge, 1984).

Bu tez çalışmasının amacı, Altinkaya Baraj Gölü'nün su kalite parametreleri üzerinden mevcut ekolojik durumunu ortaya koymak ve elde edilen bulgular doğrultusunda gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) kafes yetiştiriciliği için gölün taşıma kapasitesini belirlemektir. Bu kapsamda, farklı istasyon ve derinliklerden alınan su ve sediment örnekleri değerlendirilerek gölün fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ayrıntılı biçimde incelenmiş; su ürünleri yetiştiriciliğine ekolojik uygunluk ile sürdürülebilir alabalık üretimine olanak sağlayabilecek taşıma kapasitesi bilimsel yöntemlerle hesaplanmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Su Kalitesi Parametreleri

Sıcaklık, sucul ekosistemlerde biyokimyasal reaksiyonların hızını ve organizmaların fizyolojik süreçlerini doğrudan etkileyen temel bir çevresel faktördür (Göksu, 2003). Su ürünleri yetiştiriciliğinde sıcaklık; büyüme, solunum, dolaşım ve enzimatik aktiviteler üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (Tanyolaç, 2004). 30 °C'nin üzerindeki değerler, 3 °C'den fazla ani artışlar veya bir saat içinde 0,5 °C'den büyük dalgalanmalar su kalitesini bozarak oksijen tüketimini artırmaktadır (Munsuz & Ünver, 1995). Bu koşullar, balıkların gelişimini ve ürün kalitesini olumsuz yönde etkileyen termal stres faktörleri olarak değerlendirilmektedir.

Oksijen, sucul yaşamın devamlılığı için vazgeçilmez bir parametre olup, balıkların sağlığı ve üretim performansı açısından kritik öneme sahiptir. Çözünmüş oksijen düzeyinin sürekli düşük olduğu ortamlarda balıkların bağışıklık sistemleri zayıflamakta ve hastalıklara karşı dirençleri azalmaktadır. Su kalitesinin en güvenilir göstergelerinden biri çözünmüş oksijen miktarıdır ve balıkçılık faaliyetlerinde kullanılacak sularda bu parametrenin düzenli olarak ölçülmesi gerekmektedir. Oksijenin suda çözünürlüğü sıcaklık, basınç ve tuzluluk gibi fiziksel faktörlere bağlı olarak değişirken; oksijen yetersizliği, balıkların yüzeye yönelmesi, yem alımının kesilmesi, su renginin kahverengi-siyah tonlara dönüşmesi, çürük yumurta kokusunun hissedilmesi, alg patlamaları, gece solunum kaynaklı oksijen azalması, uzun süreli kapalı hava koşulları, şiddetli yaz fırtınaları ve organik madde birikimi gibi belirtilerle kendini gösterebilmektedir (Göksu, 2003).

pH, sudaki hidrojen iyonu (H^+) derişiminin negatif logaritması olarak tanımlanır ve sucul canlıların metabolik aktiviteleri üzerinde doğrudan etkilidir. Balık türleri için en uygun gelişme aralığı pH 6–9 olup, bu sınırların dışındaki değerler stres ve fizyolojik bozukluklara yol açmaktadır (Çetinkaya, 2003). Normal sınırların dışında solungaçlarda kahverengileşme, mukus salgısında artış ve yüzgeç deformasyonları gibi patolojik belirtiler ortaya çıkabilir. Ayrıca pH değişimleri suyun kimyasal dengesini etkileyerek düşük pH'ta toksik H_2S oluşumuna, yüksek pH'ta ise çözünmüş NH_3 miktarının artmasına neden olmaktadır (Alabaster & Lloyd, 1980). Bu nedenle

pH, hem doğrudan biyolojik etkileri hem de dolaylı kimyasal sonuçlarıyla su kalitesinin en kritik parametrelerinden biridir.

Elektriksel iletkenlik, sularda çözünmüş toplam iyonik maddelerin elektrik akımını iletme kapasitesini ifade eden temel bir hidro-kimyasal parametredir. Çözünmüş iyon konsantrasyonu arttıkça iletkenlik yükselirken, iyon içeriği düşük olan deiyonize sularda bu değer oldukça düşüktür. İnorganik tuzlarca zengin sularda elektriksel iletkenlik yüksek seviyelere ulaşırken, organik bileşiklerce baskın olan çözeltiler (örneğin şekerli su) elektrik akımını iletmede yetersiz kalmaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan sularda elektriksel iletkenliğin 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerini aşmaması hem su kalitesinin korunması hem de canlıların fizyolojik gereksinimlerinin karşılanması açısından kritik kabul edilmektedir (Göksu, 2003).

Sucul ortamlarda *nitritin* (NO_2^-) varlığı, genellikle organik madde girdisinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Azot bileşiklerinin oksidasyonu sonucu oluşan NO_2^- , çözünmüş oksijenin tüketilmesine yol açarak su kalitesini olumsuz etkilemektedir. Balıklarda NO_2^- toksisitesi; anemi, karaciğer, dalak ve böbreklerde pigment birikimi ile karakterize olup, en belirgin doku hasarı solungaçlarda ortaya çıkmaktadır. Organik azotun oksidasyon sürecinin son ürünü olan nitrat (NO_3^-) da toksik etki gösterebilmekte; NO_3^- zehirlenmelerinde iç organlarda kan pigmentlerinin birikimi ve balıkların renginde alacalaşma tipik bulgular arasında yer almaktadır. NO_3^- toksisitesi ise genellikle yavaş seyirli bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Post, 1987).

Amonyak, organik maddelerin parçalanması ya da evsel kaynaklı atıkların su ortamına karışması sonucunda ortaya çıkan en kritik parametrelerden biridir. Suda amonyak iki farklı formda bulunur: iyonize olmamış formu serbest amonyak (NH_3) ve iyonize olmuş formu amonyum (NH_4^+) olarak adlandırılmaktadır. Serbest NH_3 balıklar için yüksek derecede toksik olup, özellikle mukus tabakası, solungaç epiteli ve bağırsak dokularında hasara yol açmakta, ileri düzeyde ise iç organlarda hemorajilere neden olabilmektedir (Özfuçucu, 1995).

Toplam fosfor (TP), su kolonunda bulunan tüm inorganik ve organik fosfor formlarının toplamını; orto-fosfat (o-PO_4^{3-}) ise fitoplankton ve diğer birincil üreticiler tarafından doğrudan kullanılabilen çözünmüş inorganik fosfor fraksiyonunu ifade eder. Bu yönüyle TP, gölün genel besin yükünü ve birikmiş fosfor stokunu; o-fosfat ise

anlık biyoyararlanabilir fosfor düzeyini yansıtan tamamlayıcı iki göstergedir (Atay & Pulatsü, 2000).

Klorofil-a, su kolonundaki fitoplankton biyokütlesinin en temel göstergesi olması nedeniyle, yetiştiricilik faaliyetleri açısından hem besin zincirinin tabanını oluşturan birincil üretimin düzeyini hem de ötrofikasyon riskini doğrudan yansıtan kritik bir parametredir. Orta düzeyde klorofil-*a* konsantrasyonları, doğal planktonik besin kaynağını destekleyerek özellikle kafes balıkçılığında yem dönüşüm verimini olumlu etkileyebilen bir önemli parametredir (Ariman & Koyuncu, 2019; Cüce vd., 2011). Klorofil-*a*'nın diğer besin tuzları ve bulanıklık parametreleri ile birlikte değerlendirilerek su kalitesi sınıflandırmasında kullanılması, bu pigmentin nehir-göl sistemlerinde trofik durumun izlenmesinde ve dolayısıyla mevcut ya da planlanan yetiştiricilik alanlarının taşıma kapasitesinin belirlenmesinde temel bir biyolojik gösterge olduğunu ortaya koymaktadır (Karadağ, 2022).

Azot, canlı organizmaların temel yapı taşlarından biri olup protein sentezinde ve dolayısıyla büyüme ile üreme süreçlerinde kritik rol üstlenmektedir. Sucul ortamlarda azot, -3 ile +5 arasında değişen oksidasyon basamaklarında; organik azot (organik-N), çözülmüş moleküler azot (N_2), NH_4^+ , amonyum hidroksit (NH_4OH), NH_3 , NO_2^- ve NO_3^- formlarında bulunabilmektedir. Bu bileşikler ekosistemlerde çeşitli sorunlara yol açmakta; örneğin nitrifikasyon sürecinde 1,0 mg/L NH_3-N 'un NO_3^- dönüşmesi sırasında yaklaşık 3,87 mg/L çözülmüş oksijen tüketilmekte ve bu durum oksijen seviyelerinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca azot ve fosfor yükünün artışı, fitoplankton patlamalarını tetikleyerek ötrofikasyon sürecini hızlandırmaktadır. Özellikle NH_3 , balıkların merkezi sinir sistemi ve dolaşım fonksiyonları üzerinde toksik etki gösterirken; NH_4^+ ise sucul organizmalar için genellikle zararsız kabul edilmektedir (Göksu, 2003).

Askıda katı madde (AKM), su ürünleri yetiştiriciliği açısından göl ve nehir ekosistemlerinin hem trofik durumunu hem de balık sağlığını belirleyen temel bir su kalite parametresidir. Göllerde yürütülen çalışmalarda AKM ve bulanıklığın, çözülmüş oksijen, besin tuzları ve organik madde ile birlikte su kalite indekslerine dâhil edilerek nehir suyunun içme, sulama ve balıkçılık amaçlı kullanım uygunluğunun değerlendirilmesinde kritik bir değişken olduğu gösterilmiştir (Bakan vd., 2010). Baraj Göllerinde bulanıklık ve Secchi diski derinliğinin, göldeki partikül

madde yüküne bağılı olarak ışıklı tabaka kalınlığını ve hipertrofik koşulların şiddetini belirlediğı, bunun sucul habitat ve balıkçılık potansiyeli üzerinde sınırlayıcı olabildiğı vurgulanmıştır (Ariman & Koyuncu, 2019; Cüce vd., 2011). Yüksek AKM düzeyleri ışığın su kolonuna girişini azaltarak fotik zonü sığlaştırmakta, sıcaklık ve çözünmüş oksijen rejimini olumsuz etkileyebilmekte ve yumurta ile larvaların üzerine çökelerek bentik yumurtaların boğulmasına yol açabilmektedir. Deneysel çalışmalar, artan AKM konsantrasyonlarının balık yumurta ve larvalarında çıkış başarısını düşürdüğünü, solungaç epiteline mekanik hasar ve tıkanma yoluyla solunum stresini artırdığını ve büyüme ile yaşama oranlarını anlamlı şekilde azalttığını ortaya koymuştur (Atıcı vd., 2023; Wilber & Clarke, 2001). Bu nedenle baraj göllerinde kafes balıkçılığı planlanırken AKM düzeylerinin, hem ışık rejimi ve primer üretim hem de özellikle salmonid türlerinde solungaç sağlığı, yumurtlama alanlarının örtülmesi ve yavru yaşama oranları üzerindeki etkileri dikkate alınarak, yönetmelik eşiklerini aşmayacak biçimde izlenmesi ve kontrol edilmesi su ürünleri sürdürülebilirliği açısından zorunludur.

Sertlik, doğal sularda başta kalsiyum (Ca^{2+}) ve magnezyum (Mg^{2+}) olmak üzere iki değerlikli katyonların toplam konsantrasyonunu ifade eden ve genellikle mg/L CaCO_3 cinsinden ifade edilen bir su kalitesi parametresidir. Toplam sertlik, bikarbonat ve karbonatlardan kaynaklanan geçici sertlik ile sülfat, klorür ve NO_3^- gibi anyonlara bağılı kalıcı sertlik bileşenlerinden oluşur (Munsuz & Ünver, 1995). Sertlik düzeyi, suyun kullanım amacına ve birçok biyolojik süreç üzerinde doğrudan etkili olduğundan, su kalitesinin değerlendirilmesinde temel göstergelerden biri kabul edilmektedir (Göksu, 2003; Alabaster & Lloyd, 1980).

Organik madde, doğal sularda çözünmüş organik maddelerin kaynağını, ölü bitki ve hayvan dokularının ayrışması ile bu organizmaların metabolik ürünleri ve salgıları oluşturmaktadır. Bu bileşikler; organik azot(N), fosfor(P) ve karbon(C) formlarının yanı sıra proteinler, karbonhidratlar, aminoasitler, organik asitler ve vitaminlerden meydana gelmektedir. Organik madde yükü yüksek sularda sıcaklığın artması, çözünmüş oksijen konsantrasyonunun azalmasına yol açarak oksijen yetersizliği riskini artırmaktadır. Bu durum, ekosistemde oksijen dengesini bozmakta ve sucul canlıların yaşam koşullarını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, organik madde birikiminin fazla olduğu ortamlarda patojen mikroorganizmaların çoğalması

kolaylaşmakta ve bu da su kalitesi açısından istenmeyen bir durum olarak değerlendirilmektedir (Göksu, 2003).

1.2. Tatlı Su Ekosistemlerinde Biyotik İndekslerin Önemi

Suyun kalitesini yalnızca sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen veya besin tuzları gibi fizikokimyasal ölçümlerle değerlendirmek her zaman yeterli değildir. Çünkü bu parametreler gün içinde ve mevsimler arasında hızlı değişebilir; dolayısıyla “o anın fotoğrafını” verir. Buna karşılık bentik makroomurgasızlar (dipte yaşayan omurgasızlar) aynı ortamda uzun süre yaşadıkları için, çevresel koşulların ve kirlilik/bozulma baskısının zamana yayılmış etkisini biyolojik olarak yansıtır. Bu nedenle makroomurgasız temelli biyolojik indeksler, ekosistemin ekolojik durumunu daha bütüncül şekilde ortaya koyan güçlü araçlardır (İbrahim vd., 2023).

BMWP gibi biyolojik indeksler, dipte bulunan makroomurgasızların kirliliğe duyarlılıklarına göre puanlanmasına dayanır. Hassas (kirliliğe duyarlı) familyaların bulunduğu örneklerde indeks değeri yükselirken, daha toleranslı (kirliliğe dayanıklı) familyaların baskın olduğu örneklerde indeks değeri düşer. Bu yaklaşım sayesinde BMWP, topluluğun yapısındaki değişimi tek bir sayıya indirger ve sucul ortamın “biyolojik kalite” açısından daha iyi mi yoksa daha baskı altında mı olduğunu hızlı biçimde yorumlamaya yardımcı olur (Zhang vd., 2024).

Göl ve rezervuarlarda çevresel koşullar mekâna ve zamana göre değiştiğinden, tek bir biyolojik ölçüte dayanmak bazen yetersiz kalabilir. Bu nedenle bazı çalışmalarda BMWP’ye ek olarak takson zenginliği (kaç farklı grup bulunduğu), çeşitlilik (Shannon–Wiener) ve baskınlık gibi farklı ölçütler birlikte kullanılarak daha kapsamlı değerlendirme yapılır. Bu “çok metrikli” yaklaşımlar (ör. M-IBI), ekolojik durumu yalnızca tolerans üzerinden değil, aynı zamanda topluluğun çeşitliliği ve yapısı üzerinden de değerlendirdiği için daha güçlü bir biyolojik durum yorumu sağlar (İbrahim vd., 2023).

Sonuç olarak biyolojik indeksler, sucul sistemlerde kirlilik ve habitat bozulmasını yalnızca kimyasal sınır değerlerle değil, ekosistemin canlı bileşeninin verdiği yanıtla değerlendirme olanağı sunar. Bu yönüyle, izleme çalışmalarında riskli alanların belirlenmesi, mevsimsel değişimlerin yorumlanması ve yönetim

önlemlerinin ekolojik etkisinin izlenmesi açısından önemli bir karar-destek aracıdır (Koyuncuoğlu vd., 2023).

1.3. Trofik Duruma Göre Göl Ekosistemlerinin Limnolojik Sınıflandırılması

Trofik durum kavramı, göl ekosistemlerinin sınıflandırılmasında temel bir yaklaşım olarak kabul edilmekte olup, erken dönem limnolojik sınıflandırma çalışmalarına dayanmaktadır. Bu bağlamda, göllerin ötrofikasyon derecesine göre sınıflandırılması özellikle Thienemann (1925) ile ilişkilendirilmektedir. Zamanla gelişen bilimsel anlayış doğrultusunda, trofik sınıflandırma sistemleri daha kapsamlı hale gelmiş ve özellikle besin elementlerinin konsantrasyonlarına dayalı olarak detaylandırılmıştır (Vollenweider, 1968; Meybeck, 1995).

Göl ekosistemlerinin trofik düzeylerine göre yapılan sınıflandırmalar, üretkenlik seviyesinin çok düşükten oldukça yüksek değerlere kadar değiştiği gözlemsel aralıkları temel alır. Bu sınıflandırma sistemlerinde kullanılan terimler, göllerin biyolojik üretim kapasitesine göre tanımlanmış ve uzun yıllar boyunca saha verileriyle desteklenerek şekillendirilmiştir (Håkanson ve Jansson, 1983).

Oligotrofik göller: Besin elementi bakımından fakir olan bu göller, genellikle derin yapılı olup dar kıyı şeridinde ve organik madde açısından düşük taban özelliklerine sahiptir. Plankton ve AKM miktarının azlığı nedeniyle elektrolit seviyesi düşüktür; su rengi berrak, mavi-yeşil tonlarındadır ve azot, fosfat, kalsiyum gibi elementler düşük düzeyde bulunur. Yıl boyunca yüksek oksijen seviyeleri gözlenirken, kıyı bölgelerinde makrofit yoğunluğu yok denecek kadar azdır; derin alanlardaki düşük oksijen koşulları ise alabalık türlerinin varlığını destekler. Bu özellikleri taşıyan göllere dağ gölleri ve kaynak suları ile beslenen kırsal tabanlı göller örnek olarak verilebilir (Biyolokum, 2018).

Mezotrofik göller: Oligotrofik ve ötrofik göller arasında geçiş özellikleri gösteren ve bu nedenle literatürde daha belirgin şekilde tanımlanmış ekosistemlerdir. Bu göllerde besin elementi düzeyi oligotrofik göllere kıyasla daha yüksek olup, su bitkilerinin gelişimi gözlenmeye başlar. Suyun rengi genellikle yeşilimsi tonlarda olup, orta düzeyde fitoplankton üretkenliği ve balık popülasyonları ile karakterizedir. Ilıman bölgelerde beyaz balık ve levrek gibi türler baskın olabilirken, yaz döneminde

tabakalaşma sırasında hipolimniyonda oksijen konsantrasyonunda belirli düşüşler meydana gelebilmektedir (Thomas, 1988; Cerit, 2008).

Ötrofik göller: Yüksek düzeyde besin elementi içermeleri nedeniyle düşük su berraklığına ve yoğun biyokütle üretimine sahip ekosistemlerdir. Bu göllerde özellikle yaz aylarında fitoplankton yoğunluğu artmakta, organik madde birikimi tabanda hidrojen sülfür gibi gazların oluşumuna yol açmaktadır. Oksijen konsantrasyonu epilimnionda görece yüksek olsa da, yaz tabakalaşması sırasında hipolimniyonda 1 mg L⁻¹'nin altına düşebilmektedir (Thomas, 1988). Azot, fosfor ve kalsiyum bakımından zengin olan bu göller, plankton gelişimi için elverişli koşullar sunarken, litoralde yoğun bitki toplulukları ile karakterize edilmektedir (Biyolokum, 2018).

Hiperötrofik göller: Ötrofik evrenin ilerleyen aşamasını temsil eden ve son derece yüksek besin elementleri ile biyokütle birikiminin gözlemlendiği ekosistemlerdir. Bu göllerde fitoplankton ve alg yoğunluğu olağanüstü seviyelere ulaşarak kıyı ve taban bölgelerinde birikmekte, süreç ilerledikçe göl ortamı bataklık karakterine dönüşebilmektedir (İyigün & Koçbuğ, 2003). Yaz döneminde tabakalaşma sırasında, gölün en alt tabakası olan hipolimnion (yüzeyden gelen karışımın ulaşmadığı, soğuk ve durağan derin su kütlesi) içerisinde oksijenin kritik seviyelere düşmesi veya tamamen tükenmesi sık rastlanan bir durumdur (Thomas, 1988). Ilıman iklim kuşağında ise kıvrıkanat ve çipura gibi türler bu göllerde baskın balık topluluklarını oluşturmaktadır.

Distrofik göller: Havza kaynaklı organik girdilerin yoğunluğu nedeniyle humus ve çözünmüş organik maddeler bakımından zengin, buna bağlı olarak da genellikle esmer renkli ve düşük pH değerine sahip ekosistemlerdir. Bu göllerde yüksek miktarda koloidal ve humik bileşikler suyun saydamlığını ve elektrolit dengesini olumsuz yönde etkilerken, bentik ve planktonik organizma çeşitliliği oldukça sınırlıdır (Biyolokum, 2018). Organik madde birikimi, özellikle taban bölgelerinde oksijenin azalmasına yol açarak biyolojik üretkenliği kısıtlamaktadır. Bu nedenle distrofik göller, düşük trofik seviyeli sistemlerden farklı olarak dış kaynaklı organik madde girişlerinin belirleyici olduğu özel bir göl tipini temsil etmektedir (Thomas, 1988).

1.4. Tatlı Su Ekosistemlerinde Fosfor Dinamikleri

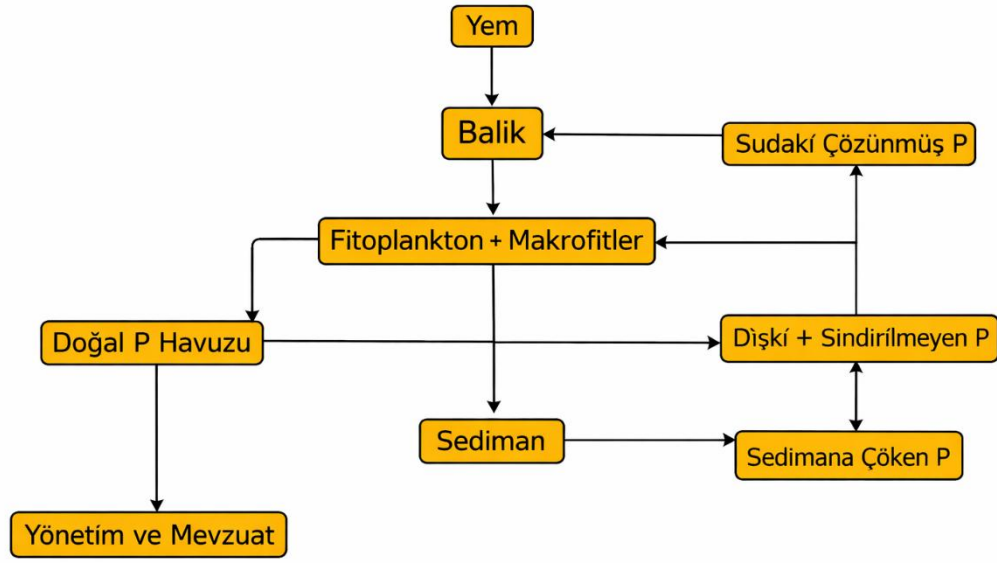
Fosfor, sucul ortamlardaki biyokimyasal süreçlerin işleyişinde merkezi bir rol oynayan temel besin elementlerinden biridir. Göl ve akarsu sistemlerinde fosfor; çözülmüş inorganik fosfat, organik fosfor ve partikül formda bulunabilmektedir. Çözülmüş inorganik fosfat formu, fotosentetik üreticiler tarafından doğrudan alınabilirken; organik fosfor, canlı organizmaların yapısal bileşenlerinden ve biyolojik parçacıklardan kaynaklanarak besin ağına entegre olur. Fosfor, canlı protoplazmanın yaklaşık %2'sini kuru madde olarak oluşturmakta olup, özellikle ototrofik fotosentetik organizmalar ile heterotrofik mikroorganizmaların büyüme ve çoğalma süreçlerinde sınırlayıcı bir faktör olarak işlev görmektedir (Uslu & Türkman, 1987).

Fosfor, tatlı su ve denizel ekosistemlerde genellikle sınırlı miktarda bulunan ve çoğunlukla düşük çözünürlükte seyreden bir makro besin elementidir (Anonim, 1994). Doğal sulardaki TP konsantrasyonu; bölgenin jeolojik altyapısı, deltaların morfometrik özellikleri, evsel kaynaklı atık girdileri (özellikle fosfat içeren deterjanlar), sudaki çözülmüş ve partikül halindeki organik madde miktarı ile sucul organizmaların metabolik faaliyetlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Schwörbel, 1987). Ötrofikasyonun başlıca sınırlayıcı ve tetikleyici elementi olarak kabul edilen fosfor, sucul ortamlarda primer üretimin artmasına neden olarak fitoplankton patlamalarına ve buna bağlı olarak çözülmüş oksijen seviyelerinde dalgalanmalara yol açabilmektedir (Harper, 1992). Fosfor konsantrasyonu, günlük çözülmüş oksijen değişimleri gibi kısa süreli çevresel faktörlerden doğrudan etkilenmemekle birlikte, özellikle gübreleme gibi dışsal girdilerden sonra birkaç gün içerisinde fitoplankton biyokütlesinde gözlemlenen artışlarla birlikte geçici olarak değişim gösterebilir (Boyd, 2014).

Fosfor, balıklar için temel bir besin elementi olup, özellikle diş ve kemik dokularının yapısında %85–90 oranında yer almaktadır (Hoşsu vd., 2001). Balıklar bu elementin bir kısmını doğrudan su ortamından absorbe edebilmekte, ancak sağlıklı bir metabolik işleyiş ve iskelet gelişimi için fosforun yem yoluyla takviye edilmesi gerekmektedir. Yem üretiminde kullanılan hammaddeler genellikle yüksek fosfor içeriğine sahiptir; ancak bu fosforun tamamı balıklar tarafından biyoyararlanabilir formda değildir. Bu nedenle, yemlere ilave olarak mineral karışımlar halinde inorganik fosfat formunda fosfor eklenmesi önerilmektedir. Ticari yemlerde kullanılan başlıca

fosfat kaynakları arasında kalsiyum, sodyum ve potasyum fosfatları yer almaktadır. Fosfatça zengin balık unu ve türevleri, yem formülasyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, balık türüne göre fosforun sindirilebilirliği değişkenlik göstermekte; özellikle bitkisel kaynaklı hammaddelerde fosfor, balıkların sindiremeyeceği fitin fosfat formunda bulunduğundan, biyoyararlanım oranı %60–70 düzeyinde azalmaktadır (Pillay, 2004). Fosfor ihtiyacı ve tüketilen balık miktarı göz önüne alındığında, yemlerde genellikle fazla miktarda fosfor bulunduğu ve bu fazlalığın bir kısmının çevreye atık olarak geçtiği tespit edilmiştir. Nitekim yapılan bir çalışmada, dışkı ile atılan fosfor miktarının dışkının yaklaşık %2'sini oluşturduğu bildirilmiştir (Food and Agriculture Organization, 1992).

Türkiye’de su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetleri kapsamında fosfor kaynaklı çevresel yüklerin azaltılmasına yönelik mevzuat temelli bir düzenleme veya uygulamaya dayalı bir kontrol mekanizması henüz oluşturulmamıştır. Özellikle yem üretim sektöründe faaliyet gösteren firmaların ürün çeşitliliğinin sınırlı olması ve düşük fosfor içeriğine sahip yem formülasyonlarının piyasada yeterince bulunmaması, fosfor azaltımına yönelik araştırmaların ekonomik uygulanabilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu bağlamda, ülke genelinde planlanan bilimsel çalışmaların; üretici işletmelerin periyodik olarak izlenmesini, yetiştiricilik alanlarının doğal taşıma kapasitesi doğrultusunda seçilmesini ve yemleme sürecinde kullanılan hız ile yöntemlerin optimize edilmesini içermesi gerekmektedir. Bu tür entegre yaklaşımlar, hem sucul ekosistemlerin korunmasına katkı sağlayacak hem de üretici firmaların çevresel sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda ekonomik gelişimlerini destekleyecektir. Bu sürece ilişkin fosforun doğal havuzdan yem kaynaklı girdilere, balık metabolizmasına ve çevresel çıkış yollarına uzanan akış mekanizması Şekil 2 de şematik olarak sunulmuştur.



Şekil 2. Fosfor döngüsünün kafes balıkçılığındaki akış şeması(Yıldırım & Korkut, 2004).

1.5. Taşıma Kapasitesinin Genel Tanımı ve Önemi

Su ürünleri yetiştiriciliğinin planlanmasında en kritik kavramlardan biri, alıcı ortamın taşıma kapasitesidir. Genel anlamıyla taşıma kapasitesi, belirli bir ekosistemin, yapısal ve işlevsel bütünlüğünü bozmadan tolere edebileceği maksimum yükü ifade etmektedir. Su ürünleri yetiştiriciliği bağlamında ise bu kavram, belirli bir su kütlesinde ekolojik, kimyasal ve fiziksel parametreler açısından kabul edilebilir sınırlar aşılmadan sürdürülebilir biçimde gerçekleştirilebilecek maksimum üretim miktarını tanımlar (Beveridge, 1984).

Taşıma kapasitesi, literatürde genellikle dört ana bileşen altında ele alınmaktadır: fiziksel, üretim (üretimsel), ekolojik ve sosyal taşıma kapasitesi. Fiziksel taşıma kapasitesi, su yüzey alanı, derinlik, rüzgâr rejimi ve hidrodinamik koşullar dikkate alınarak bir bölgede fiziksel olarak yerleştirilebilecek maksimum kafes sayısını ve düzenini ifade eder. Üretimsel taşıma kapasitesi, mevcut teknolojik olanaklar ve yönetim uygulamaları çerçevesinde, bir işletmenin biyoteknik sınırlar dâhilinde ulaşabileceği maksimum üretim miktarını tanımlar. Sosyal taşıma kapasitesi,

yerel toplulukların, diğer sektörlerin (turizm, rekreasyon, içme suyu, balıkçılık vb.) ve paydaşların kabul edebileceği faaliyet düzeyi ile ilgilidir (Ross vd., 2013).

Bu çalışmanın odaklandığı ekolojik taşıma kapasitesi ise, su kalitesi parametreleri, bentik ekosistem yapısı, besin elementleri döngüsü ve çözünmüş oksijen rejimi gibi ekolojik göstergeler ışığında, alıcı ortamda geri dönüşü olmayan bozulmalara yol açmaksızın sürdürülebilir olarak gerçekleştirilebilecek maksimum su ürünleri üretim kapasitesini ifade etmektedir (Ross vd., 2013; Boyd & Queiroz, 2001). Ekolojik taşıma kapasitesi, entansif yetiştiricilik faaliyetleri sonucunda alıcı ortama giren organik madde ve besin elementlerinin (özellikle azot ve fosfor) birikimini, bunların su kolonunda ve sedimentte yol açtığı değişimleri ve neticede sucul ekosistemin bu yükü absorbe edebilme yeteneğini nicel olarak değerlendirmeyi gerektirir.

Ağ kafes yetiştiriciliğinde balıklar tarafından tüketilmeyen yemler ile sindirim süreci sonucunda ortaya çıkan fekal materyaller, entansif üretim koşullarında alıcı ortama önemli miktarda organik madde ve besin elementi (N ve P) girişi sağlamaktadır (Çantaş & Yıldırım, 2019). Literatürde, bir ton balık üretimi başına sedimente taşınan azot ve fosfor miktarlarının sırasıyla 20–463 kg N ve 5–80 kg P aralığında değişebildiği rapor edilmiştir (Wu, 1995; Islam, 2005). Hidrodinamik yenilenmenin sınırlı olduğu baraj göllerinde, bu yüklerin önemli bir kısmı kafeslerin altındaki ve çevresindeki sedimentte birikmekte; çözünmüş oksijen tüketimi, redoks koşullarında değişim, bentik fauna yapısında bozulma ve su kolonunda besin elementi zenginleşmesi gibi sonuçlara yol açabilmektedir (Husa vd., 2014; Boyd, 2014). Bu süreçler, belirli eşik değerlerin aşılması durumunda hızlanan ötrofikasyon ve buna bağlı ekosistem bozulmaları ile sonuçlanmaktadır (Polat & Özmen, 2011).

Tam da bu noktada, taşıma kapasitesinin nicel olarak belirlenmesi, yetiştiricilik faaliyetlerinin hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirliği açısından kritik bir araç haline gelmektedir. Taşıma kapasitesi hesaplamaları, alıcı ortamın morfometrik özelliklerini (alan, hacim, ortalama ve maksimum derinlik), hidrolojik özelliklerini (giriş–çıkış debileri, su yenilenme süresi), mevcut besin elementi konsantrasyonlarını ve arka plan trofik durumunu dikkate alarak, ekosistemin tolere edebileceği maksimum dış fosfor yükünü ve bu yüke karşılık gelen maksimum üretim miktarını tahmin etmeyi amaçlar (Ross vd., 2013; Collings vd., 2007). Böylece, bir yandan su

kalitesi standartlarının korunması sağlanırken, diğer yandan ekonomik olarak anlamlı bir üretim düzeyine ulaşılabilmektedir.

Bu kapsamda en yaygın kullanılan yaklaşımlardan biri, besin elementi (özellikle fosfor) bütçe modelleridir. Dillon ve Rigler (1974) tarafından geliştirilen fosfor yükleme modeli, göl hacmi, su yenilenme süresi ve dış kaynaklı fosfor girdilerini göz önünde bulundurarak gölün ortalama fosfor konsantrasyonunu tahmin etmektedir (Dillon & Rigler, 1974). Beveridge (1984) ise bu modeli, kafes balık yetiştiriciliğinden kaynaklanan fosfor girdilerini de içerecek şekilde uyarlamış ve su ürünleri yetiştiriciliği için taşıma kapasitesinin hesaplanmasında kullanılabilecek pratik bir araç haline getirmiştir (Beveridge, 1984). Bu yaklaşımla, yemlerin fosfor içeriği, yem dönüşüm oranı, balık bünyesinde tutulacak fosfor miktarı ve sedimente çökeltme oranı gibi parametreler kullanılarak, belirli bir gölde ekosistemin tolere edebileceği maksimum üretim düzeyi tahmin edilebilmektedir.

Taşıma kapasitesi kavramı, yalnızca teorik bir ekolojik sınır tanımı olmanın ötesinde, uygulamalı yönetim ve mevzuat açısından da merkezi bir rol oynamaktadır. Yetiştiricilik alanlarının yer seçimi, kafeslerin konumlandırılması, üretim kotasının belirlenmesi, çevresel izleme programlarının tasarımı ve izin/lisans süreçlerinin yürütülmesinde taşıma kapasitesine dayalı kriterler, çevresel karar alma mekanizmalarına bilimsel bir temel sunmaktadır (Ross vd., 2013). Taşıma kapasitesi verileri, yem yönetimi ve yem dönüşüm oranlarının iyileştirilmesi, yem kaynaklı fosforun çevreye ne ölçüde taşındığının belirlenmesi ve buna bağlı olarak “birim fosfor yükü başına üretilebilir balık miktarı”nın tahmin edilmesine de olanak tanımaktadır (Collings vd., 2007; Beveridge, 1984). Böylece, hem birim alan başına üretim verimliliği artırılmakta hem de ekosistem üzerindeki baskı minimize edilmektedir.

Baraj gölleri gibi çok amaçlı kullanılan iç su ekosistemlerinde (içme suyu temini, sulama, enerji üretimi, rekreasyon, balıkçılık vb.) taşıma kapasitesinin doğru belirlenmesi, farklı sektörler arasındaki potansiyel çatışmaların azaltılması ve “çok kullanımlı su yönetimi” yaklaşımının hayata geçirilebilmesi açısından da önemlidir. Taşıma kapasitesinin aşılması, kısa vadede yüksek üretim rakamları sağlayabilse de orta ve uzun vadede su kalitesinin bozulmasına, alg patlamalarına, bentik habitat kaybına ve nihayetinde yetiştiricilik faaliyetlerinin kendisinin de sürdürülemez hale gelmesine yol açabilmektedir (Boyd & Queiroz, 2001; Polat & Özmen, 2011). Bu

nedenle, taşıma kapasitesi hesapları, yalnızca çevresel riski tanımlayan bir uyarı mekanizması değil, aynı zamanda sürdürülebilir üretim planlamasının temel bileşeni olarak değerlendirilmelidir.

Altinkaya Baraj Gölü özelinde, gölün morfometrik ve hidrolojik özelliklerinin, mevcut besin elementi seviyelerinin ve arka plan trofik durumunun belirlenmesi, fosfor bütçe modeline dayalı taşıma kapasitesi hesaplamaları için zorunlu bir başlangıç adıımıdır. Bu tez çalışması kapsamında, Dillon ve Rigler (1974) tarafından geliştirilen ve Beveridge (1984) tarafından kafes yetiştiriciliği koşullarına uyarlanan fosfor yükleme yaklaşımının kullanılması; Altinkaya Baraj Gölü'nde planlanan gökkuşuğı alabalığı yetiştiriciliği için çevresel açıdan güvenli üretim sınırlarının tanımlanmasına imkân vermektedir. Elde edilecek sonuçlar hem göl ekosisteminin korunması hem de su ürünleri yetiştiriciliğinin rasyonel biçimde geliştirilmesi için taşıma kapasitesi temelli yönetim yaklaşımlarına somut bir örnek oluşturacaktır.

1.6. Taşıma Kapasitesi Tahmininde Ekolojik ve Matematiksel Yaklaşımlar

Taşıma kapasitesi kavramı, ekolojik ve üretimsel bağlamda farklı şekillerde tanımlanmış olup, özellikle hayvan ve bitki popülasyonlarının izlenmesi ve yönetimi açısından temel bir parametre olarak kabul edilmektedir (Pulliom & Haddad, 1994). Bu kavram, yenilenebilir doğal kaynakların sürdürülebilir biçimde kullanımı ve yönetimi için kritik bir rol oynamaktadır (Hilborn vd., 1995). Kültür sistemlerinde sürdürülebilir maksimum üretim düzeyinin belirlenebilmesi için taşıma kapasitesi ile birlikte, potansiyel nüfus artış hızı ve stok bolluğı gibi biyolojik göstergelere ilişkin detaylı verilere ihtiyaç duyulmaktadır (Sibly vd., 2003). Yönetim stratejileri genellikle koruma odaklı biçimlenirken, taşıma kapasitesinin doğru tahmini; popülasyonların korunma düzeylerinin değerlendirilmesi ve antropojenik baskıların neden olduğu nüfus dinamiklerindeki değişimlerin analiz edilmesi açısından temel bir çerçeve sunmaktadır (Ayllón vd., 2012).

İç su sistemlerinde taşıma kapasitesinin tahmini, uygulanan kültür yöntemine bağlı olarak farklı modelleme yaklaşımlarını gerektirmektedir. Entansif kafes kültürü uygulamalarında, sistemin taşıma kapasitesi genellikle ortama giren fosfor yükü üzerinden hesaplanırken; yarı entansif ve ekstansif kültür modellerinde birincil üretim düzeyleri temel alınarak değerlendirme yapılmaktadır. Bu amaçla kullanılan modeller,

çeşitli ekosistemlerde uygulanarak geçerlilikleri test edilmiş ve doğrulanmıştır (Beveridge, 1984). Dillon ve Rigler (1974) tarafından geliştirilen fosfor kütle dengesi modeli, hem ılıman hem de tropikal iklim kuşaklarında yer alan sığ ve derin göller ile baraj göllerinde başarıyla uygulanmış ve modelin farklı hidrolojik koşullarda kullanılabilirliği ortaya konmuştur (Mueller, 1982).

Göl trofik düzeyinin belirlenmesinde, besin girdileri ile su kalitesi parametreleri arasındaki kantitatif ilişkiler temel alınarak taşıma kapasitesinin hesaplanmasına yönelik genel bir yöntem geliştirilmiştir. Dillon ve Rigler (1974) tarafından ilk olarak Güney Ontario gölleri üzerinde uygulanan bu teknik, drenaj havzasındaki arazi kullanım biçimleri ve jeolojik yapıların etkisiyle göle taşınan fosfor miktarının tahmin edilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, göl çevresindeki yerleşim alanlarından kaynaklanan yapay fosfor yükü, kanalizasyon altyapısına bağlı olarak hesaplanabilir ve gerektiğinde arıtma tesislerinin kapasitesine göre uyarlanabilir. Doğal ve antropojenik fosfor yüklerinin toplamı; gölün ortalama derinliği, hidrolik bütçesi ve yıkama oranı gibi morfometrik özelliklerle birlikte değerlendirilerek, gölün fosfor tutma katsayısı hesaplanabilir. Bu katsayı, hem dışsal yüklemeye hem de gölün fiziksel yapısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Dillon & Rigler, 1974).

Sonuç olarak fosfat formundaki fosfor, ötrofikasyon sürecinde alg büyümesini tetikleyen temel sınırlayıcı besin olup, kontrolsüz yüklemeler su kalitesini bozarak ekosistem hizmetlerini olumsuz etkiler (Edmondson, 1972). Ötrofikasyonun önlenmesine yönelik stratejiler kapsamında, fosfor yükünün azaltılmasına ilişkin tekniklerin değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. 1969 yılından itibaren, giriş-çıkış temelli ve kütle dengesi esaslı çeşitli modelleme yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu modellerin çoğu, Avrupa ve Doğu Kuzey Amerika'daki doğal göllerden elde edilen verilerle yapılandırılmış olsa da, özellikle kuzey ılıman kuşakta yer alan göl ve rezervuar sistemlerinde uygulanabilirlik göstermektedir. Kararlı durum varsayımına dayanan fosfor kütle dengesi modeli, Vollenweider (1968) tarafından önerilmiş olup, bu modele ek olarak farklı hidrolojik ve trofik koşullara uyarlanmış alternatif modeller de geliştirilmiştir (Tablo 1).

Bu Modeller;

- Vollenweider-1976 modeli (Vollenweider, 1976), sabit bir çökelme hızı varsayarak.

- Sabit sedimentasyon katsayısı varsayan Jones-Bachmann modeli (Jones & Bachmann, 1976).
- Gözlenen veriden hesaplanan fosfor tutma özelliğini kullanan Dillon-Rider modeli (Dillon & Rigler, 1974).
- Hidrolik yükün bir fonksiyonu olarak fosfor tutma oranını hesaplayan Dillon- Kirchner modeli (Kirchner & Dillon, 1975).
- Vollenweider-1976 modeli (Vollenweider, 1976).

Tablo 1. Fosfor kütle dengesi temelli modeller, veri tabanları ve kaynaklar

Kaynak	Model	Veri Tabanı
Vollenweider (1976); Mueller (1982)	$[P] = L / (qs (1 + Tw^2))$	Orta-Batı baraj gölleri, ABD
Jones ve Bachmann (1976); Mueller (1982)	$[P] = 0.84 L / (z (0.65 + \rho))$	Kuzey Amerika gölleri; Orta-Batı baraj gölleri, ABD
Canfield ve Bachmann (1983)	$[P] = 0.49 L / (z (0.0926 (L/Z)^{0.510} + \rho))$	Doğal ve yapay Avrupa ve Kuzey Amerika gölleri
Canfield ve Bachmann (1983)	$[P] = 0.8 L / (z (0.0942 (L/Z)^{0.422} + \rho))$	Doğal Avrupa ve Kuzey Amerika gölleri
Canfield ve Bachmann (1983)	$[P] = 0.8 L / (z (0.0569 (L/Z)^{0.639} + \rho))$	Yapay Avrupa ve Kuzey Amerika gölleri
Canfield ve Bachmann (1983)	$[P] = 0.603 / (z (0.257 + \rho))$	Doğal ve yapay Avrupa ve Kuzey Amerika gölleri
Dillon ve Rigler (1974); Mueller (1982)	$[P] = L (1 - R) / (z \rho)$	Kanada gölleri; Orta-Batı baraj gölleri, ABD
OECD (1982)	$[P] = L / (1 + Tw)$	Avrupa ve Kuzey Amerika gölleri; Norveç gölleri, dağ gölleri; sığ göl ve baraj gölleri

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma, Kasım 2024-Ağustos 2025 tarihleri arasında Altınkaya Baraj Gölü'nde belirlenen istasyonlarda her üç aylık periyotlar halinde yürütülmüştür.

Altınkaya Baraj Gölü, Kızılırmak Nehri üzerinde Samsun'un Bafra ve Vezirköprü ile Sinop'un Durağan ilçeleri sınırları içerisinde yer alan ve Türkiye'nin en büyük hidroelektrik barajlarından biri olarak kabul edilen kaya dolgu tipinde bir su yapısıdır. Baraj 1980–1988 yılları arasında inşa edilmiş olup yaklaşık 15.920.000 m³ gövde hacmine sahiptir; normal su kotunda göl hacmi 5.763 hm³, yüzey alanı 118,31 km², temelden yüksekliği 195 m ve taş uzunluğu 634 m'dir. Bu boyutları ve depolama kapasitesiyle Altınkaya, Kızılırmak havzasında hidroelektrik enerji üretiminin yanı sıra akım rejiminin düzenlenmesi, taşkın riskinin azaltılması ve aşağı havzadaki tarımsal sulama imkânlarının geliştirilmesi yoluyla bölgesel sosyoekonomik kalkınmaya katkı sağlayan büyük ölçekli bir rezervuar niteliğindedir. Türkiye'de büyük barajların enerji üretimi, taşkın kontrolü ve sulama amaçlarını birlikte gözetten çok amaçlı işletme rejimleriyle planlanması, Altınkaya Barajı'nı da ulusal su yönetimi ve bölgesel kalkınma politikaları açısından stratejik öneme sahip bir su yapısı konumuna getirmektedir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2009; Kibaroglu, 2021).



Şekil 3. Altınkaya Barajı'nın kapak kısmını ve göl alanından bir görünüm

Çalışma kapsamında Altınkaya Baraj Gölü'nde vertikal ve horizontal heterojenliğini ortaya koymak ve gölü besleyen kaynakların etkilerini değerlendirmek amacıyla, gölün farklı bölgelerini temsil eden istasyonlar belirlenmiştir. İstasyon seçiminde; ağ kafeslerde kültür balıkçılığının planlandığı alanlar, baraj gölünü besleyen ana kol ve tali kolları temsil eden noktalar, tesislerin memba tarafında referans niteliği taşıyan bir nokta ile baraj çıkışında yer alan kontrol noktası dikkate

alınmıştır. Bu kapsamda göl içerisinde toplam 7 istasyon belirlenmiş; her bir istasyonda baraj su kotunun olduğu derinliği dikkate alınarak yüzey, orta ve dip tabakalarında ölçüm ve su örneklemeleri ile sediment örneklemeleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). İstasyonlar, gölün nehir bölgesi, geçiş bölgesi ve göl bölgesini temsil edecek şekilde konumlandırılmış olup koordinatları el GPS cihazı kullanılarak kaydedilmiştir.



Şekil 4. Altinkaya Baraj Gölü'nde örnekleme istasyonlarının konumu

2.2. Numune Alımı ve Analiz Yöntemleri

2.2.1. Fizikokimyasal Ölçümler ve Su Örneklemesi

Bu çalışma, Kasım 2024-Ağustos 2025 tarihleri arasında Altinkaya Baraj Gölü'nde belirlenen istasyonlarda her üç aylık periyotlar halinde yürütülmüştür.

Baraj gölünde su kalitesini temsil edecek şekilde toplam yedi istasyon belirlenmiş ve bu istasyonların noktasal koordinatları harita üzerine işaretlenmiştir (Tablo 2). İstasyonlarda yürütülen çalışmalarda su kolonunun dikey profili çıkarılmış, alınan su örneklerinde fiziksel ve kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Yerinde yapılan anlık ölçümlerde YSI EXO 2 multiparametre cihazı kullanılmış, laboratuvar analizleri için gerekli su örnekleri ise nansen şişesi ile yüzey, orta ve dip tabakalarından alınmıştır. Toplanan örnekler 1000 ml'lik ışık geçirmez plastik şişelere konularak

soğuk zincir koşullarında laboratuvara taşınmıştır. Ayrıca, göl ekosisteminin bentik yapısını değerlendirmek amacıyla her istasyondan ekman grab ile sediment örnekleri toplanmıştır.

Tablo 2. Çalışma istasyonlarının koordinatları

İstasyonlar	Koordinatlar	
1	41° 21.453'K	35° 42.363'D
2	41° 20.679'K	35° 36.662'D
3	41° 18.317'K	35° 32.974'D
4	41° 16.230'K	35° 30.742'D
5	41° 16.938'K	35° 26.524'D
6	41° 13.741'K	35° 19.419'D
7	41° 15.344'K	35° 14.245'D

Yerinde gerçekleştirilen ölçümlerde sıcaklık, pH, E.C ve Ç.Oksijen parametreleri anlık olarak kaydedilmiştir. Laboratuvar ortamında ise toplam AKM, klorofil-*a*, toplam sertlik, permanganat indeksi, NO₃⁻-N, NO₂⁻-N, NH₃, o-PO₄³⁻-P, TP-P ve analizleri yapılmıştır (Tablo 3). Çalışma, baraj gölünün mevsimsel değişimlerini belirlemek amacıyla dört mevsim boyunca üç ayda bir yürütülmüş ve dönemsel fizikokimyasal ile ekolojik farklılıklar değerlendirilmiştir.

Tablo 3. Çalışmalarda kullanılan ölçüm ve analiz metotları

Parametre	Ölçüm/Analiz Metodu	Kullanılan Alet/Cihaz	Ölçüm Yeri
Sıcaklık	Termometrik	YSI EXO 2	Yerinde
Elektriksel iletkenlik	Elektrometrik		
pH	Elektrometrik		
Çözünmüş oksijen	LDO (Lüminesans Çözünmüş Oksijen)		
Secchi diski	Manuel	DR6000 Spektrofotometre	Laboratuvar
Klorofil- <i>a</i>	Aseton Ekstraksiyonundan Sonra Spektrofotometrik (SM 10200 H)		
Askıda Katı Madde	Gravimetrik (SM 2540 D)		
Toplam Sertlik	EDTA ile Titrimetrik (SM 2340C)		
Permanganat İndeksi	Permanganat ile Titrimetrik	Genel Laboratuvar Aletleri	Laboratuvar
Nitrat Azotu	Otomatik Kadmiyum İndirgeme CFA		
Nitrit Azotu	Otomatik Kolorimetrik CFA (Sürekli Akış Analizörü)		
Amonyum Azotu	Otomatik Salisilat Yöntemi CFA (Sürekli Akış Analizörü)		
o-Fosfat Fosforu	Otomatik Molibdat CFA(Sürekli Akış Analizörü)	SEAL AA3 HR Kimyasal Otoanalizör	Laboratuvar
Toplam Fosfor	Persülfat Parçalama+Otomatik Askorbik Asit CFA (Sürekli Akış Analizörü)		
Toplam Azot	Persülfat Parçalama+Otomatik Kadmiyum İndirgeme CFA (Sürekli Akış Analizörü)		

2.2.2. Bentik Makroomurgasız Örneklemesi ve Teşhisi

Baraj gölünde su kalitesi izlemelerine ek olarak, ekolojik kaliteyi biyolojik bileşen üzerinden değerlendirmek amacıyla bentik makroomurgasız örneklemesi yürütülmüştür.

Akarsuyun baraja karıştığı uygun alanlarda bentik makroomurgasız örnekleri, 30×30 cm örneklem alanına sahip Surber örnekleyici ile ve $500 \mu\text{m}$ göz açıklıklı ağ kullanılarak toplanmıştır (Kazancı vd., 1997; Duran vd., 2003). Kıyısız mikrohabitatların temsili için ek olarak $500 \mu\text{m}$ göz açıklıklı D-çerçevesi kepe ağ (D-frame net) ile süpürme/kick örneklemesi uygulanmıştır (Kazancı vd., 1997).

Baraj gölü içerisinde bentik örnekler, 30×30 cm ölçülerinde modifiye Van Veen grab kullanılarak her istasyonda üç tekrar şeklinde alınmıştır. Toplanan örnekler, eleme düzeneğinden geçirilerek organizmaların ayrıştırılması kolaylaştırılacak ve kaba materyalden ayrımı sağlanmıştır. Örneklerin ilk fiksasyonu %70 etanol ile yapılmış ve laboratuvara taşınmıştır (Duran vd., 2003; Kaboré vd., 2016).

Laboratuvarda örnekler stereomikroskop ve lup altında; küçük bireyler ise binoküler mikroskop altında incelenecek ve familya (aile) düzeyinde teşhis edilmiş ve BMWP-TR İndeks hesaplanmasında kullanılmıştır.

2.3. Verilerin Değerlendirilmesi

Baraj gölünde elde edilen su kalite verilerinin değerlendirilmesinde, Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği esas alınmıştır (Resmi Gazete, 2012). İlk olarak 30.11.2012 tarihli ve 28483 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe giren bu yönetmelik, 10.08.2016 tarihli ve 29797 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanan düzenleme ile güncellenmiştir. Yönetmelik kapsamında, kıta içi yüzeysel su kütlelerinin kalite durumu; kimyasal ve fizikokimyasal parametreler temelinde sınıflandırılmakta olup, bu sınıflar üç ana kategori altında tanımlanmaktadır:

- *Sınıf I*: Yüksek kaliteli su
- *Sınıf II*: Az kirlenmiş su
- *Sınıf III*: Kirlenmiş su

Bu sınıflandırma, su kütlelerinin mevcut durumunun belirlenmesi ve çevresel kalite hedeflerinin değerlendirilmesi açısından temel bir referans oluşturmaktadır (Tablo 4).

Tablo 4. Kıta içi yerüstü su kaynaklarının genel kimyasal ve fizikokimyasal parametreler açısından sınıflarına göre kalite kriterleri (Resmi Gazete, 2012)

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları ^(a)		
	I (çok iyi)	II (iyi)	III (orta)
Renk (m ⁻¹)	RES 436 nm:≤1,5 RES 525 nm:≤1,2 RES 620 nm:≤0,8	RES 436 nm:3 RES 525 nm:2,4 RES 620 nm:1,7	RES 436 nm: >4,3 RES 525 nm:>3,7 RES 620 nm:2,5
pH	6-9	6-9	6-9
İletkenlik (μS/cm)	<400	1000	>1000
Yağ ve Gres (mg/L)	<0,2	0,3	>0,3
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	>8	6	<6
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/L)	<25	50	>50
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅) (mg/L)	<4	8	>8
Amonyum azotu (mg NH ₄ ⁺ -N/L)	<0,2	1	>1
Nitrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/L)	<3	10	>10
Toplam kjeldahl azotu (mg N/L) ^(b)	<0,5	1,5	>1,5
Toplam azot (mg N/L) ^(c)	<3,5	11,5	>11,5
Orto fosfat fosforu (mg o-PO ₄ -P/L)	<0,05	0,16	>0,16
Toplam fosfor (mg P/L)	<0,08	0,2	>0,2
Florür (μg/L)	≤1000	1500	>1500
Mangan (μg/L)	≤100	500	>500
Selenyum (μg/L)	≤10	15	>15
Sülfür (μg/L)	≤2	5	>5

(a) Kalite sınıflarına göre suların kullanım maksatları:

I. Sınıf - Yüksek kaliteli su (I. Sınıf su kalitesinde olması “Çok İyi” su durumunu ifade etmektedir);

- 1) İçme suyu olma potansiyeli yüksek olan yüzeysel sular,
- 2) Yüzme gibi vücut teması gerektirenler dahil rekreasyonel maksatlar için kullanılabilir su,
- 3) Alabalık üretimi için kullanılabilir nitelikte su,
- 4) Hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı için kullanılabilir nitelikte su,

II. Sınıf - Az kirlenmiş su (II. Sınıf su kalitesinde olması “İyi” su durumunu ifade etmektedir);

- 1) İçme suyu olma potansiyeli olan yüzeysel sular,
- 2) Rekreasyonel maksatlar için kullanılabilir nitelikte su,
- 3) Alabalık dışında balık üretimi için kullanılabilir nitelikte su,
- 4) Mer’i mevzuat ile tespit edilmiş olan sulama suyu kalite kriterlerini sağlamak şartıyla sulama suyu,

III. Sınıf - Kirlenmiş su (III. Sınıf su kalitesinde olması “Orta” su durumunu ifade etmektedir);

Gıda, tekstil gibi nitelikli su gerektiren tesisler hariç olmak üzere, uygun bir arıtmadan sonra su ürünleri yetiştiriciliği için kullanılabilir nitelikte su ve sanayi suyu,

(b) TKN: NH₃-N + Organik Azot

(c) TN: TKN+NO₃-N+NO₂-N

Ayrıca su kalite parametreleri, Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi’nde belirtilen “Göl, Gölet ve Baraj Gölleri Ötrofikasyon Kriterleri” esas alınarak karşılaştırılmış ve elde edilen bulgular doğrultusunda gölün trofik durumu değerlendirilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Göl, gölet ve baraj gölleri ötrofikasyon kriterleri (Resmi Gazete, 2012)

Trofik Seviye	Trofik Seviye İndeks Değeri (TSI)
Hipertrofik	>62
Ötrofik	62
Mezotrofik	60*
Oligotrofik	44
Ultraoligotrofik	≤29

*Baraj ve göletler için geçerlidir.

Trofik Seviye İndeksi Hesaplama Denklemleri:

$TSI(SD) = 60 - 14.41 \cdot \ln(SD)$

$TSI(CHL) = 9.81 \cdot \ln(CHL) + 30.6$

$TSI(TP) = 14.42 \cdot \ln(TP) + 4.15$

$TSI(TN) = 54.45 + 14.43 \cdot \ln(TN)$

$TSI (ORTALAMA) = [TSI(SD) + TSI(CHL) + TSI(TP) + TSI(TN)]/4$

*SD: Secchi diski derinliği (m)

*CHL: Klorofil-*a* (µg/L)

*TP: Toplam Fosfor (µg/L)

*TN: Toplam Azot (mg/L)

Elde edilen veriler arasında minimum, maksimum ve standart hata, istatistiki farkı saptamak amacıyla tek yönlü ve çift yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Analiz sonrasında normal dağılım göstermediği tespit edilen gruplar için “Kruskal-Wallis” testi uygulanmıştır. (Kruskal & Wallis, 1952). Parametreler arası ilişkiler Pearson korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. İstatistiki analizler, PAST 4.17 programı ve grafikler ise ODV 5 ve Excel paket programları kullanılarak yapılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Yerde Ölçümler

3.1.1. Sıcaklık

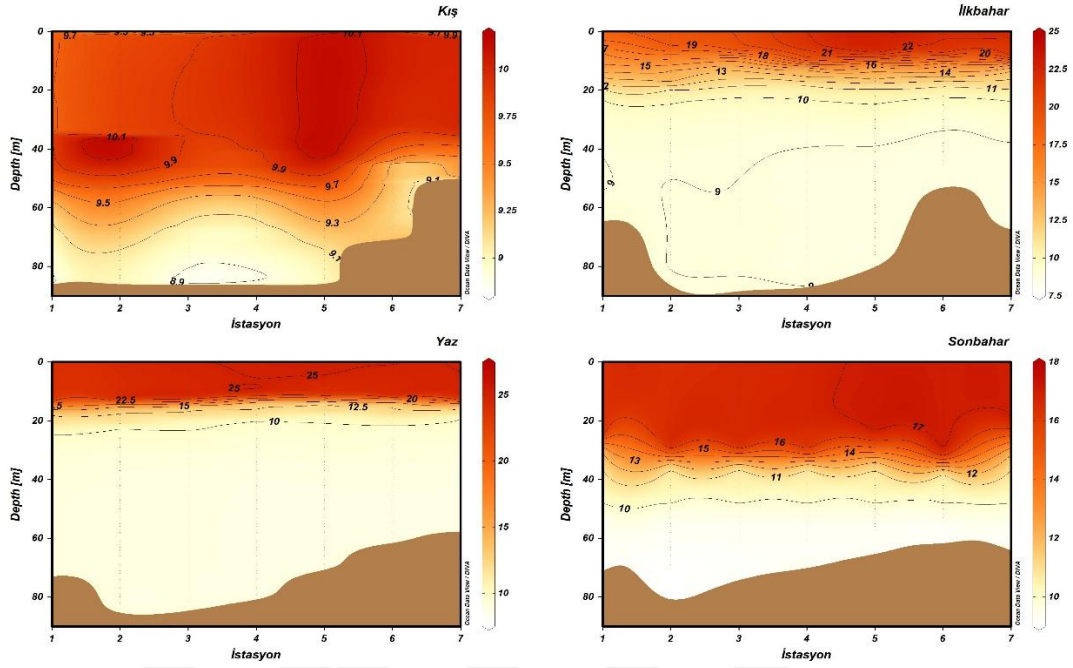
Yüzey suyu sıcaklıkları belirgin mevsimsellik göstermiştir: kışın $9,64 \pm 0,13$ °C, ilkbaharda $21,12 \pm 0,68$ °C, yazın $24,89 \pm 0,14$ °C ve sonbaharda $16,78 \pm 0,11$ °C ölçülmüştür (Tablo 6). Buna göre epilimnion sıcaklık rejimi mevsime göre değişmekte ve en yüksek değerler yazın görülmektedir.

Dikey sıcaklık profili incelendiğinde; kış ve sonbahar mevsimlerinde ilk 20 m tabakada sıcaklık eğiminin zayıf olduğu gözlenmiştir (Şekil 5). İlkbaharda yüzeyden itibaren belirgin bir soğuma eğilimi oluşmuş, yaz mevsiminde ise en güçlü termal tabakalaşma meydana gelmiştir.

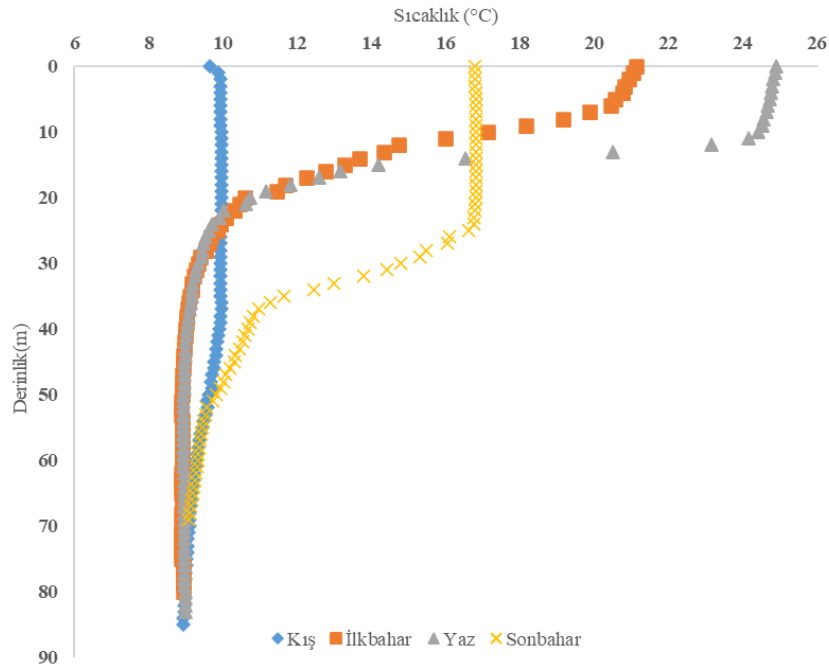
Mevsimsel değişim incelendiğinde termoklin derinliği ilkbaharda yaklaşık 9-19 m aralığında, yaz mevsiminde yaklaşık 12-18 m aralığında ve sonbahar mevsiminde ise 29-37 m aralıklarında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6).

Tablo 6. Derinliğe bağlı mevsimsel ortalama sıcaklık değişimi

Derinlik (m)	Sıcaklık(°C)	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
0	Ort-S.hata	9,64±0,13	21,12±0,68	24,89±0,14	16,78±0,11
	Min-Max	9,23-10,08	18,33-23	24,22-25,22	16,39-17,12
10	Ort-S.hata	9,95±0,06	17,13±0,61	24,42±0,13	16,8±0,1
	Min-Max	9,69-10,14	15,3-19,16	23,85-24,8	16,44-17,13
20	Ort-S.hata	9,95±0,06	10,58±0,05	10,73±0,34	16,8±0,1
	Min-Max	9,69-10,14	10,44-10,82	9,94-12,2	16,44-17,13
30	Ort-S.hata	9,94±0,06	9,34±0,04	9,33±0,03	14,78±0,73
	Min-Max	9,68-10,14	9,13-9,51	9,25-9,46	12,14-16,98
40	Ort-S.hata	9,91±0,07	9±0,03	9,03±0,02	10,67±0,16
	Min-Max	9,65-10,14	8,88-9,1	8,95-9,14	9,65-11,69
50	Ort-S.hata	9,63±0,09	8,89±0,04	8,94±0,02	9,82±0,09
	Min-Max	9,25-9,85	8,74-9	8,88-9,03	9,71-9,92
60	Ort-S.hata	9,27±0,05	8,91±0,06	8,94±0,02	9,32±0,03
	Min-Max	9,17-9,43	8,72-9,14	8,86-9,01	9,25-9,34
70	Ort-S.hata	9,09±0,04	8,89±0,04	8,97±0,02	9,09±0,02
	Min-Max	8,99-9,21	8,79-8,99	8,91-9	9,06-9,11
80	Ort-S.hata	8,97±0,03	8,92±0,03	8,98±0	
	Min-Max	8,9-9,03	8,87-8,97	8,98-8,99	



Şekil 5. Sıcaklığın istasyon ve derinlik bazlı değişimi



Şekil 6. Ortalama sıcaklığın mevsimsel değişimi

3.1.2. Çözünmüş Oksijen

Yüzey ölçümleri ayrı olarak incelendiğinde, Ç.O. değerleri 7,03–14,35 mg/L aralığında olup tüm mevsimler için yüzey ortalaması $9,42 \pm 0,35$ mg/L bulunmuştur.

Mevsimsel yüzey ortalamaları kış için $11,90 \pm 0,64$ mg/L, ilkbahar için $9,13 \pm 0,08$ mg/L, sonbahar için $9,32 \pm 0,14$ mg/L ve yaz için $7,33 \pm 0,10$ mg/L'dir (Şekil 8).

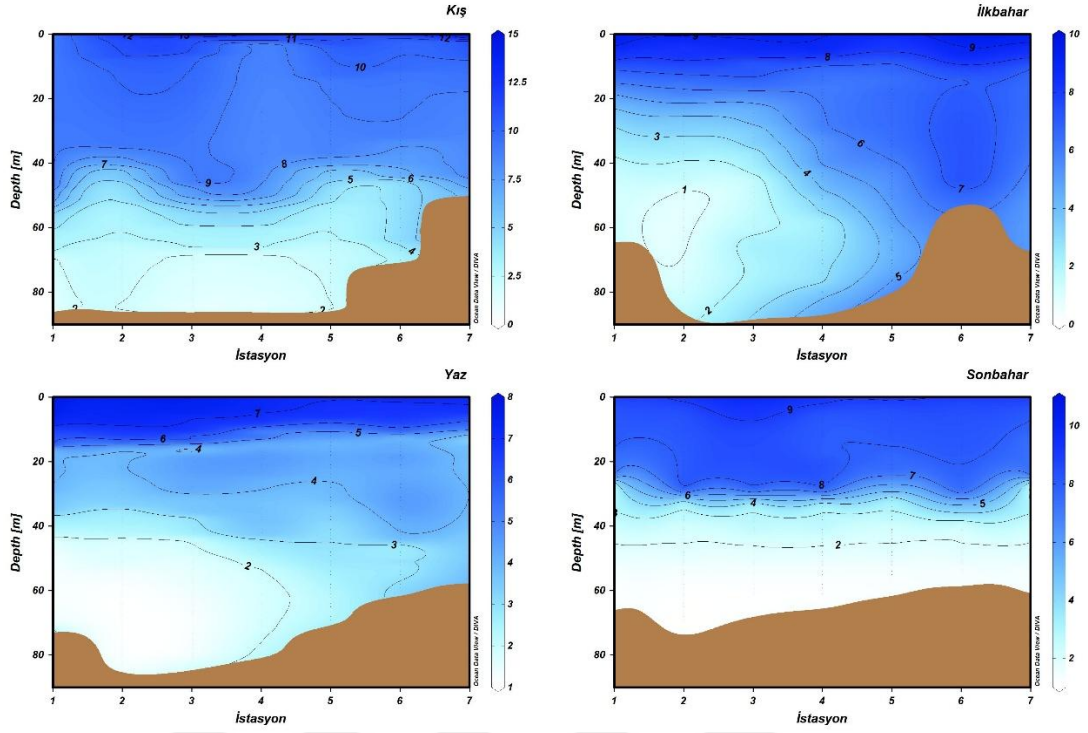
Mevsimsel dağılım incelendiğinde, en yüksek ortalama Ç.O. konsantrasyonu kış mevsiminde belirlenmiş ve 1,43–14,35 mg/L aralığında, ortalama $6,95 \pm 0,13$ mg/L olarak hesaplanmıştır. İlkbaharda Ç.O. 0,89–9,41 mg/L arasında değişmiş ve ortalama $5,01 \pm 0,11$ mg/L, sonbaharda ise 0,90–10,04 mg/L aralığında olup ortalama $5,10 \pm 0,15$ mg/L bulunmuştur. En düşük Ç.O. düzeyi yaz mevsiminde gözlenmiş; bu dönemde değerler 1,09–7,75 mg/L arasında değişmiş ve ortalama $3,63 \pm 0,08$ mg/L olarak belirlenmiştir (Tablo 7).

Dikey dağılım değerlendirildiğinde, 0–10 m aralığındaki sığ tabakada Ç.O. 5,20–14,35 mg/L arasında değişmiş ve ortalama $8,58 \pm 0,08$ mg/L ile iyi oksijenlenmiş koşullar gözlenmiştir. Orta derinliklerde Ç.O. 1,78–9,81 mg/L aralığında olup ortalama $5,76 \pm 0,10$ mg/L'ye düşmüştür. 50 m ve daha derinde ise değerler 0,87–7,66 mg/L arasında değişmiş ve ortalama $2,44 \pm 0,06$ mg/L olarak belirlenmiştir (Şekil 7).

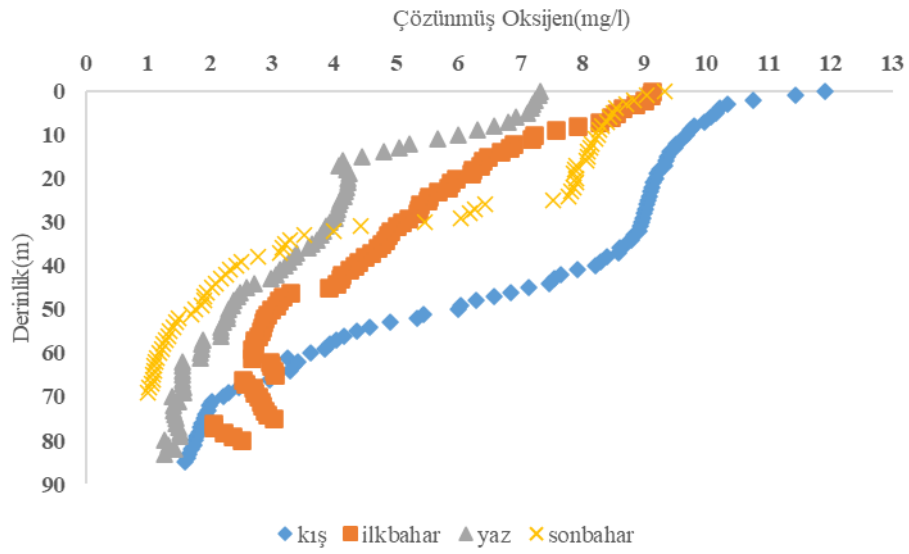
Tüm veri seti birlikte ele alındığında, çözünmüş oksijen değerleri 0,87–14,35 mg/L arasında değişmekte olup yıllık ortalama $5,20 \pm 0,07$ mg/L olarak hesaplanmıştır.

Tablo 7. Derinliğe bağlı mevsimsel ortalama çözünmüş oksijen değişimi

Derinlik (m)	Ç.O (mg/L)	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
0	Ort-S.hata	11,9±1,69	9,13±0,08	7,33±0,1	9,32±0,14
	Min-Max	9,24-14,35	8,79-9,41	7,03-7,75	8,96-10,04
10	Ort-S.hata	9,68±0,2	7,21±0,17	6,01±0,26	8,25±0,09
	Min-Max	8,73-10,31	6,64-7,9	5,2-6,81	7,89-8,67
20	Ort-S.hata	9,17±0,16	5,97±0,35	4,23±0,11	7,91±0,18
	Min-Max	8,57-9,81	4,49-7,14	3,82-4,55	7,36-8,45
30	Ort-S.hata	8,95±0,14	5,09±0,68	3,94±0,11	5,47±0,71
	Min-Max	8,49-9,41	2,76-7,3	3,59-4,49	2,93-6,93
40	Ort-S.hata	8,21±0,26	4,34±0,84	3,21±0,24	2,43±0,08
	Min-Max	7,52-9,07	1,78-7,28	2,5-4,1	2,3-2,75
50	Ort-S.hata	5,99±0,62	2,98±0,75	2,31±0,3	1,77±0,13
	Min-Max	4,23-7,66	0,94-5,29	1,33-3,51	1,55-1,97
60	Ort-S.hata	3,62±0,21	2,69±0,66	1,86±0,3	1,19±0,09
	Min-Max	3,06-4,44	0,89-5,1	1,15-3,18	1,06-1,35
70	Ort-S.hata	2,23±0,21	2,77±0,65	1,39±0,12	1,02±0,08
	Min-Max	1,84-3,26	1,03-4,47	1,09-1,85	0,9-1,15
80	Ort-S.hata	1,76±0,14	2,51±0,67	1,26±0,05	
	Min-Max	1,43-2,08	1,26-3,76	1,16-1,36	



Şekil 7. Çözünmüş oksijenin istasyon ve derinlik bazlı değişimi



Şekil 8. Ortalama çözünmüş oksijenin mevsimsel değişimi

3.1.3. pH

Tüm veri seti birlikte ele alındığında pH değerleri 7,19–8,89 arasında değişmiş, ortalama pH $7,92 \pm 0,01$ olarak hesaplanmıştır.

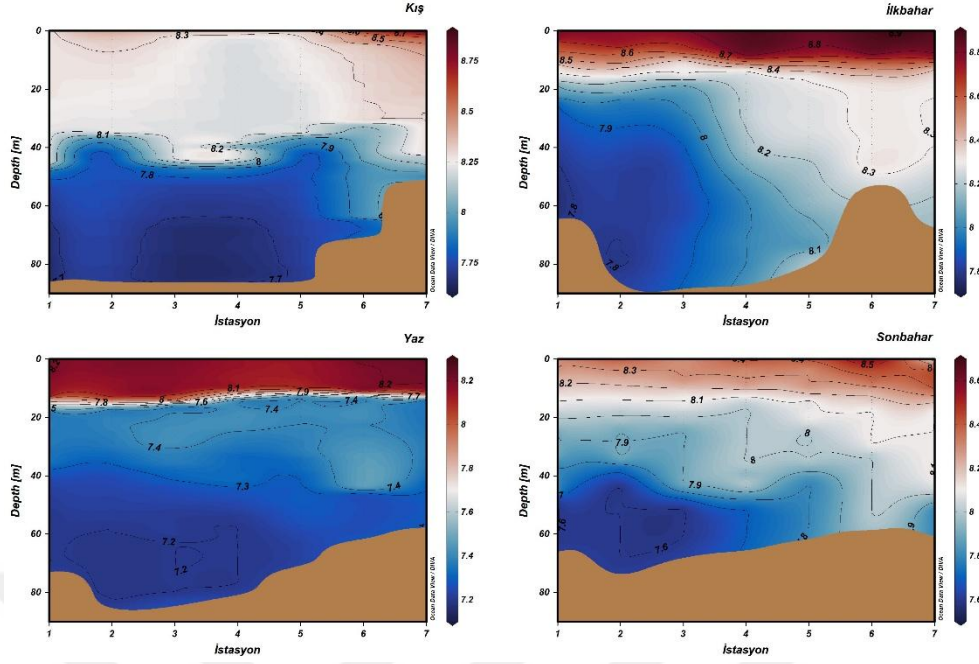
Mevsimsel ölçekte değerlendirildiğinde pH değerleri, tüm su kolonu dikkate alınarak ilkbaharda $8,20 \pm 0,01$ (7,77–8,89), kışın $8,05 \pm 0,01$ (7,66–8,65), sonbaharda $7,99 \pm 0,01$ (7,51–8,56) ve yaz döneminde $7,47 \pm 0,02$ (7,19–8,23) aralığında değişmiştir. Mevsimsel ortalamalar arasındaki fark yaklaşık 0,7 pH birimine kadar çıkmakta; en yüksek ortalama ilkbaharda, en düşük ortalama ise yaz döneminde gözlenmektedir (Tablo 8) (Şekil 9).

Dikey dağılım incelendiğinde, üst tabakada (0–10 m) pH 7,82–8,89 aralığında değişmiş ve ortalama $8,40 \pm 0,01$ olarak hesaplanmıştır. Orta derinliklerde (11–30 m) ortalama pH $8,02 \pm 0,01$, 31–60 m aralığında ise $7,78 \pm 0,01$ 'e gerilemektedir. Alt tabakada (≥ 60 m) pH 7,19–8,19 aralığında değişmiş, ortalama değer $7,61 \pm 0,02$ olarak bulunmuştur (Şekil 9).

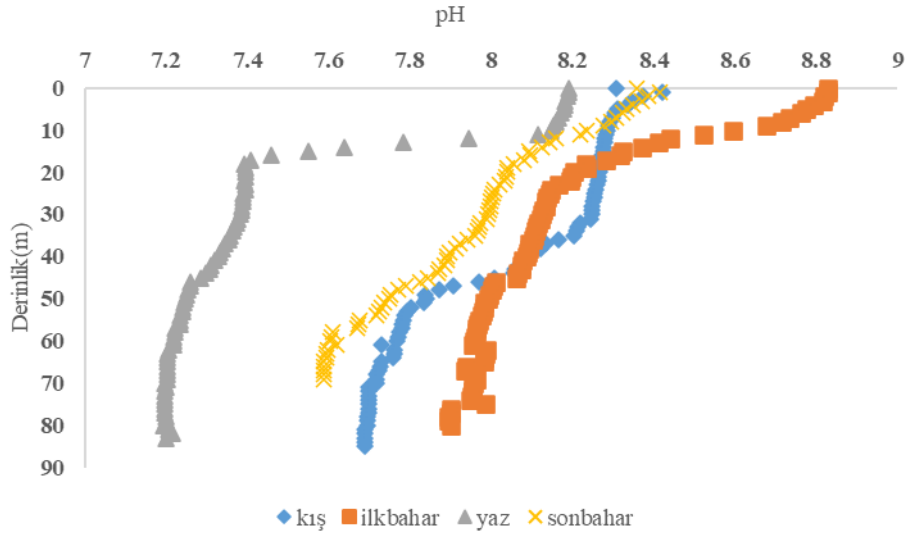
İstasyonlar arası karşılaştırmada, pH ortalamalarının 7,82–8,09 aralığında değiştiği görülmüştür. Üst havza istasyonlarında ortalama pH 7,86–7,94 civarında iken, aşağı havza istasyonlarında bu değerlerin 8,04–8,09 düzeyine yükseldiği hesaplanmıştır (Şekil 9).

Tablo 8. Derinliğe bağlı ortalama mevsimsel pH değişimi

Derinlik (m)	pH	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
0	Ort-S.hata	$8,64 \pm 0,09$	$8,89 \pm 0,02$	$8,23 \pm 0,01$	$8,55 \pm 0,05$
	Min-Max	7,82-8,65	8,76-8,89	8,15-8,23	8,13-8,56
10	Ort-S.hata	$8,29 \pm 0,02$	$8,6 \pm 0,04$	$8,15 \pm 0,01$	$8,24 \pm 0,02$
	Min-Max	8,21-8,39	8,45-8,69	8,09-8,18	8,15-8,33
20	Ort-S.hata	$8,27 \pm 0,02$	$8,2 \pm 0,04$	$7,39 \pm 0,01$	$8,04 \pm 0,02$
	Min-Max	8,21-8,34	8,07-8,32	7,35-7,42	7,97-8,13
30	Ort-S.hata	$8,25 \pm 0,01$	$8,12 \pm 0,07$	$7,38 \pm 0,01$	$7,99 \pm 0,04$
	Min-Max	8,21-8,3	7,87-8,32	7,35-7,44	7,87-8,11
40	Ort-S.hata	$8,08 \pm 0,06$	$8,09 \pm 0,08$	$7,33 \pm 0,03$	$7,89 \pm 0,05$
	Min-Max	7,89-8,29	7,82-8,31	7,26-7,47	7,69-8,1
50	Ort-S.hata	$7,84 \pm 0,03$	$7,99 \pm 0,07$	$7,25 \pm 0,01$	$7,75 \pm 0,05$
	Min-Max	7,78-7,95	7,78-8,24	7,21-7,29	7,61-7,95
60	Ort-S.hata	$7,77 \pm 0,03$	$7,96 \pm 0,07$	$7,22 \pm 0,01$	$7,6 \pm 0,02$
	Min-Max	7,71-7,95	7,77-8,19	7,2-7,27	7,56-7,66
70	Ort-S.hata	$7,72 \pm 0,02$	$7,96 \pm 0,05$	$7,2 \pm 0$	$7,59 \pm 0,06$
	Min-Max	7,67-7,82	7,8-8,07	7,19-7,2	7,51-7,65
80	Ort-S.hata	$7,7 \pm 0,02$	$7,9 \pm 0,05$	$7,2 \pm 0$	
	Min-Max	7,66-7,73	7,8-8	7,19-7,2	



Şekil 9. pH'ın istasyon ve derinlik bazlı değişimi



Şekil 10. Ortalama pH'ın mevsimsel değişimi

3.1.4. Elektriksel İletkenlik

Çalışma alanında tüm istasyonlar ve derinlikler birlikte değerlendirildiğinde elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 1544,1–3717,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında değişmiş, yıllık genel ortalama $2425,6 \pm 13,1 \mu\text{S}/\text{cm}$ olarak hesaplanmıştır.

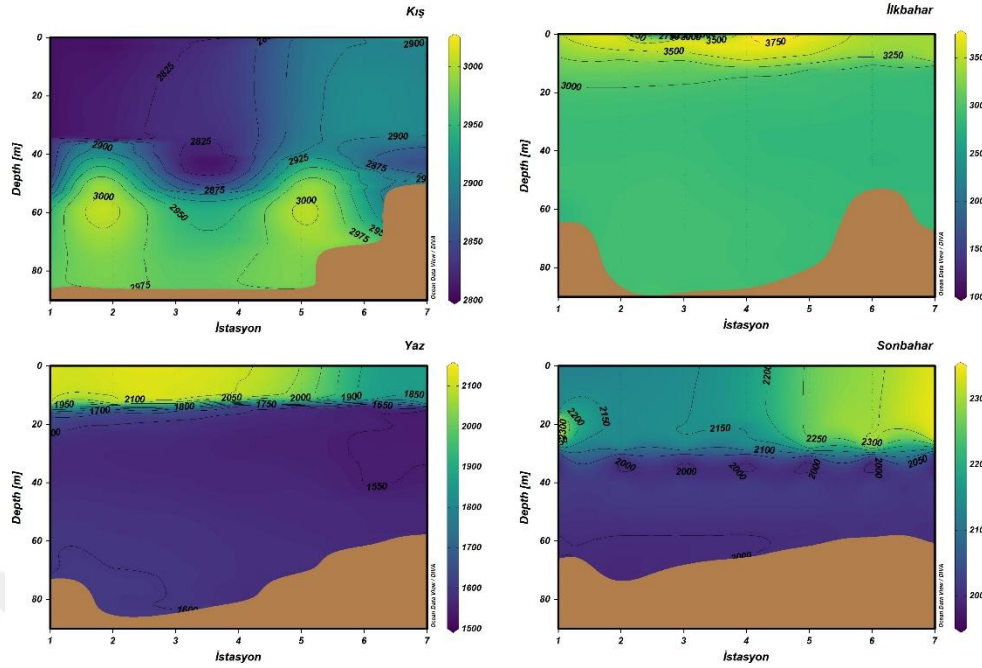
Mevsimsel ölçekte değerlendirildiğinde, iletkenlik değerlerinin en geniş aralık ve en yüksek ortalama ile ilkbaharda, en düşük ortalama iletkenlik düzeyleriyle ise yaz

döneminde görüldüğü belirlenmiştir. İlkbaharda EC 2799,2–3717,1 $\mu\text{S/cm}$ aralığında değişmiş, mevsim ortalaması $2982,6 \pm 10,7 \mu\text{S/cm}$ olarak bulunmuştur. Kış mevsiminde iletkenlik 2808–3004,6 $\mu\text{S/cm}$ aralığında daha dar bir bantta kalmış, ortalama $2896,5 \pm 2,7 \mu\text{S/cm}$ olarak hesaplanmıştır. Yaz döneminde EC değerleri 1544,1–2127,4 $\mu\text{S/cm}$ aralığına gerilemiş ve mevsim ortalaması $1666,1 \pm 8,1 \mu\text{S/cm}$ ile yıl içindeki en düşük ortalama iletkenlik düzeyini temsil etmiştir. Sonbaharda ise iletkenlik 1945,36–2342,50 $\mu\text{S/cm}$ aralığında değişmiş, ortalama $2111,4 \pm 5,8 \mu\text{S/cm}$ olarak bulunmuştur (Tablo 9).

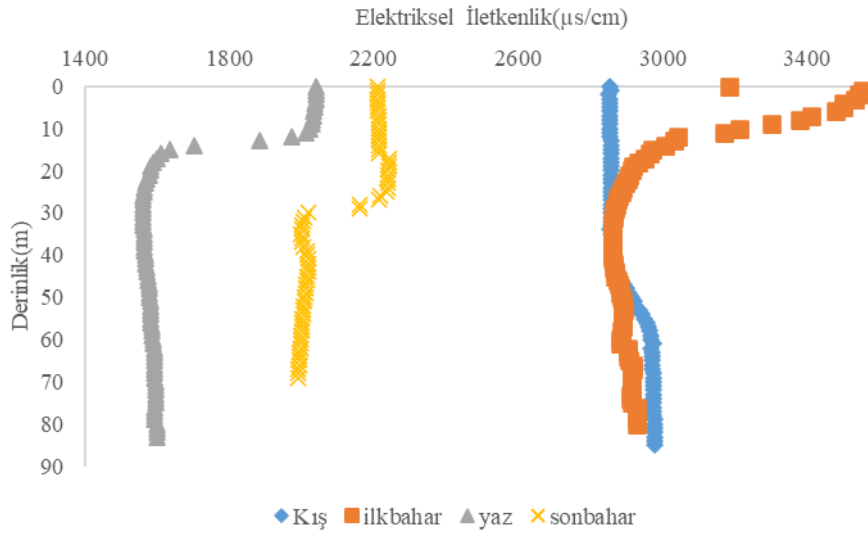
Dikey dağılım incelendiğinde, elektriksel iletkenlik değerlerinin su kolonu boyunca önce azalıp ardından yeniden arttığı belirlenmiştir (Şekil 11). Yüzeyde EC 1867,6–3717,1 $\mu\text{S/cm}$ aralığında değişmiş ve ortalama $2573,3 \pm 124,9 \mu\text{S/cm}$ ile en yüksek zamansal değişkenlik bu tabakada gözlenmiştir. İlk 10 m’de ortalama iletkenlik $2575,9 \pm 94,0 \mu\text{S/cm}$ iken, 20–50 m derinlikte değerler azalarak yaklaşık 2325,7–2326,8 $\mu\text{S/cm}$ düzeyine gerilemiş ve daha kararlı bir yapı göstermiştir. En alt kesimde, 85 m derinlikte EC 2971,0–2980,9 $\mu\text{S/cm}$ aralığında değişmiş ve ortalama $2976,0 \pm 2,9 \mu\text{S/cm}$ olarak belirlenmiştir (Şekil 12).

Tablo 9. Dikey profillerde mevsimsel ortalama elektriksel iletkenlik istatistikleri

Derinlik (m)	Cond ($\mu\text{S/cm}$)	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
0	Ort-S.hata	2855,06 $\pm$ 19,12	3684,94 $\pm$ 364,68	2042,31 $\pm$ 43,11	2210,84 $\pm$ 32,18
	Min-Max	2808,5-2936,1	3556,93-3717,1	1867,6-2127,4	2132-2340,4
10	Ort-S.hata	2854,3 $\pm$ 15,8	3213,49 $\pm$ 47,44	2022,66 $\pm$ 42,03	2213,26 $\pm$ 31,89
	Min-Max	2808,3-2904,7	3037,8-3436,6	1852,7-2112,9	2133,8-2342,4
20	Ort-S.hata	2856,31 $\pm$ 16,09	2912,91 $\pm$ 14,93	1581,23 $\pm$ 11,85	2239,83 $\pm$ 34,77
	Min-Max	2808-2908,9	2861,4-2957,1	1544,1-1637,5	2140,6-2342,5
30	Ort-S.hata	2856,44 $\pm$ 16,23	2865,31 $\pm$ 8,79	1561,2 $\pm$ 3,94	2019,7 $\pm$ 32,56
	Min-Max	2808-2909,3	2838,2-2892,8	1548,3-1573,4	2000-2108
40	Ort-S.hata	2863,54 $\pm$ 12,82	2861,14 $\pm$ 11,13	1567,01 $\pm$ 4,28	2016,4 $\pm$ 28,7
	Min-Max	2827,6-2903,6	2825,3-2895,1	1549,7-1578,6	1956-2065,3
50	Ort-S.hata	2912,2 $\pm$ 20,84	2884,55 $\pm$ 12,59	1580,57 $\pm$ 3,77	2009,7 $\pm$ 21,37
	Min-Max	2857,8-2985,2	2835,9-2919,5	1567,8-1593,2	1986,65-2062,36
60	Ort-S.hata	2966,78 $\pm$ 11,14	2882,68 $\pm$ 19,34	1588,23 $\pm$ 3,78	1998,4 $\pm$ 25,36
	Min-Max	2939,6-3004,6	2799,2-2930,4	1571,8-1598,3	1946,35-2062,35
70	Ort-S.hata	2973,95 $\pm$ 5,62	2914,2 $\pm$ 9,89	1596,38 $\pm$ 1,99	1990,59 $\pm$ 24,61
	Min-Max	2961-2991,2	2886,7-2938,8	1588,7-1600,5	1945,36-2036,35
80	Ort-S.hata	2975,95 $\pm$ 2,77	2928,95 $\pm$ 6,07	1600 $\pm$ 0,64	
	Min-Max	2969,5-2982,3	2917,6-2940,3	1598,8-1601,2	



Şekil 11. E. İletkenliğin istasyon ve derinlik bazlı değişimi

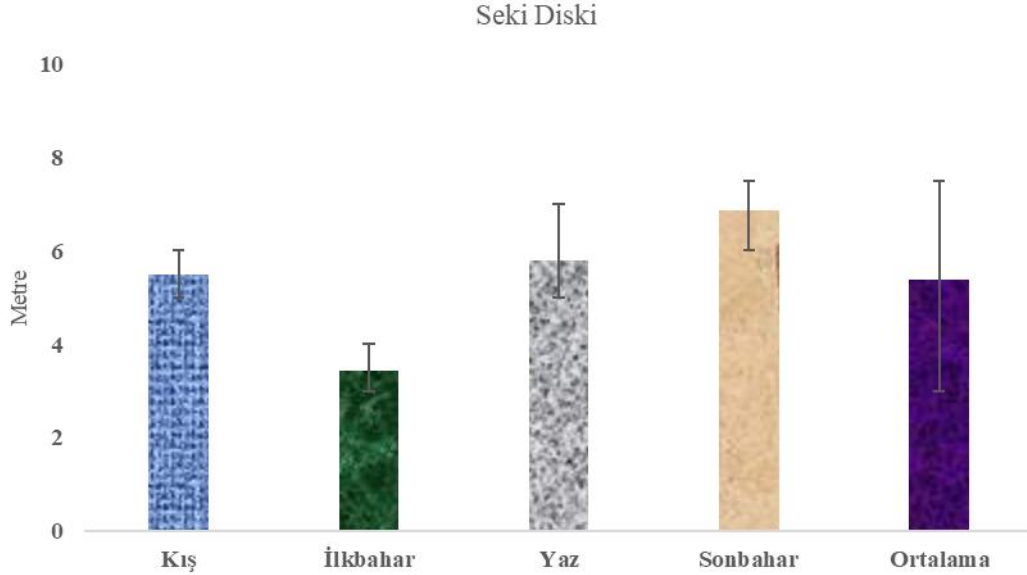


Şekil 12. Ortalama elektriksel iletkenliğin mevsimsel değişimi

3.1.5. Secchi Diski

Altinkaya Baraj Gölü'nde ışık geçirgenliğinin göstergesi olan Secchi diskini derinliği (SDD) mevsimsel ortalamalar bazında 3,0–7,5 m arasında değişmiş, tüm yıl için genel ortalama $5,39 \pm 0,72$ m olarak hesaplanmıştır. Kış döneminde SDD 5,0–6,0 m aralığında olup ortalama 5,5 m civarında gerçekleşmiş, İlkbaharda değerler 3,0–4,0 m aralığına gerileyerek ortalama 3,4 m ile yılın en düşük ışık geçirgenliğini

oluşturmuştur. Yaz mevsiminde Secchi derinliği 5,0–7,0 m arasında değişmiş ve ortalama 5,8 m'ye yükselmiş, Sonbaharda ise 6,0–7,5 m aralığında ölçülerek yaklaşık 6,9 m'lik ortalama ile yılın en yüksek berraklığına ulaşmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. Mevsimsel ve düşey dağılıma göre Secchi disk derinlikleri

3.2. Laboratuvar Analizleri

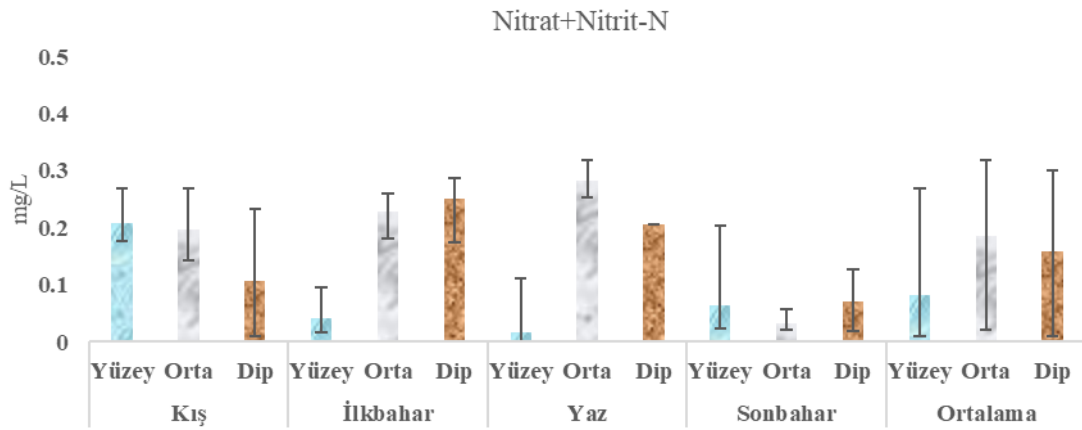
3.2.1. Nitrat-Nitrit Azotu

Çalışma alanında nitrat+nitrit azotu ($\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$) konsantrasyonları, dört mevsim ve üç derinlik (yüzey, orta, dip) birlikte değerlendirildiğinde 0,01–0,32 mg/L aralığında değişmiştir. En düşük değer dip tabakada 0,01 mg/L, en yüksek değer ise orta tabakada 0,32 mg/L olarak hesaplanmıştır. Mevsim $\times$ derinlik ortalamaları kullanılarak elde edilen genel ortalama $0,14 \pm 0,03$ mg/L'dir.

Dikey dağılım yüzey, orta ve dip tabakalar arasında belirgin bir değişim sergilemiştir. Mevsimsel ortalamalar yüzey tabakada, 0,02–0,21 mg/L aralığında değişmiş, yıllık ortalama $0,08 \pm 0,04$ mg/L, orta tabakada mevsimsel ortalamalar 0,04–0,28 mg/L arasında değişmiş, yıllık ortalama $0,19 \pm 0,05$ mg/L ve dip tabakada ise 0,07–0,25 mg/L aralığında değişim gözlenmiştir; yıllık ortalama $0,16 \pm 0,04$ mg/L'dir (Şekil 14).

Mevsimsel ölçekte değerlendirildiğinde su kolonu boyunca $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ ortalamaları kış, ilkbahar ve yaz aylarında birbirine yakın seyretmiştir. Kış

mevsiminde üç derinliğin ortalaması $0,17 \pm 0,03$ mg/L ($0,11-0,21$ mg/L) aralığında olup ilkbaharda $0,17 \pm 0,07$ mg/L ($0,04-0,25$ mg/L) aralığında; yaz mevsiminde ise $0,17 \pm 0,08$ mg/L ($0,02-0,28$ mg/L) aralığında olarak hesaplanmıştır. En düşük mevsimsel ortalamalar sonbaharda belirlenmiş; bu dönemde derinlikler boyunca $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ $0,03-0,07$ mg/L aralığında değişerek $0,06 \pm 0,01$ mg/L düzeyine gerilemiştir. Özellikle yaz döneminde yüzey tabakada ortalama $0,02$ mg/L'ye kadar düşen konsantrasyonlara karşılık orta tabakada $0,28$ mg/L'lik ulaşan değerler kaydedilmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. Derinliğe bağlı mevsimsel $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ konsantrasyonları değişimi

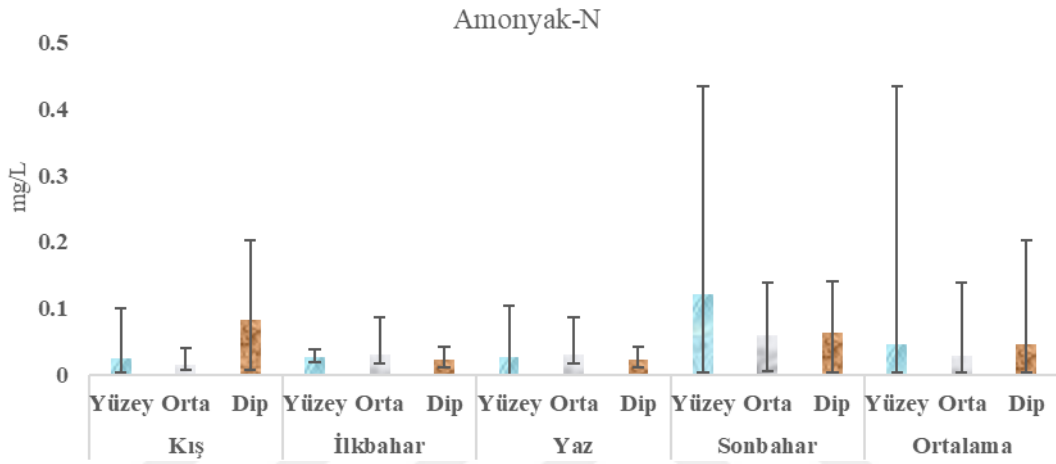
3.2.2. Amonyak

Altinkaya Baraj Gölü'nde yüzey, orta ve dip tabakada dört mevsim boyunca ölçülen $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları $0,002-0,434$ mg/L aralığında değişmiştir. Mevsim–derinlik ortalamalarının tümü birlikte değerlendirildiğinde genel ortalama NH_3 konsantrasyonu $0,043 \pm 0,009$ mg/L olarak hesaplanmıştır. Çalışma boyunca en düşük değer sonbahar yüzey örneklerinde $0,002$ mg/L, en yüksek değer ise yine sonbahar yüzeyinde $0,434$ mg/L olarak kaydedilmiştir (Şekil 15).

Mevsimsel desen incelendiğinde, NH_3 konsantrasyonlarının en düşük olduğu dönemlerin ilkbahar ve yaz olduğu görülmektedir. Bu mevsimlerde mevsimsel ortalama değer yaklaşık $0,026$ mg/L civarında hesaplanmış, alt gruplar bazında minimum değerler $0,011$ mg/L'ye kadar düşerken maksimum değerler $0,086$ mg/L düzeyinde kalmıştır. Kış mevsiminde ortalama NH_3 konsantrasyonu $0,040$ mg/L'ye yükselmiş, özellikle dip tabakada $0,203$ mg/L'ye ulaşan değerler tespit edilmiştir. Sonbaharda ise mevsimsel ortalama $0,081$ mg/L'ye çıkarak yıl içindeki en yüksek

mevsimsel ortalamayı oluşturmuş; yüzey tabakasında 0,002–0,434 mg/L gibi oldukça geniş bir değişim aralığı gözlenmiş ve çalışmanın mutlak maksimum değeri yine bu dönemde ölçülmüştür (Şekil 15).

Dikey dağılım dikkate alındığında, mevsimsel ortalamaların tümü üzerinden hesaplanan yıllık ortalama NH_3 konsantrasyonlarının yüzey tabakasında 0,045 mg/L, orta tabakada 0,028 mg/L, dip tabakada ise 0,045 mg/L olduğu görülmektedir.



Şekil 15. Derinliğe bağlı mevsimsel $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları değişimi

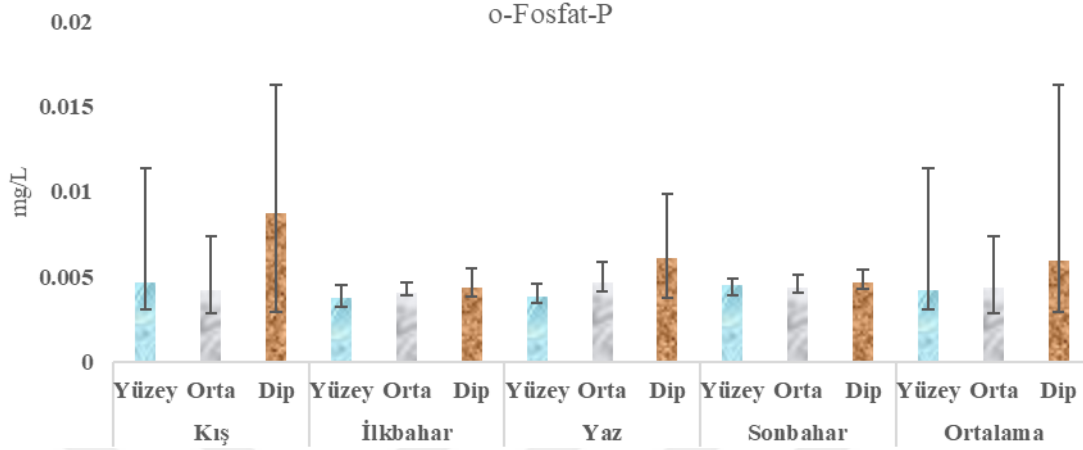
3.2.3. o-Fosfat

Altinkaya Baraj Gölü'nde ölçülen o-fosfat (mg/L)-P konsantrasyonları genel olarak çok düşük düzeylerde seyretmiş, tüm mevsim ve üç derinlik birlikte değerlendirildiğinde 0,003–0,016 mg/L-P aralığında değişmiştir (Şekil 16). Mevsim–derinlik ortalamaları üzerinden yapılan hesaplama göre genel ortalama $0,005 \pm 0,001$ mg/L-P bulunmuştur.

Mevsimsel ölçekte o-fosfat ortalamaları kışın $0,006 \pm 0,001$ mg/L-P, ilkbaharda $0,004 \pm 0,001$ mg/L-P, yazın $0,004 \pm 0,001$ mg/L-P ve sonbaharda $0,005 \pm 0,001$ mg/L-P olarak hesaplanmıştır. Böylece en düşük ortalama o-fosfat düzeyi ilkbaharda, en yüksek değer ise kış döneminde saptanmıştır. Maksimum o-fosfat konsantrasyonu 0,016 mg/L-P ile kış döneminde dip tabakada görülürken, minimum değer 0,003 mg/L-P ile ilkbahar yüzey suyunda kaydedilmiştir (Şekil 16).

Dikey dağılım incelendiğinde, mevsim ortalamalarına göre yıllık yüzey o-fosfat ortalaması $0,004 \pm 0,001$ mg/L-P, orta derinlik $0,004 \pm 0,001$ mg/L-P ve dip tabakası $0,006 \pm 0,001$ mg/L-P olarak hesaplanmıştır. Yüzey ve orta tabaka arasında

belirgin bir fark gözlenmezken, dip tabakasında ortalama değer daha yüksek bulunmuştur. Kış döneminde dipte ölçülen 0,009 mg/L-P'lik mevsimsel ortalama, aynı dönemde yüzeydeki 0,005 mg/L-P değerinin yaklaşık iki katına karşılık gelmektedir.



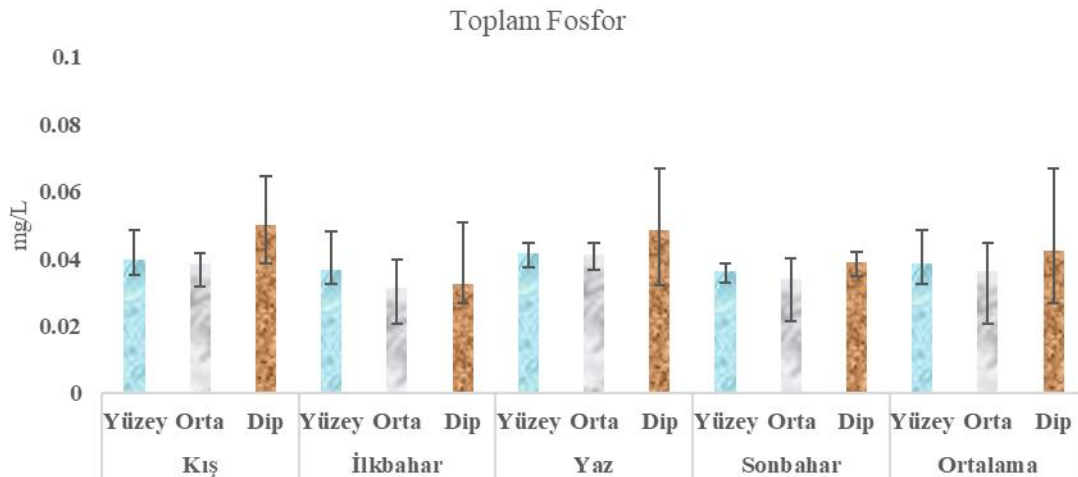
Şekil 16. Derinliğe bağlı mevsimsel PO₄-P konsantrasyonları değişimi

3.2.4. Toplam Fosfor

Altinkaya Baraj Gölü'nde dört mevsim ve üç derinlikte ölçülen TP konsantrasyonları 0,031–0,050 mg/L aralığında değişmiş, tüm veri seti için genel ortalama $0,039 \pm 0,002$ mg/L olarak hesaplanmıştır. En düşük TP değeri ilkbahar döneminde orta tabaka suyunda yaklaşık 0,031 mg/L, en yüksek değer ise kış döneminde dip sularında yaklaşık 0,050 mg/L olarak kaydedilmiştir (Şekil 17).

Mevsimsel ortalamalar incelendiğinde, TP kışta yaklaşık 0,043 mg/L, ilkbaharda 0,034 mg/L, yazın 0,044 mg/L ve sonbaharda 0,036 mg/L düzeyinde bulunmuştur. Buna göre en düşük mevsimsel ortalama ilkbahar dönemine, en yüksek ortalamalar ise kış ve yaz dönemlerine karşılık gelmektedir (Şekil 17).

Dikey dağılım derinlik bazında değerlendirildiğinde, yıllık ortalama TP konsantrasyonları yüzey suyunda 0,039 mg/L, orta tabakada 0,036 mg/L ve dipte 0,043 mg/L olarak hesaplanmıştır (Şekil 17).



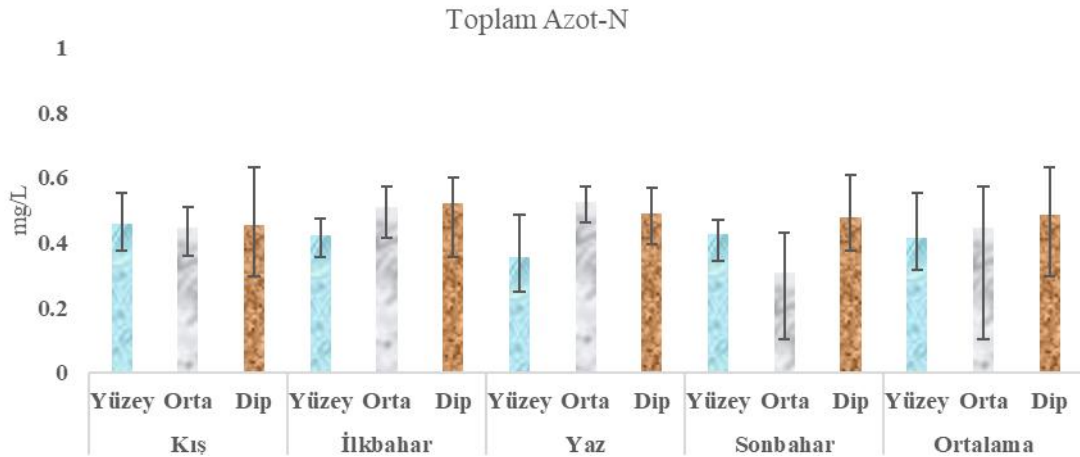
Şekil 17. Derinliğe bağlı mevsimsel TP konsantrasyonları değişimi

3.2.5. Toplam Azot

Altinkaya Baraj Gölü'nde dört mevsim ve üç derinlikte ölçülen TN konsantrasyonları 0,10–0,63 mg/L aralığında değişmiş, tüm veri seti için genel ortalama $0,45 \pm 0,02$ mg/L olarak hesaplanmıştır. En düşük değer sonbahar döneminde orta tabaka suyunda (0,10 mg/L), en yüksek değer ise kış döneminde dip suyu örneklerinde (0,63 mg/L) kaydedilmiştir (Şekil 18).

Dikey dağılım değerlendirildiğinde, yıllık bazda yüzey suyunda TN konsantrasyonları 0,32–0,56 mg/L aralığında değişmiş ve ortalama $0,42 \pm 0,02$ mg/L olarak hesaplanmıştır. Orta tabakada bu aralık 0,10–0,58 mg/L'ye genişlemekte ve ortalama değer $0,45 \pm 0,05$ mg/L'ye yükselmektedir. Dip sularında ise TN 0,30–0,63 mg/L arasında değişmiş ve $0,49 \pm 0,01$ mg/L'lik en yüksek yıllık ortalama gözlenmiştir (Şekil 18).

Mevsimsel ölçekte değerlendirildiğinde, TN'nin mevsimsel ortalamaları kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar için sırasıyla yaklaşık $0,45 \pm 0,01$; $0,49 \pm 0,03$; $0,46 \pm 0,05$ ve $0,41 \pm 0,05$ mg/L düzeyindedir. Özellikle ilkbahar ve yaz dönemlerinde yüzey ve orta tabakalarda artan TN düzeyleri, sonbaharda orta tabakada 0,10 mg/L'ye kadar gerileyen değerlerle yer değiştirmektedir (Şekil 18).



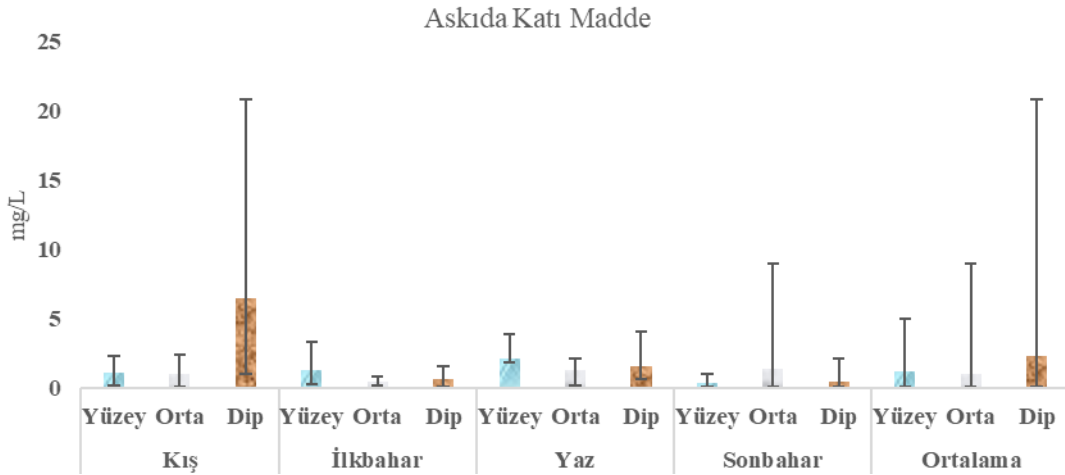
Şekil 18. Derinliğe bağlı mevsimsel TN konsantrasyonları değişimi

3.2.6. Askıda Katı Madde

Altinkaya Baraj Gölü'nde dört mevsim ve üç derinlikte ölçülen AKM konsantrasyonları 0,10–20,78 mg/L aralığında değişmiştir. Mevsim × derinlik ortalamaları üzerinden hesaplanan genel ortalama AKM değeri $1,55 \pm 0,47$ mg/L'dir (Şekil 19).

Mevsimsel açıdan değerlendirildiğinde, en yüksek ortalama AKM konsantrasyonu kış döneminde kaydedilmiş (2,89 mg/L), bunu yaz mevsimi (1,71 mg/L) izlemiştir; ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde ise ortalamalar sırasıyla 0,84 ve 0,78 mg/L düzeyinde kalmıştır. Kış mevsiminde özellikle dip suyunda ortalama 6,47 mg/L'ye ulaşan ve 20,78 mg/L maksimum değere çıkan AKM konsantrasyonları, su kolonunun alt kesimlerinde belirgin bir partikül birikimi ve/veya yeniden süspansiyon dinamiklerini işaret etmektedir (Şekil 19). Buna karşılık sonbahar döneminde tüm derinliklerde 0,10–9,00 mg/L aralığında değişen daha ılımlı AKM değerleri hesaplanmıştır.

Dikey dağılım incelendiğinde, yıllık ortalama AKM konsantrasyonları yüzey, orta ve dip sularında sırasıyla 1,27, 1,08 ve 2,31 mg/L olarak hesaplanmıştır. Minimum değerler tüm derinlik ve mevsimler için 0,10 mg/L düzeyine kadar düşerken, maksimum değer yüzey sularında 5,00 mg/L, orta tabakada 9,00 mg/L ve dipte 20,78 mg/L'ye ulaşmıştır (Şekil 19).



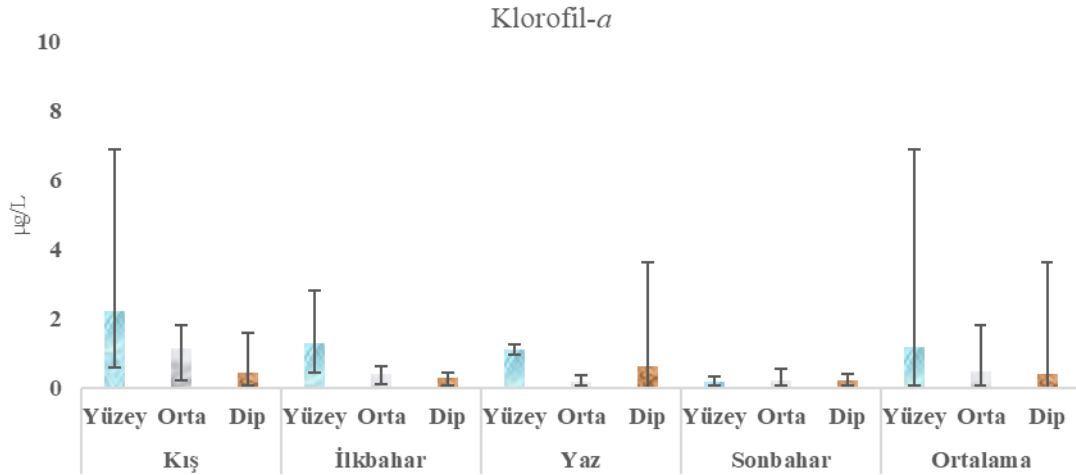
Şekil 19. Derinliğe bağlı mevsimsel AKM konsantrasyonları değişimi

3.2.7. Klorofil-*a*

Altinkaya Baraj Gölü'nde ölçülen klorofil-*a* konsantrasyonları tüm mevsimler ve üç derinlik birlikte değerlendirildiğinde 0,05–6,87 µg/L aralığında değişmiş, genel ortalama $0,70 \pm 0,18$ µg/L olarak hesaplanmıştır (Şekil 20). En yüksek klorofil-*a* değeri kış yüzey suyunda 6,87 µg/L ile kaydedilirken, bazı yaz ve sonbahar ölçümlerinde tespit sınırına yakın olacak şekilde 0,05–0,10 µg/L düzeyine kadar düşmüştür.

Mevsimsel ölçekte incelendiğinde, klorofil-*a* ortalamaları kış döneminde 1,28 µg/L ile en yüksek, sonbaharda ise 0,22 µg/L ile en düşük düzeyde gerçekleşmiştir (Şekil 20). İlkbahar (0,67 µg/L) ve yaz (0,64 µg/L) dönemlerinde ise benzer ve orta düzeyde değerler gözlenmiş, kışın belirginleşen artışın ardından özellikle sonbaharda fitoplankton biyokütlesinin belirgin şekilde baskılandığı görülmüştür. Kış döneminde klorofil-*a* konsantrasyonları yüzeyde 0,10–6,87 µg/L, ilkbaharda 0,10–2,83 µg/L, yazın 0,05–3,63 µg/L ve sonbaharda 0,10–0,58 µg/L aralığında değişmiştir.

Dikey dağılım dikkate alındığında, yıllık ortalama klorofil-*a* değerleri yüzeyde 1,20 µg/L, orta tabakada 0,49 µg/L ve dipte 0,41 µg/L olarak hesaplanmış; bu durum klorofil-*a*'nın ağırlıklı olarak iyi aydınlanan epilimnion tabakasında yoğunlaştığını göstermiştir (Şekil 20).

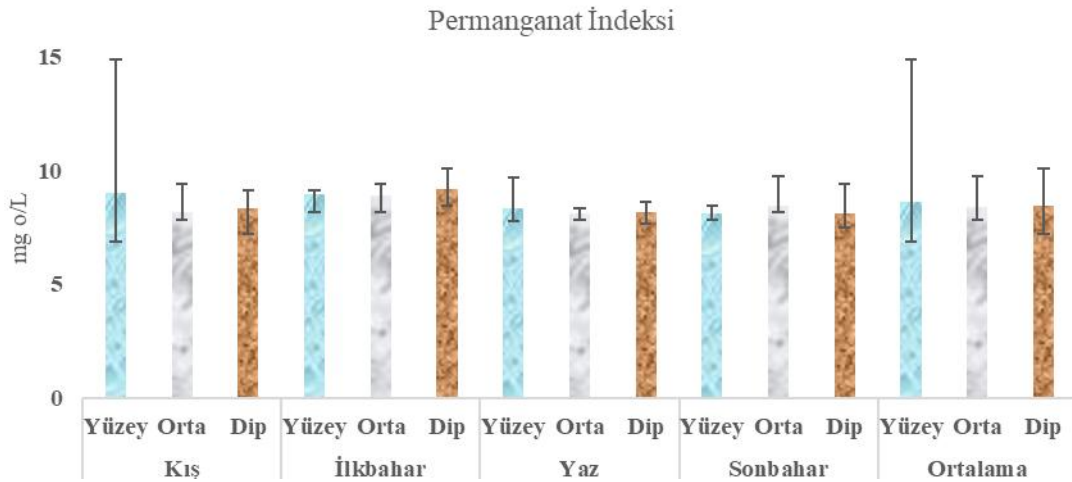


Şekil 20. Derinliğe bağlı mevsimsel klorofil-*a* konsantrasyonları değişimi

3.2.8. Organik Madde

Altinkaya Baraj Gölü'nde dört mevsim ve üç derinlikte ölçülen permanganat indeksi (organik madde) değerleri 6,88–14,88 mg O₂/L aralığında değişmiş, mevsim–derinlik ortalamalarının genel ortalaması $8,49 \pm 0,12$ mg O₂/L olarak hesaplanmıştır. Mevsimsel açıdan bakıldığında, en yüksek ortalama permanganat indeksi ilkbaharda (9,01 mg O₂/L) saptanmış; bunu kış (8,50 mg O₂/L) izlerken, yaz (8,22 mg O₂/L) ve sonbahar (8,24 mg O₂/L) dönemlerinde görece bir azalma gözlenmiştir.

Dikey dağılım değerlendirildiğinde, yıllık ortalama değerler yüzeyde 8,61 mg O₂/L, orta tabakada 8,42 mg O₂/L ve dipte 8,45 mg O₂/L olup, permanganat indeksinin belirgin bir tabakalaşma göstermediği, göl genelinde benzer düzeylerde seyrettiği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte kış yüzeyinde kaydedilen 14,88 mg O₂/L'lik maksimum değer ile ilkbahar dip suyunda hesaplanan 9,17 mg O₂/L'lik ortalama, dönemsel organik madde zenginleşmesine işaret etmektedir (Şekil 21).

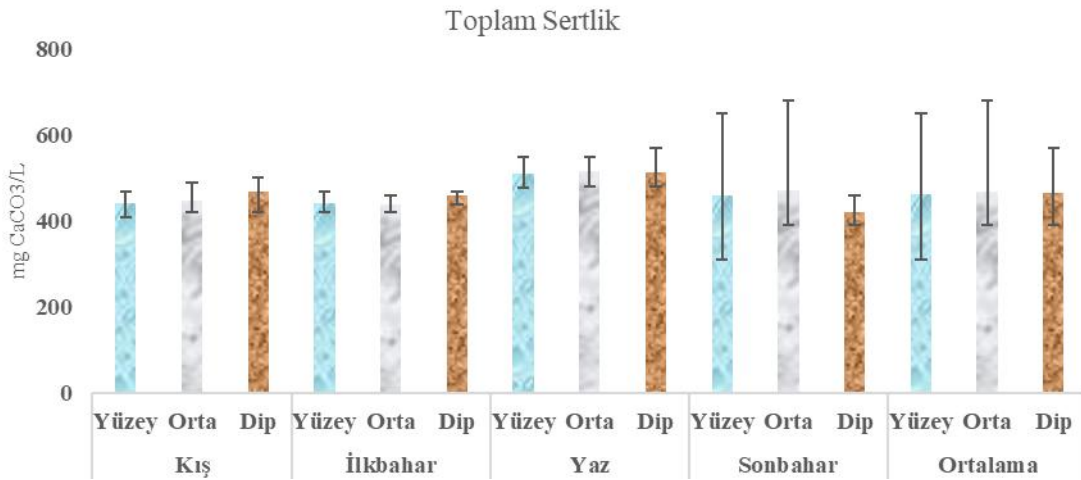


Şekil 21. Derinliğe bağlı mevsimsel permanganat indeksi konsantrasyonları değişimi

3.2.9. Toplam Sertlik

Altinkaya Baraj Gölü'nde dört mevsim ve üç derinlikte ölçülen toplam sertlik değerleri 310–680 mg/L CaCO_3 aralığında değişmiş, mevsim x derinlik ortalamalarının genel ortalaması $466,0 \pm 9,1$ mg/L CaCO_3 olarak hesaplanmıştır. Mevsimlik ortalamalar kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar için sırasıyla 453,1; 446,7; 512,9 ve 451,4 mg/L CaCO_3 olup, özellikle yaz döneminde tüm derinliklerde belirgin bir artış dikkati çekmektedir. Dikey dağılım, mevsimsel ortalama değerlere göre yüzey, orta ve dip suları için sırasıyla 463,6; 469,3 ve 465,2 mg/L CaCO_3 ile oldukça sınırlı bir gradyan sergilemekte, dikey dağılımda gradyan sınırlı olup değerler birbirine oldukça yakındır (Şekil 22).

En düşük gözlem 310 mg/L ile sonbahar yüzey suyunda, en yüksek değer ise yine sonbahar döneminde orta tabaka suyunda 680 mg/L olarak kaydedilmiştir. Yaz mevsiminde yüzey ve orta tabaka toplam sertlik ortalamaları sırasıyla 510,0 ve 515,7 mg/L CaCO_3 'ye ulaşırken, dipte 512,9 mg/L düzeyinde seyretmiştir (Şekil 22). İlkbahar ve kış mevsimlerinde ise toplam sertlik genellikle 440–470 mg/L CaCO_3 bandında kalmıştır.



Şekil 22. Derinliğe bağlı mevsimsel toplam sertlik konsantrasyonları değişimi

3.3. TR-BMWP (Biological Monitoring Working Party) İndeksinin Hesaplanması

Baraj Göllerinin su kalitesinin ideal değerlendirilmesinde biyolojik, kimyasal, fiziksel ve hidrolojik verilerin birlikte kullanılması önerilir. Bunun temel nedeni, su kalitesindeki değişimlerin canlı topluluk yapısını doğrudan etkilemesi ve biyolojik ölçümlerin bu etkileri “zaman içinde biriken” biçimde yansıtabilmesidir (Kazancı vd., 2016).

Bu bağlamda BMWP(Biological Monitoring Working Party), akarsu ekosistemlerinde su kalitesini değerlendirmek için kullanılan en yaygın biyotik indekslerden biri olarak tanımlanır (Kazancı vd., 2016). BMWP Büyük Britanya’da geliştirilmiştir (Armitage vd., 1983) ve daha sonra birçok ülke tarafından kendi bentik makroomurgasız faunasına uyarlanarak kullanılagelmiştir (Kazancı vd., 2016).

BMWP ve ASPT (Average Score Per Taxon) indeksleri, makroomurgasızların kirliliğe duyarlılığı temeline dayanır. BMWP’de her bir aile için 1–10 arasında bir tolerans/duyarlılık puanı vardır ve örneklemede saptanan ailelerin puanları toplanarak istasyonun BMWP skoru elde edilir. BMWP toplam değeri 100’e yaklaştıkça kirlilik düzeyinin azaldığı ifade edilir (Baytaşoğlu & Gözler, 2021).

BMWP’ye ek olarak ASPT, BMWP skorunun örnekleme noktasında belirlenen toplam aile sayısına bölünmesiyle hesaplanır ve topluluktaki taksonların ortalama toleransını verir (Baytaşoğlu & Gözler, 2021). ASPT’ye göre örnek bir yorumlama şu

şekilde verilmiştir: <4 çok kirli, 4–5 orta kirli, 5–6 şüpheli, >6 temiz (Armitage vd., 1983; Baytaşoğlu & Gözler, 2021).

BMWP her ne kadar geniş ölçekte kullanılan bir yaklaşım olsa da indeksin güvenilirliği için puanlama sisteminin yerel bentik makroomurgasız faunasına dayalı olması gerekir. Bu nedenle Türkiye için, Türkiye'nin akarsu faunasına özgü bir biyotik indeks geliştirilmesinin akarsu su kalitesi durumunun değerlendirilmesinde kritik olduğu vurgulanmıştır (Kazancı vd., 2016).

Kazancı vd. (2016), Türkiye'ye özgü yeni bir biyotik indeks olarak TR-BMWP (Turkish-BMWP)'yi; Türkiye'nin akarsu ekosistemlerinde bulunan bentik makroomurgasız faunasına dayanarak geliştirdiklerini belirtir.

TR-BMWP'nin en temel özelliği, Türkiye taban büyük omurgasız faunasında yer alan 142 familyadan oluşmasıdır (Kazancı vd., 2016).

Bu kapsamda Altinkaya Baraj Gölü'nde biyolojik indeks uygulamalarına yönelik örneklemeler, dört mevsimi temsil edecek şekilde planlanmış ve göl genelinde belirlenen yedi istasyonda yürütülmüştür. İstasyonlarda sediment ve bentik organizma örneklemeleri Van Veen grab ile üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Toplanan materyal eleme düzeneğinden geçirilmiş, ardından örnekler %70 etil alkol ile muhafaza edilerek laboratuvara taşınmıştır. Laboratuvarda örnekler stereomikroskop ve lup altında, küçük bireyler ise binoküler mikroskop altında incelenmiş ve organizmalar familya düzeyinde teşhis edilmiştir (Tablo 10).

Tablo 10. Altinkaya Baraj Gölü'nde bentik makroomurgasız türlerinin mevsim ve istasyonlara göre birey sayılar

Mevsim	Tür	Familiya	İst1	İst2	İst3	İst4	İst5	İst6	İst7	Toplam
Kış	<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	Dreissenidae	0	84	0	0	0	0	6	90
Kış	<i>Asellus aquaticus</i> (Linnaeus, 1758)	Asellidae	0	1	0	0	0	0	0	1
Kış	<i>Theodoxus fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758)	Neritidae	3	4	0	0	0	0	0	7
Kış	<i>Chaetogammarus ischnus</i> (Stebbing, 1899)	Gammaridae	31	38	0	0	0	0	0	69
İlkbahar	<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	Dreissenidae	22	27	2	0	14	10	22	97
İlkbahar	<i>Asellus aquaticus</i> (Linnaeus, 1758)	Asellidae	0	0	0	0	0	0	6	6
İlkbahar	<i>Theodoxus fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758)	Neritidae	0	0	0	0	5	0	0	5
İlkbahar	<i>Chaetogammarus olivii</i> (H. Milne Edwards, 1830)	Gammaridae	0	0	0	0	0	0	2	2

Tablo 10 (Devam). Altinkaya Baraj Gölü’nde bentik makroomurgasız türlerinin mevsim ve istasyonlara göre birey sayılar

İlkbahar	<i>Bithynia tentaculata</i> (Linnaeus, 1758)	Bithyniidae	0	0	0	0	0	0	1	1
İlkbahar	<i>Radix peregra</i> (O.F.Müller, 1774)	Lymnaeidae	0	0	0	0	0	0	1	1
Yaz	<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	Dreissenidae	0	0	0	0	40	0	36	76
Yaz	<i>Asellus aquaticus</i> (Linnaeus, 1758)	Asellidae	0	0	0	0	0	0	1	1
Yaz	<i>Theodoxus fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758)	Neritidae	0	0	0	0	0	0	1	1
Yaz	<i>Chaetogammarus ischnus</i> (Stebbing, 1899)	Gammaridae	0	0	53	0	0	0	28	81
Yaz	<i>Physella acuta</i> (Draparnaud, 1805)	Physidae	1	0	0	0	0	0	0	1
Yaz	<i>Radix peregra</i> (O.F.Müller, 1774)	Lymnaeidae	1	0	0	0	0	0	1	2
Yaz	<i>Planorbis planorbis</i> (Linnaeus, 1758)	Planorbidae	0	0	0	0	0	0	1	1
Sonbahar	<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	Dreissenidae	11	0	4	16	14	13	6	64
Sonbahar	<i>Asellus aquaticus</i> (Linnaeus, 1758)	Asellidae	0	1	0	0	0	0	0	1
Sonbahar	<i>Theodoxus fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758)	Neritidae	3	4	0	0	6	0	0	13
Sonbahar	<i>Libellulidae sp.1..</i>	Libellulidae	0	0	0	0	1	0	0	1
Sonbahar	<i>Dina sp.</i>	Erpobdellidae	0	0	0	0	1	0	0	1
Sonbahar	<i>Chaetogammarus ischnus</i> (Stebbing, 1899)	Gammaridae	13	0	0	0	31	0	0	44

Tabloda tür düzeyinde bolluklar verilmiştir. TR-BMWP hesaplamalarında familya düzeyi esas alınmış, aynı familyaya ait birden fazla türün bulunması durumunda ilgili familya istasyonda tek kez değerlendirilmiştir. “0” değeri ilgili mevsim–istasyon kombinasyonunda ilgili türün tespit edilmediğini göstermektedir.

Tablo 11. Altinkaya Baraj Gölü’nde tespit edilen bentik makroomurgasız familyaları ve TR-BMWP duyarlılık puanları (Kazancı vd., 2016).

Familya	TR-BMWP Puanı
Asellidae	3
Bithyniidae	3
Dreissenidae	3
Erpobdellidae	2
Gammaridae	5
Libellulidae	7
Lymnaeidae	3
Neritidae	6
Physidae	3
Planorbidae	2

Altinkaya Baraj Gölü'nde teşhis edilen familyalara, Türkiye akarsu faunasına göre geliştirilmiş TR-BMWP (Turkish-BMWP) biyotik indeksinde tanımlanan duyarlılık puanları atanmıştır (Kazancı vd., 2016).

TR-BMWP yaklaşımında her familya için 1–10 aralığında bir puan tanımlanmakta ve örneklerde belirlenen familyaların puanları kullanılarak istasyon bazında biyotik skor hesaplanmaktadır (Tablo 11).

Tablo 12. Altinkaya Baraj Gölü'nde istasyon ve mevsimlere göre TR-BMWP ve TR-ASPT puanları

Mevsim	İstasyon	TR-BMWP	TR-ASPT	Familya Sayısı (N)
Kış	1	11	5,5	2
Kış	2	17	4,25	4
Kış	3	0		0
Kış	4	0		0
Kış	5	0		0
Kış	6	0		0
Kış	7	3	3	1
İlkbahar	1	3	3	1
İlkbahar	2	3	3	1
İlkbahar	3	3	3	1
İlkbahar	4	0		0
İlkbahar	5	9	4,5	2
İlkbahar	6	3	3	1
İlkbahar	7	17	3,4	5
Yaz	1	6	3	2
Yaz	2	0		0
Yaz	3	5	5	1
Yaz	4	0		0
Yaz	5	3	3	1
Yaz	6	0		0
Yaz	7	22	3,6	6
Sonbahar	1	14	4,6	3
Sonbahar	2	9	4,5	2
Sonbahar	3	3	3	1
Sonbahar	4	3	3	1
Sonbahar	5	23	4,6	5
Sonbahar	6	3	3	1
Sonbahar	7	3	3	1

TR-BMWP, her istasyonda belirlenen familyaların TR-BMWP puanlarının toplamı olarak hesaplanmıştır (Tablo 12) (Kazancı vd., 2016). TR-ASPT (Average

Score Per Taxon), TR-BMWP skorunun tespit edilen toplam familya sayısına (N) bölünmesiyle elde edilmiştir (Armitage vd., 1983). Familya tespit edilmeyen örneklerde (N=0) TR-ASPT hesaplanamadığı için boş bırakılmıştır; “0” değeri ilgili mevsim-istasyon kombinasyonunda indekse dahil edilecek familya bulunmadığını göstermektedir.

ASPT (Average Score Per Taxon; “takson başına ortalama puan”), BMWP yaklaşımında elde edilen toplam biyotik skorun (BMWP) örnekleme noktasında tespit edilen toplam familya sayısına bölünmesiyle hesaplanan normalize bir indekstir (Tablo 12). ASPT, topluluktaki taksonların (familyaların) ortalama tolerans/duyarlılık düzeyini yansıtır; yani “toplam skor” yerine, örnekteki familyaların ortalama kalite sinyalini verir (Baytaşoğlu & Gözler, 2021).

3.4. Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması

Taşıma kapasitesinin tahmininde; su kütlesindeki TP konsantrasyonu ile ilgili Vollenweider’ın 1968’de geliştirdiği, Dillon ve Rigler (1974) tarafından su yenilenme süresi ve giren fosfor ile sedimentte tutulan fosfor ilişkilendirilerek oluşturduğu fosfor yüklenmesi modeli kullanılmıştır. Modelin hesaplanmasında birkaç değişken dikkate alınmış ve farklı koşullarda taşıma kapasitesinin durumu değerlendirilmiştir (Tablo 10).

Taşıma kapasitesinin hesaplanmasında kabul edilebilir fosfor değerinin (Pf) 60 mg/m³ olarak alınması önerilmektedir (Dillon ve Rigler, 1974). Baraj gölünün ekolojik bütünlüğünün bozulmaması, gölün oligotrofik-mezotrofik (yönetmelik tablosun atıf) özelliklere sahip olması dikkate alınarak, alt sınırının belirlenmesinde 50 mg/m³ olarak kullanılmıştır.

Yemdeki fosforun sedimente çökme oranı %45-55 arası bildirilmiştir. Bu nedenle RB değeri hesaplanırken fosforun çökme oranı (x) ortalama 0,50 olarak kullanılmıştır. Balıkta tutulan fosfor miktarının alabalıklar için %0,48 oranda olduğu Beveridge, 2008 tarafından bildirilmiştir. Bu sebeple hesaplamalar yapılırken bu oran 4.8 kg ton⁻¹ olarak kabul edilmiştir. Diğer önemli değişken kullanılacak yemlerin fosfor içeriğidir. Avrupa ülkelerinde yüksek enerjili yemler kullanılmakta olup bu yemlerin fosfor içeriği %0,9 ile %1,2 arasında değişmektedir (Alvarado, 1997). Ancak

yapılan saha ziyaretlerinde incelenen yemlerin fosfor içeriği %1,5 olarak tespit edilmiştir.

Yem Dönüşüm Oranı (FCR), iştah ve lezzetlilik (dolayısıyla yiyeceğin tüketilme miktarı), sindirilebilirlik, besin ihtiyaçları ve balık metabolizması gibi birçok faktör tarafından belirlenir. Besin maddeleri, besleme programı, tür, balık büyüklüğü, su sıcaklığı ve oksijen seviyesi de FCR'ı etkiler. Baraj gölünde kaydedilen yem dönüşüm oranları tesisten tesise ve üretim protokolüne bağlı olarak değişmektedir. Bunun sonucunda FCR ortalama 1,30 olarak değerlendirilmiştir.

Devlet Su İşleri 7. Bölge Müdürlüğü 2024 yılı aylık çıkış akımlarına göre baraj gölünden çıkan su miktarı en yüksek $288 \times 10^6 \text{ m}^3$ ile ağustos ayında, en düşük ise $101 \times 10^6 \text{ m}^3$ ile nisan ayında ölçülmüştür. Ortalama yıllık çıkış akım değerinin ise $168 \times 10^6 \text{ m}^3$ olduğu bildirilmiştir. Taşıma kapasitesi belirlenirken, çıkan su hacminin hesaplanmasında baraj gölünden çıkan en düşük aylık su miktarı temel alınmıştır. En düşük aylık su miktarı, yıllık miktara ($101,4 \times 10^6 \text{ m}^3 \times 12$) çevrilmiştir.

Tablo 13. Altinkaya Baraj Gölü'nde taşıma kapasitesi hesaplamasında kullanılan model girdileri

Parametre	Sembol	Değer
Göl Alanı (m^2)	A	$118,31 \times 10^6$
Göl Hacmi (m^3)	V	4820×10^6
Çıkan Su Hacmi ($\text{m}^3/\text{yıl}$)	Q	$1216,8 \times 10^6$
Ortalama Derinlik (m)	$Z = V/A$	40,74
Yenilenme Süresi (1/yıl)	$\rho = Q/V$	0,25
Fosfor Tutulma Katsayısı (R)	$R = 1/(1 + 0,515 \rho^{0,551})$	0,81
Balıkçılık İçin Sedimentte Fosfor Tutulma Oranı	$R_B = x + [(1 - x) R]$	0,90
Fosfor Yükleme Modeli	$L_B = \Delta[P] \cdot Z \cdot \rho \cdot A / (1 - R_B) \cdot 10^6 \cdot P_{\text{çevre}}$	105,8

R_B : Entansif balık yetiştiriciliğinden kaynaklanan fosforun sedimentte tutulan kısmı

L_B : Entansif balık yetiştiriciliği için baraj gölünün taşıma kapasitesi ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{yıl}$)

$P_{i(\text{ort})}$: Ölçülen ortalama TP: $0,049 \text{ mg}/\text{l} = 49 \text{ mg}/\text{m}^3$

$P_{\text{çevre}} = P_{\text{yem}} - P_{\text{balık}} = 19,50 - 4,80 = 14,70 \text{ kg P/ton balık}$ (FCR: $1,30 \pm 0,15$)

x: Sedimente çöken fosfor oranı 0,50 (0,45-0,55)

Fosfor yüklenmesi (mg/m^3) = $\Delta[P]$ (kabul edilebilir maksimum fosfor konsantrasyonu $[P_f]$ ile kafes kültüründen önceki ölçülen fosfor konsantrasyonu $[P_i]$ arasındaki fark) $\Delta [P] = [P_f] - [P_i] = 50 - 49 = 1$

Kabul edilebilir fosfor konsantrasyonu oligotrofik yapıdan hipertrofik doğru $30 \text{ mg}/\text{m}^3$ ile $60 \text{ mg}/\text{m}^3$ olarak varsayılmaktadır. Altinkaya Baraj Gölü'nün yapısı ağırlıklı mezotrofik olması nedeniyle $50 \text{ mg}/\text{l}$ varsayılmıştır. Taşıma kapasitesi tahmini: $851,87 \text{ ton}/\text{yıl}$ 'dır.

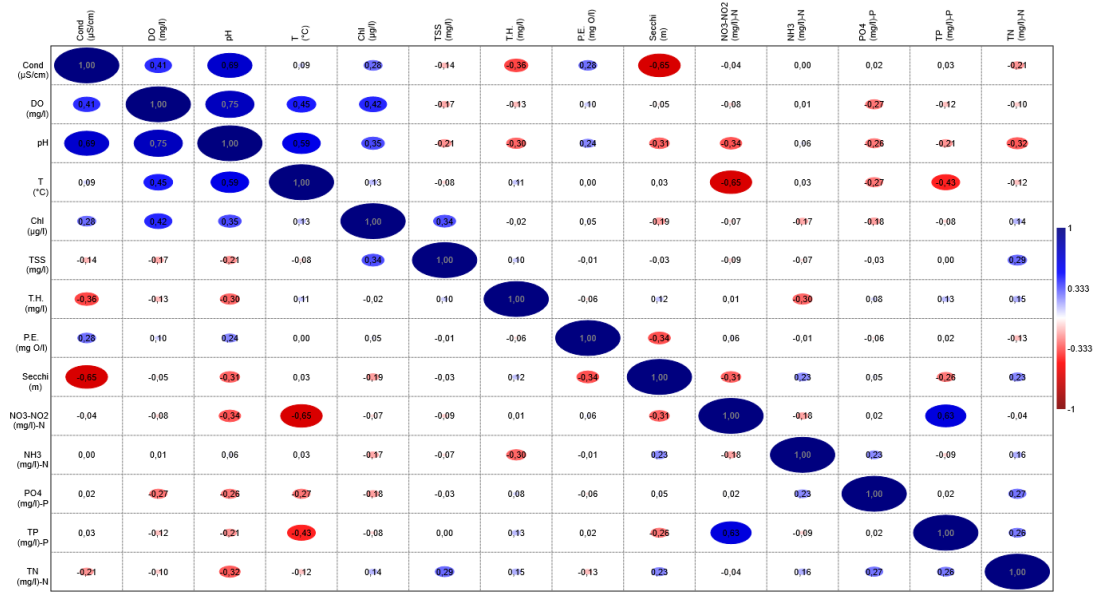
3.5. İstatistik Analizler

Çalışmada uygulanan iki yönlü ANOVA, su kalitesi parametreleri için mevsim-istasyon ve mevsim-derinlik modellerinde anlamlılık durumunu ortaya koymuştur. Mevsim-istasyon modelinde incelenen parametrelerin büyük çoğunluğunda mevsim ana etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (çoğunda $p < 0,05-0,001$). Buna karşılık istasyon ana etkisi ve Mevsim×İstasyon etkileşim terimi için p değerleri tüm parametrelerde 0,05'in üzerinde kalmış, yani istasyon faktörü ve etkileşim terimi açısından anlamlı bir fark saptanmamıştır. Örneğin çözünmüş oksijen, pH, klorofil-*a*, toplam sertlik, permanganat indeksi, $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$, NH_3 , TN ve TP için mevsimler arasında anlamlı farklar ($p < 0,05$) elde edilirken, aynı parametrelerde istasyon ve Mevsim×İstasyon terimleri için anlamlılık düzeyi $p > 0,05$ olarak hesaplanmıştır.

Mevsim-derinlik modelinde ise çözünmüş oksijen, pH, sıcaklık, $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$, TN ve TP gibi parametrelerde hem mevsim hem de derinlik ana etkileri yüksek F istatistikleri ve çok düşük p değerleriyle (çoğunlukla $p < 0,001$) anlamlı bulunmuştur. Sıcaklık, iletkenlik, çözünmüş oksijen, $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$, o-fosfat ve TN için Mevsim×Derinlik etkileşim terimi de istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,05$). Buna karşılık bazı parametrelerde (örneğin organik madde, permanganat indeksi ve bazı iyon/sertlik bileşenleri) derinlik ana etkisi veya Mevsim×Derinlik etkileşim terimi için $p > 0,05$ olup, bu değişkenlerde yalnızca mevsim ana etkisinin anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Korelasyon matrisi, baraj gölündeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler arasındaki ilişkilerde r değerlerinin yaklaşık -0,65 ile 0,75 aralığında dağıldığını göstermektedir. İletkenlik ile pH ($r=0,69$) ve çözünmüş oksijen (ÇO; $r=0,41$) arasında pozitif; iletkenlik ile Secchi derinliği arasında ise negatif korelasyon ($r=-0,65$) saptanmıştır. ÇO-pH ($r=0,75$), pH-sıcaklık ($r=0,59$) ve ÇO-sıcaklık ($r=0,45$) çiftleri de pozitif korelasyonlar vermiştir. Klorofil-*a*, ÇO ($r=0,42$) ve toplam AKM (TSS; $r=0,34$) ile pozitif; Secchi derinliği ise klorofil-*a* ($r=-0,19$) ve TSS ($r=-0,03$) ile negatif korelasyon göstermiştir. Toplam sertlik, $\text{NH}_3\text{-N}$ ile pozitif ilişkili bulunmuştur ($r=-0,30$). Besin tuzları açısından sıcaklık ile $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ arasında $r=-0,65$; sıcaklık ile TP ve $\text{PO}_4\text{-P}$ arasında sırasıyla $r=-0,43$ ve $r=-0,27$ değerlerinde negatif korelasyonlar elde edilmiştir. $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ ile TP arasında $r=0,63$; TP ile TN

arasında $r=0,26$; PO₄-P ile TP ve TN arasında ise sırasıyla $r=0,26$ ve $r=0,27$ düzeyinde pozitif korelasyonlar belirlenmiştir (Şekil 23).



Şekil 23. Korelasyon analizi

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

4.1. Sıcaklık

Çalışma alanında yüzey suyu sıcaklıkları 9,57–24,89 °C aralığında değişmiş ve yaklaşık 15,3 °C’lik bir yıllık genlik göstermiştir. Bu değerler, Kızılırmak Nehri’nin farklı kesimlerinde bildirilen 7,2–24,8 °C’lik mevsimsel sıcaklık aralığıyla uyumludur (Karadağ, 2022). Nevşehir yöresinde yürütülen bu çalışmada da kışın düşük, yaz aylarında ise 24 °C’nin üzerindeki sıcaklıkların baskın olduğu belirtilmiş, benzer şekilde Orta Karadeniz Bölgesi’nde Kızılırmak ve Yeşilirmak’ta yapılan mevsimsel izlemelerde sıcaklığın yazın maksimuma ulaştığı, kışın ise belirgin şekilde azaldığı rapor edilmiştir (Şimşek vd., 2022). Bu açıdan bakıldığında, çalışmamızdaki yüzey suyu sıcaklık rejimi hem bölgesel iklim koşullarını hem de Kızılırmak havzası için literatürde bildirilen tipik nehir termaliğini yansıtmaktadır.

Yıllık ortalama yüzey sıcaklığının 18,1 °C olması, Delice Irmağı’nda rapor edilen yaklaşık 14,7 °C’lik yıllık ortalama değerden daha yüksek olup (Gül, 2021), çalışmamızdaki istasyonların daha aşağı kotta, deniz etkisine daha yakın veya daha az gölgelenen kesimlerde yer almasına bağlanabilir. Yukarı Kızılırmak Havzası’nda yürütülen su kalitesi çalışmalarında, yaz aylarında yağış azlığı ve debi düşüşüne bağlı olarak su sıcaklığının arttığı ve bu durumun tuzluluk ile çözünmüş madde konsantrasyonlarını yükselttiği vurgulanmaktadır (Koç vd., 2018). Benzer biçimde, bu çalışmada yaz yüzey sıcaklıklarının 24,89 ± 0,14 °C’ye ulaşması, su kolonunda yoğun bir termal birikim olduğunu ve bu dönemde buharlaşma ile kimyasal reaksiyon hızlarının artmasının beklenebileceğini göstermektedir.

Dikey profiller incelendiğinde; kış ve sonbaharda ilk 20 m’de sıcaklığın neredeyse sabit kalması, tüm su kolonunun atmosfere açık karışım süreçleriyle iyi havalandığını ve dikey karışım derinliğinin en az 20 m’ye ulaştığını düşündürmektedir. Bu durum, literatürde kış döneminde nehir ve baraj göllerinde su kolonunun izotermal hale gelmesi ve oksijenlenmenin artmasıyla ilişkilendirilmektedir (Karadağ & Öztürk, 2022; Gül, 2021). İlkbaharda 0–20 m arasında yaklaşık 10 °C’ye varan sıcaklık düşüşü ve termoklinin 9–19 m aralığında yoğunlaşması, yüzeyde artan güneşlenmeye karşın ısıtmanın henüz tüm kolona yayılmadığını, buna karşılık rüzgâr ve debi değişimlerinin üst karışık tabakayı sınırlı tuttuğunu göstermektedir. Yaz mevsiminde termoklinin 12–

18 m aralığına sıkışması ve 20 m'nin altında sıcaklığın ~9–11 °C'ye kadar düşmesi, belirgin bir epilimnion–hipolimnion ayrımı yaratarak, derin tabakalarda daha soğuk ve yoğun bir su kütesinin kalıcı hale geldiğine işaret etmektedir.

Sonbaharda termoklin derinliğinin 29–37 m'ye kadar inmesi, yaz boyunca biriken ısının kademeli soğuma ve rüzgârla karışım sonucunda daha derin tabakalara aktarılmasıyla açıklanabilir. Kızılırmak ve Delice Irmağı'nda bildirilen mevsimsel sıcaklık verileri, özellikle sonbaharda su kolonunun yeniden karışmaya başladığını ve kışa doğru termal tabakalaşmanın zayıfladığını göstermektedir (Gül, 2021; Karadağ, 2022). Çalışmamızdaki 29–37 m aralığında gözlenen termoklin, bu genel eğilimle uyumlu olup, sonbahar boyunca karışım derinliğinin arttığını ve hipolimnion–epilimnion arasındaki sıcaklık farkının azaldığını göstermektedir. Bu süreç, özellikle çözülmüş oksijen ve besin tuzlarının derinlikler arasında yeniden dağılması açısından önemlidir ve ilerleyen bölümlerde sunulan oksijen–besin bulgularıyla birlikte değerlendirildiğinde, su kolonunda mevsimsel yeniden beslenme ve oksijenlenmeye işaret etmektedir.

4.2. Çözülmüş Oksijen

Bu çalışmada ölçülen çözülmüş oksijen konsantrasyonlarının 0,87–14,35 mg/L aralığında değişmesi ve genel ortalamanın $5,20 \pm 0,07$ mg/L olması, Kızılırmak havzası için daha önce rapor edilen değerlerle genel olarak uyumlu olmakla birlikte, özellikle derin ve aşağı havza istasyonlarında su kalitesinde belirgin bir gerilemeye işaret etmektedir. Nevşehir kesiminde yürütülen çalışmada çözülmüş oksijenin 8,44–13,59 mg/L aralığında ve ortalama 10,3 mg/L düzeyinde olduğu, bu nedenle nehrin bu bölümünde çözülmüş oksijen açısından I. sınıf su kalitesi özelliği taşıdığı bildirilmiştir (Aras & İpek, 2019). Bu çalışmada memba istasyonunda hesaplanan $6,03 \pm 0,16$ mg/L'lik ortalama değer, Nevşehir kesimindeki yüksek oksijen rejimine kıyasla daha düşük olmakla birlikte, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre hâlâ I–II. sınıf su kalitesi aralığına karşılık gelmektedir. Buna karşın, mansap ve yetiştiricilik istasyonlarında daha düşük ortalama değerlerin ve derin tabakalarda kritik düzeylere yaklaşan minimum oksijen konsantrasyonlarının gözlenmesi, havza boyunca çözülmüş oksijen rejiminin mekânsal olarak bozulduğunu ortaya koymaktadır.

Kızılırmak'ın Orta Karadeniz bölümünde (Samsun yöresi) yürütülen çalışmada, üç istasyonda çözünmüş oksijenin yıllık ortalama 6,8–7,4 mg/L aralığında olduğu, mevsimsel değerlerin ise 5,2–9,1 mg/L arasında değiştiği ve en yüksek değerlerin kış, en düşük değerlerin ise yaz mevsiminde gözlemlendiği bildirilmiştir (Kızılırmak Su Numuneleri Çalışması). Aynı çalışmada, su ürünleri yetiştiriciliği açısından çözünmüş oksijenin 5 mg/L'nin üzerinde tutulması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu çalışmada elde edilen bulgular, özellikle yaz mevsiminde ortalama çözünmüş oksijenin $3,63 \pm 0,08$ mg/L'ye düşmesi ve ≥ 50 m derinliklerde ortalamanın $2,44 \pm 0,06$ mg/L düzeyine kadar gerilemesi nedeniyle, bazı istasyon ve derinliklerde söz konusu eşik değerin belirgin biçimde altına inildiğini göstermektedir. Bu durum, derin ve mansap/yetiştiricilik istasyonlarında su kalitesinin, Kızılırmak'ın Nevşehir ve Orta Karadeniz kesimlerinde rapor edilen görece iyi oksijen koşullarına göre daha olumsuz olduğunu ve oksijen rejiminde yerel olarak belirgin bir bozulma yaşandığını ortaya koymaktadır (Aras & İpek, 2019; Şimşek vd., 2022).

Orta Karadeniz Bölgesi'nde Kızılırmak ve Yeşilirmak nehirlerinde su kalite indeksi (WQI) kullanılarak yapılan değerlendirmede, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği kriterlerine göre Kızılırmak'ın genel olarak I. ve II. sınıf, Yeşilirmak'ın ise II. ve III. sınıf su kalitesi özelliği gösterdiği; WQI sonuçlarına göre ise Kızılırmak'ın özellikle ilkbahar döneminde “zayıf” su kalitesi sınıfına düştüğü belirtilmiştir (Şimşek vd., 2022). Bu çalışmada membada ortalama 6,03 mg/L, yan kollarda 5,18 mg/L ve yetiştiricilik alanında 5,14 mg/L olarak hesaplanan çözünmüş oksijen değerleri, literatürde Kızılırmak için bildirilen I–II. sınıf oksijen rejimi ile kısmen uyumlu görünmektedir. Bununla birlikte, mansap bölgesinde ortalamanın $4,79 \pm 0,18$ mg/L'ye kadar düşmesi ve derin tabakalarda 0,87–2,0 mg/L aralığına inen minimum değerlerin kaydedilmesi, bazı mevsim–derinlik kombinasyonlarında III–IV. sınıf su kalitesi koşullarının da oluşabildiğine işaret etmektedir. Bu bulgu, Kızılırmak havzasında tarımsal faaliyetler, hayvancılık, katı atık deşarjları ve sanayi kaynaklı kirlilik baskılarının güçlü olduğunu vurgulayan çalışmalarla uyumludur (Şimşek vd., 2022; Ayaz vd., 2013).

Delice Irmağı ve Kızılırmak havzasını kapsayan çalışmalarda, havza genelinde evsel, tarımsal ve endüstriyel kaynaklı kirlilik baskısının yüksek olduğu ve bu nedenle bazı su kalite parametreleri bakımından III–IV. sınıf su kalitesi özelliklerinin sıkça

rapor edildiği belirtilmiştir (Dayıoğlu vd., 2004; Ayaz vd., 2013). Bu çalışmada özellikle yaz mevsiminde ve 50 m'nin altındaki derinliklerde çözünmüş oksijenin hızla tükenmesi; su sütununda artan organik madde yükü (örneğin yem ve dışkı girdileri), su sıcaklığındaki artış ve dikey karışımın zayıflaması gibi süreçlerin birlikte etkisiyle oksijen rejiminin en kırılgan hâle geldiği dönemleri işaret etmektedir. Derin tabakalarda 2 mg/L'nin altına yaklaşan değerler, bentik fauna ve balık toplulukları açısından hipoksik ya da strese yakın koşullara işaret etmekte ve bu kesimlerde ekosistem bütünlüğünün risk altında olabileceğini düşündürmektedir.

Kızılırmak Deltası'ndaki Balık Gölü için yürütülen çalışmada, ötrofik–hiperötrofik trofik düzeylerin su berraklığını azalttığı, klorofil-*a* konsantrasyonlarını artırdığı ve gölün su kaynağı olarak değerini giderek azalttığı vurgulanmıştır (Cüce vd., 2011). Balık Gölü örneğinde trofik seviyedeki yükselişin su kalitesi ve ekosistem hizmetleri üzerinde olumsuz etkiler yarattığı belirtilirken, bu çalışmada da düşük çözünmüş oksijen değerlerinin özellikle organik yüklemenin ve trofikleşmenin yüksek olduğu istasyon ve derinliklerde yoğunlaşması dikkat çekicidir. Bu benzerlik, Kızılırmak havzasında yüksek besin tuzu ve organik madde girdilerinin yalnızca göl sistemlerinde değil, nehir kesimlerinde ve su ürünleri yetiştiriciliği yapılan alanlarda da oksijen rejimini bozabileceğini göstermektedir.

Yöntemsel açıdan bakıldığında, bu çalışmada kullanılan çözünmüş oksijen ölçümlerinin, diğer pek çok hidrolojik ve limnolojik çalışmada olduğu gibi sahada anlık olarak gerçekleştirilmesi ve ulusal/uluslararası standart yöntemlerle uyumlu olması (Ariman & Koyuncu, 2019), elde edilen sonuçların literatür ile karşılaştırılabilirliğini güçlendirmektedir. Ayrıca, su kalite kriterlerinin belirlenmesinde YSKY (2016) ve SKKY (2004) gibi ulusal mevzuat ile USEPA ve AB Su Çerçeve Direktifi (EU WFD) gibi uluslararası düzenlemelerin esas alınması gerektiği, Delice Irmağı ve Kızılırmak havzasına yönelik çalışmalarda açık şekilde vurgulanmaktadır (Dayıoğlu vd., 2004; UNECE, 1993; USEPA, 2018). Bu bağlamda, bu çalışmada elde edilen çözünmüş oksijen verilerinin söz konusu mevzuat ve kılavuzlarla birlikte değerlendirilmesi, havza ölçeğinde bütüncül bir yönetim yaklaşımının geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu çalışmada belirlenen çözünmüş oksijen değerleri; üst 0–10 m tabakada genellikle iyi oksijenlenmiş koşullara (ortalama $8,58 \pm$

0,08 mg/L), 20–40 m aralığında orta düzeyde oksijenli bir yapıya (ortalama $5,76 \pm 0,10$ mg/L) ve 50 m ve daha derin tabakalarda ise $2,44 \pm 0,06$ mg/L gibi kritik değerlere kadar azalan belirgin bir dikey gradyente işaret etmektedir. Bu dikey yapı, Kızılırmak'ın farklı kesimlerinde daha önce bildirilen mevsimsel ve dikey oksijen desenleriyle genel olarak uyumlu olmakla birlikte (Aras & İpek, 2019; Şimşek vd., 2022), özellikle yaz mevsiminde ve derin tabakalarda gözlenen düşük değerler bakımından daha kritik bir tablo ortaya koymaktadır. Özellikle mansap ve yetiştiricilik istasyonlarında ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının 5 mg/L eşiğinin altına yaklaşması veya bu eşiğin altına inmesi, hem su ürünleri yetiştiriciliği hem de doğal balık ve bentik topluluklar açısından önemli riskler barındırmaktadır. Bu nedenle, yaz döneminde ve karışımın zayıfladığı zamanlarda derin tabakalarda çözülmüş oksijenin daha sık aralıklarla izlenmesi, yetiştiricilik alanlarında organik yükün kontrol altına alınması, havza ölçeğinde kirletici yüklerinin azaltılması ve YSKY ile uluslararası kriterlere göre düzenli sınıflandırma yapılarak kritik istasyon ve derinlikler için erken uyarı eşiklerinin tanımlanması, havzanın ekolojik bütünlüğünün korunması açısından zorunlu görülmektedir.

4.3. pH

Bu çalışmada Kızılırmak havzasındaki istasyonlarda ölçülen pH değerlerinin 7,19–8,89 aralığında ve ortalama $7,92 \pm 0,01$ düzeyinde gerçekleşmesi, havzadaki diğer su kütleleri ve önceki çalışmalarla geniş ölçüde uyumludur. Kızılırmak Nehri'nin ana kolu ve kıyısal ortamında yapılan entegre değerlendirmede sediment pH aralığının 7,52–8,80 olarak rapor edilmesi ve sistemin genel su kalitesinin “orta” düzeyde tanımlanması, bizim çalışmamızda belirlenen hafif bazik karakterle uyumlu bir tablo ortaya koymaktadır (Bakan vd., 2010).

Derbent Baraj Gölü'nde pH'nin 7,1–8,6 arasında değiştiği ve ortalama 7,98 değerine ulaştığı, su kalitesinin pH bakımından bazik karakterli I. sınıf su niteliğinde olduğu bildirilmiştir; bizim çalışmamızda hesaplanan 7,19–8,89 (ort. 7,92) aralığı, bu baraj gölüyle neredeyse örtüşmekte ve çalışma alanımızın da benzer şekilde hafif bazik, ekolojik açıdan uygun bir ortam sunduğunu göstermektedir (Taş, 2006).

Kızılırmak Deltası Balık Gölü'nde yürütülen çalışmada pH'nin 8,46–8,69 aralığında değiştiği ve yıllık ortalamanın 8,59 olduğu rapor edilmiştir; bu durum,

ötrofik ve sığ bir delta gölü sisteminde yüksek biyolojik üretkenliğin ve yoğun fitoplankton aktivitesinin pH'yi daha belirgin biçimde bazik tarafa çekebildiğini göstermektedir (Ariman & Koyuncu, 2019). Buna karşın, bizim çalışmamızda ortalama pH'nin 7,92 olması, Balık Gölü'ne kıyasla daha ılımlı bir alkaliniteye işaret etmekte; bu fark, deltada sığ ve nispeten durgun koşullar ile yüksek trofik seviyenin baskın olmasına, çalışma alanımızda ise daha akışlı rejim, seyrelme etkisi ve derinlik artışının önemli rol oynamasına bağlanabilir (Bakan vd., 2010; Ariman & Koyuncu, 2019).

Delice Irmağı'nda pH'nin 8,10–10,40 aralığında ve ortalama $8,61 \pm 0,33$ düzeyinde olduğu, kısmi su kalite bozulmasına rağmen pH bakımından yüksek bazik koşulların baskın olduğu belirtilmiştir (Gül, 2021). Delice Irmağı'nın bu daha yüksek pH değerleri, havzadaki karbonatça zengin jeolojik formasyonlara, çözünmüş iyon birikimine ve sınırlı seyrelme koşullarına bağlanabilirken; bizim çalışma alanımızda daha geniş derinlik aralığı (0–85 m), daha güçlü karışım ve daha yüksek akış rejimi pH'yi 7,9 civarında dengeleyen tamponlayıcı bir etki oluşturmuş görünmektedir (Bakan vd., 2010; Gül, 2021).

Nevşehir kesiminde CBS'ye dayalı yüzey suyu kalite haritalamasında, Kızılırmak'ta pH'nin su kalite standartları çerçevesinde değerlendirildiği ve mekânsal dağılımının büyük ölçüde yönetmelik limitleri içinde seyrettiği bildirilmiştir (Aras & İpek, 2019). Orta Karadeniz Bölgesi için Kızılırmak ve Yeşilirmak'ta su kalite indeksi ve istatistiksel analizler kullanılarak yapılan çalışmada da, nehirlerin mevsimsel değişkenlik göstermekle birlikte genel olarak I–II. sınıf su kalitesi aralığını koruduğu vurgulanmıştır (Şimşek vd., 2022). Bizim ölçümlerimizde pH'nin hem bu bölgesel çalışmalarla hem de ulusal su kalite sınıflandırmalarıyla uyumlu aralıkta bulunması, çalışılan kesimde pH açısından yapısal bir bozulmanın henüz gelişmediğine işaret etmektedir (Aras & İpek, 2019; Şimşek vd., 2022).

pH'nin ekosistem ve su ürünleri yetiştiriciliği açısından kritik bir gösterge olduğu bilinmektedir. Ulusal su kalite kriterleri ve su ürünleri rehberlerinde, balık yetiştiriciliği için 6,5–8,5 pH aralığı genel olarak uygun kabul edilmekte; bu aralığın üzerine çıkılması özellikle iyonize NH_3 ve diğer azotlu bileşiklerin toksisitesini artırabilmektedir (Şimşek vd., 2022). Çalışmamızda ölçümlerin büyük çoğunluğunun 7,5–8,5 aralığında yer alması ve yalnızca sınırlı oranda 8,5'in üzerine çıkması, pH

açısından hem doğal balık faunası hem de olası akuakültür faaliyetleri için genel olarak elverişli bir ortamı işaret etmektedir.

Mevsimsel sonuçların değerlendirilmesi de bu tabloyu desteklemektedir. pH'nin ilkbaharda en yüksek ortalama değere ($8,20 \pm 0,01$) ulaşması, artan ışık şiddeti ve uygun besin tuzu koşulları altında yoğunlaşan fitoplankton fotosentezi ve buna bağlı CO₂ tüketimi ile uyumlu bir bulgudur (Bakan vd., 2010). Yaz döneminde ortalamanın 7,47'ye düşmesi ise yüksek sıcaklık, artan solunum ve ayrışma süreçleri, zayıflayan düşey karışım ve olası yerel kirlilik girdilerinin birlikte etkisini yansıtır olabilir (Şimşek vd., 2022). Orta Karadeniz'de Kızılırmak ve Yeşilirmak için yapılan çalışmada da, su kalite indeksinin mevsimsel olarak değiştiği ve özellikle yaz aylarında sıcaklık ve çözünmüş oksijen ile birlikte pH'nin de daha hassas bir izleme gerektirdiği vurgulanmıştır (Şimşek vd., 2022).

Dikey pH profilleri açısından, yüzeyde ($\sim 8,40$) daha yüksek ve derin tabakada ($\sim 7,61$) daha düşük değerlerin gözlenmesi, üst tabakada fotosentez ve atmosferle gaz değişimi, alt tabakada ise organik maddenin oksidasyonu ve CO₂ birikimi ile açıklanabilir (Bakan vd., 2010). Derin baraj ve göl sistemlerinde rapor edilen dikey pH gradyanlarıyla benzerlik gösteren bu yapı, su kolonunda karbonat sisteminin hâlen etkin biçimde tamponlandığını ve belirgin bir asidifikasyon ya da aşırı alkalileşme baskısının söz konusu olmadığını ortaya koymaktadır (Taş, 2006).

Bu çalışmanın temel belirsizlikleri arasında, pH'nin tek yıllık ölçümlerle temsil edilmesi, saha cihazı kalibrasyonuna bağlı olası sistematik hatalar ve özellikle derin tabakadaki örnek sayısının yüzeye göre nispeten düşük kalması sayılabilir. Bununla birlikte, toplam örnek sayısının yüksek olması ve hesaplanan standart hata değerlerinin oldukça düşük çıkması, elde edilen ortalamaların istatistiksel açıdan güçlü ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak bu çalışma; pH'nin 7,19–8,89 aralığında ve $7,92 \pm 0,01$ ortalaması ile çalışma alanında hafif bazik bir karakterin hâkim olduğunu, su kolonu boyunca yüzeyden derine doğru yaklaşık 0,8 pH birimlik kararlı bir azalma bulunduğunu, pH'nin mevsimsel olarak ilkbaharda maksimum, yazın minimum değerlere ulaştığını, ölçümlerin büyük çoğunluğunun balık faunası ve akuakültür için önerilen güvenli pH aralığında seyrettiğini ve elde edilen dağılımın Kızılırmak havzasındaki önceki çalışmalar ve ulusal su kalite kriterleriyle genel olarak uyumlu

olduğunu ortaya koymuştur (Aras & İpek, 2019; Bakan vd., 2010; Şimşek vd., 2022; Taş, 2006). Bu bulgular, çalışma alanının pH bakımından hâlen ekosistem fonksiyonlarını destekleyen ve su ürünleri yetiştiriciliği açısından potansiyel olarak uygun bir su kalitesi sunduğunu göstermekte; ancak artan antropojenik baskılar ışığında pH'nin sıcaklık, çözünmüş oksijen, besin tuzları ve NH_3 ile birlikte uzun dönemli izlenmesinin önemine işaret etmektedir (Şimşek vd., 2022).

4.4. Elektriksel İletkenlik

Bu çalışmada ölçülen 1544,1–3717,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'lik elektriksel iletkenlik aralığı ve 2425,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'lik yıllık ortalama değer, Kızılırmak havzasındaki birçok akarsu ve göl sistemi ile karşılaştırıldığında belirgin şekilde yüksek bir mineralizasyon düzeyine işaret etmektedir. Nevşehir kesiminde yürütülen çalışmada Kızılırmak Nehri'nin elektriksel iletkenliğinin 1350–2060 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında değiştiği bildirilmiş, bu değerler ulusal ve uluslararası standartlara göre çoğunlukla I–II. sınıf su kalitesi aralığında değerlendirilmiştir (Karadağ, 2022). Benzer şekilde, Orta Karadeniz Bölgesi'nde Kızılırmak ve Yeşilirmak'ta su kalite indeksi uygulanan çalışmada, nehir ağzına yakın kesimde ortalama EC değerinin yaklaşık 1459,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olduğu ve bu parametrenin Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği açısından III. sınıf su kalitesine karşılık geldiği belirtilmiştir (Şimşek vd., 2022; Bakan vd., 2010). Buna karşılık, bu çalışmada hesaplanan 2425,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'lik ortalama ve 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'yi aşan maksimum değerler, Kızılırmak'ın birçok kesiminde ölçülen iletkenliklerden daha yüksek olup, suyun belirgin biçimde daha tuzlu ve iyon yükü bakımından zengin olduğunu göstermektedir.

Bölgedeki diğer içsu sistemleriyle yapılan karşılaştırmalar da bu bulguyu desteklemektedir. Karagöl'de (Hafik–Sivas) yıllık ortalama elektriksel iletkenlik 207,91 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak bildirilmiş, gölün düşük mineral içerikli tipik bir tatlı su karakteri taşıdığı vurgulanmıştır (Mutlu vd., 2013). Kızılırmak Deltası'nda yer alan Balık Gölü'nde ise ortalama EC yaklaşık 1688 $\mu\text{S}/\text{cm}$ düzeyinde rapor edilmiş, gölün hafif–orta derecede mineralize bir su kütlesi olduğu belirtilmiştir (Ariman & Koyuncu, 2019). Derbent Baraj Gölü'nde yürütülen çalışmada yüzey sularının elektriksel iletkenliği yaklaşık 1525 $\mu\text{S}/\text{cm}$ seviyesinde bulunmuş ve su kalitesinin bu açıdan orta düzeyde olduğu ifade edilmiştir (Taş, 2006). Delice Irmağı'nda gerçekleştirilen çalışmada ise Kızılırmak'ın önemli yan kollarından biri olan bu akarsuda yıllık

ortalama iletkenlik 2135,46 $\mu\text{S/cm}$ (257–2851 $\mu\text{S/cm}$) olarak hesaplanmış ve suyun özellikle sulama açısından yüksek tuzluluk riski taşıdığı vurgulanmıştır (Gül, 2021). Bu literatür bulguları ile karşılaştırıldığında, çalışma alanında tespit edilen 2425,6 $\mu\text{S/cm}$ 'lik ortalama EC değeri, hem Kızılırmak'ın farklı kesimlerinde hem de bölgedeki göl ve baraj sistemlerinde bildirilmiş iletkenliklerden daha yüksek olup, su kütlesinin belirgin bir tuzluluk/stres potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

İletkenlik değerlerinin değerlendirilmesinde ulusal mevzuat da önemli bir referans sunmaktadır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği kapsamında yer alan “Kıta içi Yerüstü Sularının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” tablosunda, elektriksel iletkenlik için $<400 \mu\text{S/cm}$ I. sınıf (çok iyi), $1000 \mu\text{S/cm}$ II. sınıf (iyi), $3000 \mu\text{S/cm}$ III. sınıf (orta) ve $>3000 \mu\text{S/cm}$ IV. sınıf (zayıf) su kalitesi sınırları verilmiştir (Karadağ, 2022; Türkiye Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016). Bu sınıflandırma dikkate alındığında, bu çalışmada elde edilen 2425,6 $\mu\text{S/cm}$ 'lik ortalama iletkenlik değeri suyun büyük kısmının III. sınıf (orta kalite) aralığında yer aldığını göstermekte; $3000 \mu\text{S/cm}$ 'nin üzerindeki maksimum değerler ise belirli dönem ve/veya istasyonlarda IV. sınıf (zayıf kalite) koşulların oluştuğunu düşündürmektedir. Dolayısıyla, çalışma alanında elektriksel iletkenlik parametresi açısından su kalitesinin genel olarak orta, yer yer ise zayıf seviyede olduğu söylenebilir.

Çalışma alanında gözlenen düşey iletkenlik yapısı, bölgesel jeoloji ve hidrodinamik koşullarla uyumludur. Özellikle dip sularında (85 m) $2976,0 \pm 2,9 \mu\text{S/cm}$ düzeyine ulaşan ve zamansal olarak oldukça durağan kalan EC değerleri, yoğun ve tuzlu suların su kolonunun alt bölümlerinde birikme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Yukarı Kızılırmak Havzası'nda yürütülen çalışmada, Zara'dan Kayseri il sınırına kadar olan kesimde havzanın büyük bölümünün jips serilerinden oluştuğu, bu nedenle Kızılırmak suyunun bu bölgede “çok yüksek tuzlu ve acı” bir karaktere büründüğü ve sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin ciddi biçimde azaldığı belirtilmiştir (Koç vd., 2018). Aynı çalışmada, Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramlarına göre Kızılırmak'ın önemli bir bölümünün “şüpheli” veya “uygun olmayan” sınıflarda değerlendirildiği vurgulanmıştır. Bu bulgular, çalışmamızda tespit edilen yüksek EC değerlerinin başlıca nedenlerinden birinin havza ölçeğinde yaygın olan jips ve evaporitli sedimanter kayalar olduğunu, yani jeolojik kontrolün baskın rol oynadığını düşündürmektedir.

Yüksek iletkenlik değerlerinin bir diğer olası belirleyicisi, tarımsal drenaj ve yüzey akışıyla sisteme taşınan çözünmüş tuz ve besin tuzlarıdır. Kızılırmak havzasında, özellikle Yukarı Kızılırmak bölgesinden itibaren geniş tarım alanları ve sulama uygulamalarının yaygın olduğu, tarımsal faaliyetlerin suyun kimyasal bileşimi üzerinde önemli etkiler yarattığı bildirilmiştir (Koç vd., 2018). Orta Karadeniz bölümünde Kızılırmak ve Yeşilirmak'ta hesaplanan su kalite indeksleri de, özellikle iletkenlik ve toplam çözünmüş madde parametreleri açısından nehirlerin birçok kesiminde “orta” ve “zayıf” kalite sınıflarının baskın olduğunu göstermektedir (Şimşek vd., 2022). Bu çalışmalarla birlikte ele alındığında, bu tez çalışmasında tespit edilen yüksek EC değerlerinin, jeolojik kökenli tuzluluğa ek olarak, tarımsal drenaj, gübre ve sulama geri akımları ile yerleşim alanlarından gelen çözünmüş katı yükü tarafından da güçlendirildiği söylenebilir.

Ekosistem açısından bakıldığında, bu düzeydeki elektriksel iletkenlik değerleri sucul organizmalar üzerinde doğrudan ve dolaylı baskılar oluşturabilir. Karagöl gibi düşük iletkenlikli sistemlerde ($\approx 200 \mu\text{S}/\text{cm}$) tür bileşimi ve trofik yapı daha tipik tatlı su koşullarına uyumlu iken (Mutlu vd., 2013), Balık Gölü, Derbent Baraj Gölü ve Delice Irmağı gibi daha yüksek iletkenlikli sistemlerde tür kompozisyonunun tuzluluğa daha toleranslı türler lehine değiştiği, ayrıca sulama suyu kullanımı açısından da önemli kısıtlar ortaya çıktığı bildirilmiştir (Taş, 2006; Arıman & Koyuncu, 2019; Gül, 2021). Çalışma alanında ortalama EC'nin $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 'nin oldukça üzerinde olması, özellikle hassas balık türleri ve bentik omurgasızlar bakımından uzun dönemli stres oluşturma potansiyeline sahiptir. Ayrıca, YSKY'ye göre III–IV. sınıf su kalitesi aralığına giren iletkenlik değerleri, suyun içme ve kullanma suyu temini açısından ancak ileri arıtma prosesleriyle uygun hale getirilebileceğini ve sulama suyu olarak kullanımda da tuzluluk riskinin dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu çalışmanın önemli bir belirsizlik kaynağı, ölçümlerin dört mevsimi temsil eden sınırlı sayıda kampanya ile gerçekleştirilmiş olması ve 0–85 m su kolonu ile sınırlı kalmasıdır. Dolayısıyla, baraj gölü/rezervuar sisteminin daha derin kesimlerinde (varsa) iletkenlik profilinin nasıl devam ettiğine ilişkin çıkarımlar yalnızca 0–85 m aralığı için geçerlidir. Bununla birlikte, yüksek örnek sayısı hem dikey hem de yatay dağılımın istatistiksel olarak güvenilir biçimde temsil edilmesini sağlamaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmaların, uzun dönemli zaman serileri ve daha sık ölçüm periyotları ile hem iklimsel değişkenliğin hem de havza ölçekli kullanım değişimlerinin iletkenlik rejimi üzerindeki etkilerini nicel olarak ortaya koyması önem taşımaktadır.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında elde edilen veriler, çalışma alanındaki elektriksel iletkenlik değerlerinin (1544,1–3717,1 $\mu\text{S/cm}$; ort. $2425,6 \pm 13,1 \mu\text{S/cm}$) Kızılırmak havzasındaki birçok nehir ve göl sistemiyle karşılaştırıldığında belirgin şekilde yüksek olduğunu ve suyun genel olarak orta–yüksek mineral içerikli, YSKY açısından ağırlıklı olarak III. (yer yer IV.) sınıf su kalitesine karşılık geldiğini ortaya koymuştur. Jeolojik olarak geniş jips ve evaporitli formasyonların varlığı ile tarımsal drenaj ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan çözünmüş tuz yükü bu durumun başlıca nedenleri olarak değerlendirilmiştir. Bu bulgular, özellikle sulama suyu kalitesi, içme-kullanma suyu temini ve sucul ekosistemin korunması açısından elektriksel iletkenlik parametresinin havza ölçeğinde düzenli izlenmesi, tuzluluk riskinin dikkate alındığı su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi ve tarımsal uygulamalarda tuz yükünü azaltıcı önlemlerin (drenaj iyileştirmesi, uygun ürün deseni seçimi vb.) hayata geçirilmesi gerektiğini göstermektedir.

4.5. Secchi Disk

Altınkaya Baraj Gölü’nde belirlenen 3,0–7,5 m’lik Secchi disk derinliği aralığı ve 5,39 m’lik yıllık ortalama, gölün genel olarak yüksek ışık geçirgenliğine ve düşük–orta düzeyde trofik yüke sahip olduğunu göstermektedir. Bu düzeydeki berraklık, AKM ve alg biyokütlesinin görece sınırlı olduğunu, epilimniyon boyunca fotik zonun oldukça derine indiğini ve ışığın su kolonunda geniş bir derinlik aralığını aydınlatabildiğini düşündürür. Eutrofik–hipertrofik sistemlerde tanımlanan hızlı berraklık kaybı ve sığ fotik zon koşullarıyla karşılaştırıldığında (örneğin ötrofikasyonun su berraklığını hızla düşürdüğü ve makrofit topluluklarını geriletliği vurgulanmaktadır) Altınkaya’nın daha kontrollü bir besin tuzu rejimine sahip olduğu söylenebilir (Cüce vd., 2011).

Balık Gölü için yapılan çalışmalarda, mevsimsel ortalama Secchi disk derinliği 0,24–0,48 m arasında bulunmuş ve yıllık ortalama SDD 0,36 m olarak rapor edilmiştir; aynı çalışmada Trofik Seviye İndeksi (Carlson, 1977) değerleri SDD ve diğer

parametrelere göre çoğunlukla TSI 60–70 aralığının üzerinde hesaplanmış, gölün ağırlıklı olarak hipertrofik ve “kritik durumda” olduğu belirtilmiştir (Ariman & Koyuncu, 2019).

Benzer şekilde, Balık Gölü’nde 2010 yılı çalışmalarında ilkbahar karışımı döneminde ortalama Secchi derinliği yaklaşık 1,95 m iken, sonbahar döneminde 1,45 m’ye ve minimum 0,95 m’ye kadar düştüğü, artan trofik yük ve alg üretiminin su berraklığını önemli ölçüde azalttığı vurgulanmaktadır (Cüce vd., 2011).

Altinkaya Baraj Gölü’nde bu çalışmada hesaplanan 5 m’nin üzerindeki ortalama Secchi değerleri, aynı havzada yer alan bu lagün gölüne kıyasla oldukça yüksek olup, Altinkaya’nın trofik açıdan daha az baskı altında olduğunu ve su berraklığının limnolojik açıdan görece “iyi” seviyede seyrettiğini ortaya koymaktadır (Ariman & Koyuncu, 2019; Cüce vd., 2011).

Mevsimsel desen açısından, Altinkaya’da ilkbaharda gözlenen Secchi düşüşü, havzadan taşkın ve yüzey akışıyla gelen AKM yükü, çözünmüş organik madde ve erken dönem fitoplankton çoğalmalarıyla ilişkilendirilebilir. Yaz–sonbahar döneminde ise daha sakin hidrolik koşullarda partikül çökmesi, besin tuzlarının fitoplankton tarafından tüketilerek su kolonundan uzaklaştırılması ve hidrolik alıkonma süresinin artması, ışık geçirgenliğinde belirgin bir artışla sonuçlanmış olabilir (Ariman & Koyuncu, 2019).

Özellikle sonbaharda 6,0–7,5 m’ye ulaşan Secchi değerleri, Altinkaya’da yoğun bir fitoplankton patlaması veya askıda madde kaynaklı kalıcı bir bulanıklık sorunu olmadığını desteklemektedir.

Sonuç olarak, Altinkaya Baraj Gölü’nde ölçülen Secchi disk derinlikleri, gölün araştırma dönemi boyunca yüksek ışık geçirgenliğine, görece düşük–orta trofik düzeye ve bulanıklık yönünden belirgin bir kirlilik baskısı altında olmadığına işaret etmektedir. Aynı havzadaki Balık Gölü gibi hipertrofik sulak alanlarla karşılaştırıldığında, Altinkaya Baraj Gölü’nün ışık rejiminin sucül ekosistem için daha elverişli olduğu ve mevcut koşulların, besin tuzu yükünün kontrol altında tutulması durumunda, ekosistemin sürdürülebilirliğini desteklediği söylenebilir.

4.6. Nitrat-Nitrit Azotu

Bu çalışmada Altinkaya Baraj Gölü su kolonunda belirlenen $0,01-0,32$ mg/L'lik $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- - \text{N}$ aralığı ve yaklaşık $0,14$ mg/L'lik yıllık ortalama, Kızılırmak ana kolu ve yan kolları için literatürde rapor edilen değerlerle karşılaştırıldığında belirgin biçimde düşük görünmektedir. Kızılırmak Nehri'nin Nevşehir kesiminde yapılan çalışmada, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ konsantrasyonlarının $0,07-0,99$ mg/L aralığında değiştiği ve ortalama $0,61$ mg/L düzeyinde olduğu bildirilmiştir (Aras & İpek, 2019).

Kızılırmak'ın denize döküldüğü kesimde yürütülen entegre çevresel kalite değerlendirmesinde ise nehir boyunca ortalama $\text{NO}_3^- - \text{N}$ konsantrasyonu $7,74$ mg/L'ye ulaşmakta ve yüksek dış etkili besin yükünü yansıtmaktadır (Bakan vd., 2010).

Benzer biçimde, Kızılırmak üzerinde yer alan Derbent Baraj Gölü'nde $\text{NO}_3^- - \text{N}$ konsantrasyonlarının $0,33-2,33$ mg/L aralığında değiştiği ve gölün genel olarak ötrofik/süperötrof özellik gösterdiği rapor edilmiştir (Taş, 2006). Kızılırmak havzasının önemli yan kollarından Delice Irmağı'nda yapılan doktora çalışmasında ortalama NO_3^- konsantrasyonu yaklaşık $12,5$ mg/L olarak belirlenmiş ve bu yüksek düzey tarımsal faaliyetler ve diğer yayılı kaynaklı girdilerle ilişkilendirilmiştir (Gül, 2021).

Bu karşılaştırmalar, çalışmamızda elde edilen $0,14$ mg/L düzeyindeki $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- - \text{N}$ ortalamasının, havza genelindeki birçok nehir ve baraj gölüne göre oldukça düşük olduğunu göstermektedir.

Orta Karadeniz Bölgesi'nde Kızılırmak ve Yeşilirmak nehirlerinin su kalitesinin Su Kalitesi İndeksi (WQI) ve istatistiksel analizler ile değerlendirildiği çalışmada, Kızılırmak'ın genel olarak I-II. sınıf su kalitesi karakteri taşıdığı, ancak özellikle ilkbahar döneminde WQI bakımından “zayıf” su kalitesi sınıfına düştüğü belirtilmiştir (Şimşek vd., 2022).

Aynı çalışmada havzanın, tarım, hayvancılık ve yerleşim baskıları nedeniyle önemli düzeyde besin maddesi ve organik yük altında olduğu vurgulanmaktadır. Bu bağlamda, Altinkaya Baraj Gölü istasyonlarında saptanan düşük $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- - \text{N}$ konsantrasyonları, havza ölçeğinde yüksek besin yüküne rağmen, göl içi süreçler ve hidrodinamik koşullar nedeniyle çözünmüş inorganik azotun su kolonunda nispeten sınırlı kaldığını düşündürmektedir.

Düşey dağılım bulguları bu yorumu desteklemektedir. Yaz ve sonbahar dönemlerinde yüzey tabakada $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- - \text{N}$ 'in 0,02 mg/L düzeyine kadar gerilemesi, fitoplankton ve bakteriyoplankton tarafından hızlı asimilasyona işaret ederken, orta ve dip tabakalarda 0,20–0,28 mg/L seviyelerinde korunması, mineralizasyon ve nitrifikasyon süreçleriyle derin tabakalarda yeniden zenginleşmeyi düşündürmektedir. Bu durum, stratifikasyonun güçlü olduğu dönemlerde besin tuzlarının üst karışık tabakadan alt tabakalara taşınması ve tekrar yüzeye dönmesinin sınırlanması ile uyumludur. Derbent Baraj Gölü için yapılan çalışmada da, yüksek trofik düzeye rağmen nitrata ilişkin dikey gradyanların gözlemlendiği ve göl içi biyokimyasal süreçlerin besin tuzu rejimini belirgin biçimde şekillendirdiği gösterilmiştir (Taş, 2006).

Havza ölçeğinde yürütülen kapsamlı değerlendirmelerde, Kızılırmak ve yan kollarının önemli düzeyde çevresel baskı altında olduğu, tarımsal gübreleme, hayvancılık faaliyetleri ve kentsel/ endüstriyel deşarjların TN yüklerini artırdığı ortaya konmuştur (Ayaz vd., 2013, Gül, 2021). Buna karşın, bu çalışmada gözlenen düşük $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- - \text{N}$ konsantrasyonları, Altınkaya Baraj Gölü'nün, havza kaynaklı yüksek yükün bir kısmını içsel süreçlerle (fitoplankton üretimi, sedimente tutunma, denitrifikasyon vb.) tamponladığını düşündürmektedir. Başka bir ifadeyle, dışsal yükler göl ekosistemine ulaşsa bile, rezidüel çözünmüş inorganik azot konsantrasyonları üst su kolonunda düşük kalmakta, bu da özellikle yaz–sonbahar döneminde azot sınırlı üretkenlik koşullarına zemin hazırlayabilmektedir.

Ötrofik sistemlerde trofik düzeyin tanımlanmasında fosforun belirleyici rolü sıkça vurgulanmakta, ancak azot formlarının mutlak yükü ve azot/fosfor oranları da fitoplankton bileşimi ve ekosistem yanıtını önemli ölçüde etkilemektedir (Bakan vd., 2010; Şimşek vd., 2022). Derbent Baraj Gölü için rapor edilen yüksek TN/TP oranları sistemin fosfor sınırlı olabileceğini göstermiştir (Taş, 2006). Bizim verilerimiz doğrudan N/P oranları sunmamakla birlikte, $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- - \text{N}$ düzeylerinin havza genelindeki birçok lokaliteye göre düşük olması, Altınkaya Baraj Gölü'nde dönemsel olarak azot sınırlamasının da önem kazanabileceğini işaret etmektedir. Özellikle yaz–sonbahar dönemlerinde yüzeyde neredeyse tespit sınırına yaklaşan $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- - \text{N}$ düzeyleri, diğer besin tuzları ile birlikte değerlendirildiğinde trofik yapı ve fitoplankton topluluk dinamikleri açısından kritik öneme sahiptir.

Su kalitesi yönetimi açısından bakıldığında, elde edilen $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- - \text{N}$ değerlerinin tamamı Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde I. sınıf için öngörülen sınır değerlerin oldukça altında kalmaktadır. Bu durum, Altinkaya Baraj Gölü'nün azot açısından şu anda kimyasal su kalitesi kriterlerini karşıladığını, kısa vadede içme ve sulama suyu kullanımı açısından $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- - \text{N}$ yönünden belirgin bir risk bulunmadığını göstermektedir (Aras & İpek, 2019; Şimşek vd., 2022). Bununla birlikte, havza kaynaklı besin yüklerinin sürdürülebilirliği ve gölün uzun dönem trofik evrimi dikkate alındığında, özellikle tarımsal drenaj ve yan kol girişleri boyunca noktasal ve yayılı azot girdilerinin kontrol altında tutulması önemini korumaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmada Altinkaya Baraj Gölü'nde ölçülen $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- - \text{N}$ konsantrasyonlarının:

- Kızılırmak ana kolu ve bazı yan kollarında bildirilen değerlere göre oldukça düşük olduğu,
- Dikey olarak orta ve dip tabakalarda yüzeye kıyasla daha yüksek konsantrasyonlar sergilediği,
- Mevsimsel olarak sonbaharda belirgin bir minimuma indiği gösterilmiştir.

Bu bulgular, göl ekosisteminde azotun hızlı çevrime giren ve görece düşük bir çözünmüş inorganik fraksiyonla temsil edildiğini ve stratifikasyon koşullarının dikey besin tuzu dağılımını güçlü şekilde şekillendirdiğini ortaya koymaktadır. Havza ölçeğinde devam eden antropojenik baskılar dikkate alındığında, gelecekte yapılacak çalışmalarda $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- - \text{N}$ ile birlikte TN, TP, klorofil-*a* ve Secchi disk derinliğinin eş zamanlı değerlendirilmesi; ayrıca N/P oranları, denitrifikasyon potansiyeli ve sedimandan besin salınımına odaklanan çalışmaların Altinkaya Baraj Gölü'nün taşıma kapasitesi ve trofik dinamiklerinin daha ayrıntılı biçimde anlaşılmasına önemli katkı sağlayacağı sonucuna varılmaktadır.

4.7. Amonyak

Altinkaya Baraj Gölü'nde belirlenen 0,002–0,434 mg/L aralığındaki NH_3 konsantrasyonları ve yaklaşık 0,044 mg/L'lik genel ortalama, Kızılırmak ana kolunun kirlenmeye daha açık kesimlerinde rapor edilen daha yüksek NH_3 düzeyleriyle karşılaştırıldığında gölün azot yükü açısından görece düşük–orta düzeyde bir kirlenme baskısı altında olduğunu göstermektedir (Aras & İpek, 2019; Bakan vd., 2010). Orta

Karadeniz’de Kızılırmak ve Yeşilirmak’ta Su Kalite İndeksi kullanılarak yapılan değerlendirmelerde Kızılırmak’ın çoğunlukla I-II. sınıf, bazı dönemlerde ise “zayıf” su kalitesi sınıfına gerilediği bildirilmiştir (Şimşek vd., 2022).

Altınkaya’da ölçülen ortalama NH_3 düzeyi, bu nehir kesimlerine göre daha düşük olup, gölün seyreltme, çökelme ve biyokimyasal dönüşüm süreçleriyle belirli ölçüde tamponlandığını düşündürmektedir.

Mevsimsel açıdan amonyağın ilkbahar–yaz döneminde düşük, sonbaharda ise yüzey ve dipte belirgin biçimde artması; yaz boyunca biriken fitoplankton biyokütlesinin sonbaharda parçalanması, su seviyesinin düşmesiyle hidrolik yenilenmenin yavaşlaması ve çevredeki tarımsal alanlardan taşınan azotlu girdilerin göle ulaşmasıyla uyumludur. Benzer biçimde Derbent Baraj Gölü’nde de su kalitesi analizleri, gölün genel olarak oligotrof–mezotrof karakter taşıdığını, ancak besin tuzu ve metal yüklerinin arttığı dönemlerde trofik baskının yükseldiğini ortaya koymuştur (Taş, 2006; Bakan vd., 2010). Karagöl (Hafik–Sivas) için bildirilen toplam $\text{NH}_3\text{-N}$ değerleri de trofik düzey ve havza kullanımı ile birlikte artmakta, özellikle yaz–sonbahar dönemlerinde yükselmektedir (Mutlu vd., 2013).

Altınkaya’da orta tabakada görece düşük NH_3 düzeyleri, bu zonun hem yüzey kaynaklı azot girdilerinden hem de sediman–su ara yüzeyi süreçlerinden kısmen izole olduğunu, dolayısıyla mevsimsel stratifikasyonun NH_3 dağılımını kontrol eden temel mekanizmalardan biri olduğunu düşündürmektedir.

Ekolojik ve yönetimsel açıdan bakıldığında, çalışma süresince kaydedilen en yüksek NH_3 değeri (0,434 mg/L), Derbent Baraj Gölü’nde bildirilen maksimum değerlere yakın olmakla birlikte, Yüzeysel Su Kalitesi Yönetmeliği ve su ürünleri yetiştiriciliği açısından önerilen sınır değerler dikkate alındığında, Altınkaya Baraj Gölü’nün NH_3 yönünden henüz kritik bir risk taşımadığını göstermektedir (Türkiye Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016; Atay, 1987; Taş, 2006; Şimşek vd., 2022).

Bununla birlikte, sonbahar döneminde yüzey ve dipte gözlenen yer yer yüksek konsantrasyonlar, özellikle sıcaklık ve pH’ın yükseldiği koşullarda serbest NH_3 formunun artarak balıklar ve diğer sucul organizmalar için toksisite riskini artırabileceğine işaret etmektedir. Bu nedenle, (i) Altınkaya Baraj Gölü’nde NH_3 , TN ve ilgili parametrelerin (pH, sıcaklık, çözülmüş oksijen) mevsimsel ve dikey dağılımının düzenli olarak izlenmesi, (ii) havza bazında tarımsal gübreleme ve atıksu

deşarjlarının kontrolü ve (iii) daha yüksek zamansal çözünürlükte veri ile sediman–su ara yüzeyi azot akıllarının nicel olarak ortaya konulması, gölün taşıma kapasitesinin ve su kalitesi yönetiminin sürdürülebilirliği açısından temel gerekliliklerdir. Sonuç olarak, Altinkaya Baraj Gölü güncel bulgular ışığında NH_3 açısından genel olarak uygun bir kalite sergilemekte; ancak sonbahar dönemindeki artışlar, gölün gelecekteki trofik durumunun ve su ürünleri potansiyelinin korunabilmesi için önleyici havza yönetimi ve sürekli izleme gerektiren duyarlı bir parametre olduğunu göstermektedir.

4.8. o-Fosfat

Altinkaya Baraj Gölü’nde belirlenen o-fosfat düzeyleri, Kızılırmak havzasının pek çok kesiminde ve deltadaki lagün göllerinde rapor edilen fosfor konsantrasyonlarına kıyasla oldukça düşüktür. Kızılırmak Nehri’nin Nevşehir kesiminde yürütülen çalışmada $\text{PO}_4\text{-P}$ konsantrasyonlarının 0,02–0,96 mg/L aralığında, ortalama 0,19 mg/L düzeyinde olduğu ve bu değerlerin Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’ne göre çoğunlukla III–IV. sınıf su kalitesine karşılık geldiği bildirilmiştir (Aras & İpek, 2019).

Buna karşılık Altinkaya’da ölçülen 0,0029–0,0162 mg/L-P aralığı, söz konusu nehir kesimindeki ortalama değerin yaklaşık bir büyüklük mertebesi altında olup, fosfor baskısının baraj gölü ortamında belirgin şekilde daha sınırlı olduğunu göstermektedir.

Benzer şekilde, Kızılırmak üzerinde yer alan Derbent Baraj Gölü’nde o-PO_4^{3-} 0,16 mg/L’ye kadar çıktığı ve gölün genel su kalitesinin II. sınıf düzeyinde olduğu raporlanmıştır (Taş, 2006).

Kızılırmak Deltası’ndaki Balık Gölü için yürütülen çalışmada TP ve TN konsantrasyonlarının yüksekliği nedeniyle trofik durum indeksinin çoğu mevsimde ötrofik–hipertrofik aralıkta olduğu, TSI (TP) değerlerinin 60’ın üzerinde gerçekleştiği belirtilmiştir (Ariman & Koyuncu, 2019). Orta Karadeniz’de Kızılırmak ve Yeşilirmak nehirleri üzerinde su kalite indeksi kullanılarak yapılan değerlendirmede de, özellikle besin tuzları (TP, TN) ve organik madde ile ilişkili parametrelerin WQI üzerinde belirleyici olduğu ve birçok istasyonda “zayıf–orta” su kalitesi sınıflarının baskın olduğu bildirilmiştir (Şimşek vd., 2022).

Bu çalışmalar, Kızılırmak havzasının özellikle alt kolları ve delta göllerinde fosfor yükünün önemli bir çevresel baskı unsuru olduğunu gösterirken, Altinkaya Baraj Gölü'nde ölçülen o-fosfat düzeylerinin görece düşük ve SKKY'de I–II. sınıf aralığı ile uyumlu olduğunu düşündürmektedir. Bununla birlikte, kış ve sonbahar dönemlerinde dip tabakasında izlenen görece yükselmiş o-fosfat ortalamaları, fosforun tamamen sınırlayıcı olmadığını; özellikle uzun süreli tabakalaşma ve organik madde birikiminin yoğunlaştığı yıllarda sediment kaynaklı iç yükleme yoluyla artış potansiyeli taşıdığını işaret etmektedir (Cüce vd., 2011).

Sonuç olarak,

- Altinkaya Baraj Gölü'nde o-fosfat konsantrasyonları, Kızılırmak havzasının ötrofik baskı altındaki diğer kesimlerine kıyasla düşük olup, mevcut durumda fosfor yönünden oligotrofik–düşük mezotrofik bir rejime işaret etmektedir.
- Buna rağmen, kış ve sonbaharda dipte gözlenen hafif zenginleşme ve havzada rapor edilen yüksek fosfor yükleri göz önüne alındığında, baraj gölünün trofik durumunun uzun vadede bozulmaması için özellikle tarımsal drenaj ve evsel atık kaynaklı fosfor girdilerinin izlenmesi ve kontrol altına alınması kritik öneme sahiptir.

4.9. Toplam Fosfor

Altinkaya Baraj Gölü'nde ölçülen TP konsantrasyonlarının 0,031–0,050 mg/L aralığında ve ortalama 0,039 mg/L düzeyinde olması, doğal oligotrofik göllerde bildirilen 0,01–0,03 mg/L aralığından ve I. sınıf sular için önerilen 0,02 mg/L sınırından daha yüksek bir trofik düzeye işaret etmektedir (Taş, 2006). Bu sonuç, baraj gölünün tamamen kirlenmiş olmamakla birlikte fosfor açısından oligotrofik sınırı aşmış, mezotrofik/alt ötrofik bir karaktere sahip olduğunu düşündürmektedir.

Derbent Baraj Gölü ve Kızılırmak Deltası'ndaki Balık Gölü için rapor edilen daha yüksek o-PO_4^{3-} ve TP değerleri ile ötrofik–hipertrofik trofik indeks sonuçları, havzada özellikle sığ ve durgun sistemlerin fosfor yüküne daha duyarlı olduğunu göstermektedir (Taş, 2006; Arıman & Koyuncu, 2019). Altinkaya'da TP ortalamasının Balık Gölü'ndekinin yaklaşık yarısı düzeyinde kalması, bu baraj gölünün hâlen

nispeten daha kontrollü bir fosfor yüküne sahip olduğunu; ancak bölgesel bağlamda ötrofikleşme riskinden bağımsız olmadığını ortaya koymaktadır.

Kızılırmak havzasında yürütülen diğer çalışmalarda, özellikle nehir kesimlerinde fosfor fraksiyonlarının çoğu zaman II.–IV. sınıf su kalitesi aralıklarında seyrettiği ve su kalite indeksine göre bazı dönemlerde “zayıf” su kalitesi sınıflarının baskın olduğu bildirilmiştir (Bakan vd., 2010; Aras & İpek, 2019; Şimşek vd., 2022). Bu bulgular, Altinkaya Baraj Gölü’ne ulaşan fosforun başlıca kaynağının tarımsal gübre kullanımı, evsel ve kısmen endüstriyel deşarjlar olduğunu; dip sularında gözlenen nispeten yüksek TP’nin ise sediman–su ara yüzeyinden gerçekleşen iç yüklemeyi yansıttığını düşündürmektedir.

Sonuç olarak, Altinkaya Baraj Gölü’nde TP düzeyleri kısa vadede akut bir kirlilik baskısına işaret etmese de, mevcut değerler orta düzeyde bir ötrofikleşme riski taşıdığını göstermektedir. Bu nedenle havza ölçeğinde fosfor girdilerinin azaltılması, sediman kaynaklı iç yüklemenin izlenmesi ve trofik seviye indeksinin periyodik olarak hesaplanması, göl ekosisteminin uzun vadeli sürdürülebilirliği açısından kritik yönetim öncelikleri olarak önerilebilir.

4.10. Toplam Azot

Altinkaya Baraj Gölü’nde ölçülen 0,10–0,63 mg/L aralığındaki TN konsantrasyonları ve yaklaşık 0,45 mg/L düzeyindeki genel ortalama, gölün ne düşük besin tuzlu oligotrofik sistemler ne de yüksek azot yüküne sahip hipertrofik ortamlar sınıfına girdiğini; ancak belirgin bir mevsimsel ve dikey besin tuzu değişkenliği gösterdiğini ortaya koymaktadır. Balık Gölü’nde aynı parametrenin ilkbahar ve sonbahar karışım dönemlerinde 0,95–1,70 mg/L arasında değiştiği ve özellikle sonbaharda hipertrofik trofik durumla birlikte arttığı bildirilmiştir (Cüce vd., 2011)

Bu karşılaştırma, Altinkaya’nın mutlak TN düzeyi açısından Balık Gölü’ne göre daha düşük, ancak yine de orta–yüksek trofik potansiyel taşıyan bir rezervuar olduğunu göstermektedir.

Kızılırmak Nehri ana kolu ve Derbent Barajı’nda yürütülen çalışmalar, havza genelinde besin tuzu girdilerinin tarımsal drenaj, evsel ve endüstriyel deşarjlar nedeniyle önemli ölçüde arttığını; Derbent Barajı’nın trofik durum indekslerine göre ötrofik özellikler sergilediğini ortaya koymuştur (Bakan vd., 2010)

Orta Karadeniz kıyı sularında Kızılırmak ve Yeşilirmak'ın taşıdığı yüklerin su kalite indeksi (WQI) ve çok değişkenli istatistiksel analizlerle değerlendirildiği çalışmada da, nehir-ağız kesimlerinde besin tuzu baskısı ve ekolojik riskin arttığı vurgulanmaktadır (Şimşek, 2022)

Altinkaya Baraj Gölü'nde TN'nin özellikle dip ve orta tabakada yüzeye göre daha yüksek olması, bu bölgesel eğilimle uyumlu biçimde, organik maddenin çökmesi, sedimanda mineralizasyon ve NH_4^+ / NO_3 birikimi ile ilişkili içsel yük süreçlerine işaret etmektedir. Benzer biçimde Balık Gölü'nde TP ve klorofil-*a* artışı ile ötrofikasyonun hızlanması, kıyısal sığ sistemlerin tarım, drenaj ve balıkçılık baskısı altında trofik seviyelerinin hızla yükseldiğini göstermektedir (Ariman & Koyuncu, 2019.; Cüce vd., 2011).

Öte yandan, Yukarı Kızılırmak Havzası'nda sulama suyu kalitesine odaklanan çalışmalar, yaz döneminde debi azalması ve buharlaşmanın artmasıyla birlikte çözünmüş madde ve besin tuzu birikiminin hızlandığını; bu durumun hem sulama suyu kalitesi hem de aşağı havzadaki rezervuarlar için ek bir baskı oluşturduğunu vurgulamaktadır (Koç vd., 2018)

Altinkaya Baraj Gölü'nde TN'nin kış ve ilkbaharda nispeten yüksek, sonbaharda ise yer yer düşen değerler göstermesi; havza ölçeğinde yağış-akış rejimi, tarımsal gübreleme dönemleri ve baraj işletme rejimiyle bağlantılı mevsimsel dış yüklenmenin yanı sıra, su kolonunda karışım-stratifikasyon dinamikleri ve sedimandan geri salım gibi iç süreçlerin birlikte etkili olduğunu düşündürmektedir. Sonuç olarak, Altinkaya Baraj Gölü'nde ölçülen TN düzeyleri, mevcut durumda orta düzeyde bir trofik baskıya ve ilerleyici ötrofikasyon riskine işaret etmektedir. Havza genelinde besin tuzu girdilerinin (özellikle tarımsal gübreleme ve drenaj) kontrolü, sediman kaynaklı içsel yüklenmenin izlenmesi ve Derbent–Altinkaya gibi ardışık rezervuarlarda su kalite indeksleri ile sürekli izleme yapılması, gölün uzun vadeli ekolojik kalitesinin korunması açısından kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

4.11. Askıda Katı Madde

Altinkaya Baraj Gölü'nde belirlenen 0,10–20,78 mg/L aralığındaki AKM konsantrasyonları ve yaklaşık 1,55 mg/L'lik genel ortalama, Kızılırmak havzası ve bölgedeki diğer su kütlelerinde bildirilen değerlere kıyasla nispeten düşük–orta

seviyeli bir askıda madde yüküne işaret etmektedir. Kızılırmak Nehri ana kolu ve Derbent Barajı'nda; besin tuzları, iz metaller ve trofik seviye indeksleri üzerinden yapılan çevresel kalite değerlendirmeleri, nehir su kalitesinin genel olarak orta düzeyde ve Derbent Barajı'nın ötrofik koşullarda olduğunu göstermektedir (Bakan vd., 2010).

Bu çalışmalar, Kızılırmak'ın önemli miktarda çözünmüş ve partiküler maddeyi denize taşıdığını ortaya koyarken, Altinkaya'da ölçülen düşük AKM ortalamaları, bu baraj gölünün AKM açısından görece daha berrak ve sediman taşınımı bakımından daha sakin bir ortam sunduğunu göstermektedir.

Benzer şekilde, Orta Karadeniz Bölgesi'nde Kızılırmak ve Yeşilirmak nehirleri için yürütülen su kalite indeksi (WQI) temelli çalışmada, havza ölçeğinde tarımsal faaliyetler, evsel ve endüstriyel deşarjların su kalitesini baskıladığı; buna karşın Kızılırmak'ın genel olarak içme, sulama ve endüstriyel kullanım açısından uygun sınıflarda değerlendirildiği bildirilmiştir (Şimşek vd., 2022).

Bu bağlamda, Altinkaya Baraj Gölü'nde saptanan düşük AKM düzeyleri, Kızılırmak'ın taşıdığı besin ve partikül yükünün bu rezervuarda önemli ölçüde seyrelmiş ve/veya çökelmiş olabileceğini; askıda maddelerden ziyade çözünmüş besin tuzları ve organik yükün trofik yapı üzerinde daha belirleyici olduğunu düşündürmektedir.

Literatürde farklı iç su sistemleri için rapor edilen sonuçlar da Altinkaya'daki AKM düzeylerinin göl/rezervuar tipine göre değişebildiğini göstermektedir. Örneğin Karagöl (Hafik-Sivas)'te yürütülen bir çalışmada, AKM parametresi, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), besin tuzları ve ağır metallerle birlikte değerlendirilerek gölün Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre sınıflandırılmasında kullanılmış; gölün kirlenmeye hassas, ancak sediman ve organik madde girdilerinin göl ölçeğinde belirgin mevsimsel dalgalanmalar gösterdiği bildirilmiştir (Mutlu vd., 2013).

Kızılırmak Deltası'nda yer alan Balık Gölü'nde ise, toplam çözünmüş katılar (TDS), bulanıklık (yaklaşık 19,89–62,56 NTU) ve çok düşük Secchi disk derinlikleri (ortalama ~0,36 m) hipertrofik koşulları ve yüksek partikül yükünü işaret etmekte, trofik seviye indekslerinin çoğu zaman ötrofik/hipertrofik sınırlara ulaştığı vurgulanmaktadır (Cüce vd., 2011; Arıman & Koyuncu, 2019). Altinkaya Baraj Gölü'nde ölçülen AKM değerleri hem Karagöl hem de Balık Gölü gibi daha küçük,

sığ ve besin girdisine daha açık sistemlere kıyasla belirgin biçimde düşük kalmakta; bu da rezervuarın su kolonunda ışık geçirgenliği ve sediman taşınımı açısından görece daha elverişli bir durum sergilediğini göstermektedir.

Altinkaya Baraj Gölü verilerinde kış döneminde dip tabakada ortaya çıkan 20,78 mg/L'lik maksimum AKM değerleri, havzanın morfolojisi ve hidrodinamik özellikleri göz önüne alındığında, olasılıkla yoğun karışım dönemlerinde sediman resüspansiyonu, nehir girişlerinden taşınan ince partiküller ve olası kıyı erozyonu kaynaklı geçici yük artışları ile açıklanabilir. Buna karşılık ilkbahar ve sonbaharda hem yüzey hem de dip sularında 1 mg/L'nin altında seyreden ortalama değerler, baraj gölünün durgun dönemlerde düşük partikül yüküne sahip, daha stabil bir limnolojik yapı sergilediğini göstermektedir.

Bu bulgular, (i) Altinkaya Baraj Gölü'nde AKM seviyelerinin genel olarak düşük–orta düzeyde olduğunu, (ii) yüksek piklerin ise mevsimsel karışım ve sediman dinamiklerine bağlı kısa süreli olaylar olabileceğini, (iii) bölgedeki diğer göl ve deltatik sistemlere kıyasla trofik baskının daha çok çözünmüş besinler ve organik yük üzerinden gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, AKM parametresi bakımından Altinkaya Baraj Gölü, su kalitesi ve su ürünleri yetiştiriciliği açısından elverişli bir aralıkta yer almakta; ancak özellikle kış döneminde dip tabakadaki yüksek değerler göz önüne alınarak, sediman–su ara yüzeyi süreçleri ve yüksek akış dönemlerindeki partikül madde taşınımının düzenli olarak izlenmesi, ekosistem bütünlüğünün korunması açısından önemli görünmektedir.

4.12. Klorofil-*a*

Altinkaya Baraj Gölü'nde belirlenen 0,00–6,87 µg/L aralığındaki klorofil-*a* konsantrasyonları ve $0,70 \pm 0,18$ µg/L'lik genel ortalama, gölün fitoplankton biyokütlesi açısından oligotrofik–alt mezotrofik bir karakter sergilediğini düşündürmektedir. Kızılırmak Nehri'nde yürütülen çalışmada klorofil-*a* değerlerinin 0,75–8,94 (µg/L) aralığında rapor edilmiş olması, akarsu kesiminde zaman zaman Altinkaya Baraj Gölü'ne göre daha yüksek trofik koşulların oluşabildiğini, ancak aynı büyüklük mertebesinde kaldığını göstermektedir (Karadağ, 2022).

Buna karşın, Kızılırmak Deltası'ndaki Balık Gölü'nde klorofil-*a* konsantrasyonlarının ilkbaharda 7–57 µg/L, sonbaharda ise 84 µg/L'ye kadar

yükseldiği ve trofik seviyenin özellikle güneydoğu kıyılarında ötrofik–hiperötrofik düzeye ulaştığı bildirilmiştir (Cüce vd., 2011; Arıman & Koyuncu, 2019).

Bu karşılaştırma, Altinkaya Baraj Gölü'nün hem deltadaki lagün göllerine hem de yoğun antropojenik baskı altındaki kıyısız sulak alanlara göre belirgin biçimde daha düşük fitoplankton biyokütlesine sahip, görece olarak korunmuş bir sistem olduğunu ortaya koymaktadır.

Balık Gölü için yürütülen çalışmada, Secchi diski derinliği, klorofil-*a*, TP ve TN kullanılarak hesaplanan Trofik Seviye İndeksi (TSI) değerlerinin genellikle 60–70 aralığında seyrettiği ve hipertrofik koşulların yaygın olduğu gösterilmiştir (Arıman & Koyuncu, 2019).

Buna karşılık Altinkaya Baraj Gölü'nde klorofil-*a* değerlerinin çoğunlukla 2 µg/L'nin altında kalması ve özellikle sonbaharda 0,2 µg/L düzeyine kadar düşmesi, su kolonunda ışık geçirgenliğinin daha yüksek, besin tuzu yükünün ise görece sınırlı olduğunu düşündürmektedir. Bu durum; (i) baraj gölünün daha derin ve hacimli olması, (ii) Kızılırmak'ın delta öncesi kesiminde sediman ve besin tuzlarının önemli bir kısmının çökmesi ve seyrilmesi, (iii) Altinkaya Havzası'nda tarımsal ve evsel yüklerin daha kontrollü olması gibi faktörlerle açıklanabilir (Karadağ, 2022).

Günlük ve kısa dönemli klorofil-*a* değişimlerinin ışık ve besin rejimine son derece duyarlı olduğu, akarsu ve geçiş sistemlerinde fitoplankton dinamiklerinin birkaç gün–hafta ölçeğinde önemli dalgalanmalar gösterebildiği daha önce çeşitli çalışmalarda vurgulanmıştır (Karadağ, 2022).

Bu çalışmada kullanılan veri seti, tek baraj gölünde dört mevsim ve üç derinliği temsil eden ortalamalara dayandığından, kısa süreli piklerin ayrıntılı zamansal dinamiğini tam olarak ortaya koymaktan çok, sistemin genel trofik durumunu tanımlamaktadır. Ayrıca hesaplanan genel standart hata değeri mevsim–derinlik ortalamaları üzerinden elde edildiğinden, istasyondaki tüm ham örneklem sayısını yansıtmamakta; bu nedenle gerçek uzamsal–zamansal değişkenlik muhtemelen burada sunulandan biraz daha yüksektir.

Sonuç olarak, Altinkaya Baraj Gölü'nde klorofil-*a* konsantrasyonları çalışma dönemi boyunca düşük düzeylerde seyretmiş, özellikle sonbaharda belirgin şekilde azalarak oligotrofik koşullara yaklaşmıştır. Kış döneminde yüzey tabakasında gözlenen sınırlı artışlar, havza bazlı besin girdilerinin (akış rejimi, yağışlar, tarımsal

drenaj vb.) ve termal/karışım dinamiklerinin yakından izlenmesi gerektiğini göstermektedir. Bu bulgular, Altinkaya Baraj Gölü'nün mevcut durumda iyi-orta su kalitesi sınıfında, fitoplankton baskısının görece düşük olduğu bir iç su ekosistemi olduğunu, ancak Kızılırmak havzasındaki artan antropojenik baskılar dikkate alındığında klorofil-*a*'nın TN ve P ile birlikte uzun dönemli izleme programlarının temel biyolojik göstergelerinden biri olarak kullanılmasının gerekli olduğunu ortaya koymaktadır (Karadağ, 2022).

4.13. Organik Madde

Altinkaya Baraj Gölü'nde ölçülen 6,88–14,88 mg/L aralığındaki organik madde değerleri ve yaklaşık 8,5 mg/L civarındaki genel ortalama, gölün organik yük bakımından orta düzeyde, yer yer ise belirgin şekilde yükselmiş koşullar sergilediğini göstermektedir. Düşük standart hata ($\pm 0,12$ mg/L), mevsim–derinlik kombinasyonları arasında aşırı heterojenlik olmadığını; ancak kış yüzeyinde görülen tekil yüksek değer ve ilkbahar dip suyundaki artış, dönemsel girdiler ve iç yüklenmenin organik madde dinamiklerinde önemli rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu bulgu, Kızılırmak havzasında antropojenik baskıların özellikle tarımsal drenaj, yerleşim alanları ve akarsu rejimindeki düzensizlikler üzerinden su kalitesini etkilediğine işaret eden çalışmaları destekler niteliktedir.

Kızılırmak Nehri ve kıyısal ortamında yürütülen entegre çevresel kalite değerlendirmesinde, Derbent Barajı'nda sediment organik madde yüzdesinin %1,41–4,60 arasında değiştiği ve trofik seviye indekslerine göre sistemin ötrofik özellikler gösterdiği bildirilmiştir (Bakan vd., 2010).

Balık Gölü için yürütülen çalışmada ise yüksek klorofil-*a*, CDOM, TN ve TP konsantrasyonları sonucunda trofik seviye indeksinin çoğu dönemde ötrofik–hipertrofik aralığa çıktığı ve gölün kritik durumda olduğu vurgulanmıştır (Ariman & Koyuncu, 2019).

Bu literatür bulguları, Kızılırmak havzası su kütlelerinde organik madde ve besin tuzu yüklenmesinin ekosistem düzeyinde önemli sonuçlar doğurabildiğini göstermektedir. Altinkaya Baraj Gölü'nde belirlenen organik madde düzeyleri, Derbent Barajı'nda bildirilen ötrofik koşullardan daha düşük olmakla birlikte,

özellikle kış ve ilkbahar dönemlerinde gözlenen artışlar, gölün mezotrof–yer yer ötrofik bir üretkenlik düzeyine yöneldiğini düşündürmektedir.

Orta Karadeniz bölgesinde Kızılırmak ve Yeşilirmak nehirleri için yürütülen çalışmalarda, su kalite indekslerine göre Kızılırmak’ın içme, sulama ve endüstriyel kullanım açısından genel olarak uygun, ancak özellikle bazı dönemlerde “zayıf” su kalitesi sınıfına gerileyebildiği; bu durumun da havzadaki tarım, yerleşim ve sanayi kaynaklı yüklenmeyle ilişkili olduğu belirtilmiştir (Şimşek vd., 2022).

Kızılırmak ana kolu ve Delice Irmağı’nda mevsimsel olarak 5,2–39,1 mg/L KOİ ve 2,2–13,7 mg/L BOİ₅ aralıklarında değişen organik kirlilik göstergeleri, akarsu sisteminde organik yükün yer yer belirginleştiğini ortaya koymaktadır (Karadağ, 2022; Gül, 2021). Altinkaya Baraj Gölü’nde saptanan organik madde düzeyleri, bu akarsu kesimlerindeki yüksek organik kirlilik düzeylerinden daha düşük, fakat yine de organik yükün su kalitesi ve oksijen rejimi üzerinde etkili olabileceği bir aralıkta seyretmektedir.

Ekolojik açıdan bakıldığında, organik madde konsantrasyonlarının bu düzeyi, özellikle ilkbaharda artan fitoplankton üretimi ve yaz–sonbahar dönemlerinde gerçekleşen ayrışma süreçleriyle birlikte değerlendirildiğinde, içsel oksijen tüketiminde artış ve dip sularında zaman zaman oksijen azalması riskini gündeme getirmektedir. Organik maddenin önemli bir kısmının Kızılırmak’tan taşınan alloktan girdiler (tarımsal drenaj, evsel atık deşarjları, erozyonla taşınan organik ince partiküller) ve göl içi üretim (fitoplankton ve makrofit biyokütlesi) kaynaklı olması muhtemeldir. Koç vd., (2018) tarafından Yukarı Kızılırmak Havzası’nda ortaya konan yüksek tuzluluk ve akım rejimine bağlı seyrelme yetersizliği, organik maddede de benzer şekilde, düşük debili dönemlerde konsantrasyonların yükselmesine zemin hazırlamaktadır.

Sonuç olarak, Altinkaya Baraj Gölü’nde organik madde konsantrasyonları:

- Genel olarak 8–9 mg/L düzeyinde, düşük varyasyonlu ve belirgin bir dikey tabakalaşma göstermemekte,
- Kış yüzeyinde ve ilkbahar dip sularında belirgin artışlarla zaman zaman yüksek organik madde epizotlarına işaret etmekte,

- Kızılırmak havzasına ait diğer çalışmalarla birlikte değerlendirildiğinde, gölün mezotrof–yer yer ötrofik özellikler sergilediğini ve havza kaynaklı organik yüklerin su kalitesi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Bu bulgular, organik madde ve ilişkili parametrelerin (KOİ, BOİs, klorofil-*a*, besin tuzları) düzenli izlenmesi, havzada tarımsal ve evsel kaynaklı organik yüklerin azaltılması ve özellikle kış–ilkbahar dönemlerinde iç yüklenmenin kontrolüne yönelik ekosistem temelli yönetim stratejilerinin geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

4.14. Toplam Sertlik

Altinkaya Baraj Gölü’nde belirlenen 466 mg/L CaCO₃ düzeyindeki ortalama toplam sertlik, karbonatça zengin jeolojik bir havzada beklenen “çok sert su” karakterini yansıtmaktadır. Bu değer, Delice Irmağı’nda rapor edilen 461,04 ± 170,42 mg/L (155–1044 mg/L) ortalama toplam sertlik ile aynı mertebede olup, Derbent Baraj Gölü yüzey sularında belirlenen 377,3 mg/L’lik toplam sertlikten belirgin şekilde yüksektir (Taş, 2006).

Karagöl’de ise toplam alkalinite (~261,8 mg/L CaCO₃) ile toplam sertlik yıl boyunca birbirine paralel seyretmiş, sertlik değerinin alkaliniteden yalnızca 4–5 mg/L daha düşük olduğu bildirilmiştir; bu, yaklaşık 260 mg/L civarında, Altinkaya’ya kıyasla daha düşük ama yine sert su karakterine işaret etmektedir (Mutlu vd., 2013).

Bu karşılaştırma, Altinkaya Baraj Gölü’nün bölgedeki birçok göl ve akarsuya göre daha yüksek mineral yüklü bir sistem olduğunu ortaya koymaktadır.

Toplam sertliğin bileşimini esas olarak kalsiyum ve magnezyum iyonları oluşturmakta, bu iyonlar havzadaki kireçtaşı ve dolomitli formasyonların çözünmesi, yüksek elektriksel iletkenlik ve su seviyesinin özellikle yaz-sonbahar döneminde düşmesiyle birleşerek sertliği artırmaktadır (Gül, 2021). Delice Irmağı çalışmasında da toplam sertlikteki mevsimsel artışlar, kış-sonbahar dönemlerinde azalan debi ve artan çözünmüş Ca–Mg konsantrasyonlarına bağlanmış; benzer süreçlerin Altinkaya Baraj Gölü’nde de yaz ve sonbahardaki yüksek sertlik değerlerini desteklemesi olasıdır.

Ekolojik açıdan bakıldığında, sert suların yüksek tamponlama kapasitesi pH dalgalanmalarını sınırlayarak balık ve diğer sucul organizmalar için nispeten stabil bir kimyasal ortam sağlar. Ayrıca Ca ve Mg iyonlarının, balık solungaçlarından ağır metal

alımını azaltarak toksisiteyi sınırlayabildiği, bu nedenle sert suların ağır metal kirliliğine karşı koruyucu etki gösterebildiği bildirilmektedir (Gül, 2021). Bununla birlikte, Altınkaya’da belirlenen seviyeler içme suyu açısından kabuklanma (kireç taşı oluşumu) ve sabun tüketimini artırıcı etkiler yaratabileceğinden, içme ve kullanma suyu amaçlı değerlendirmede arıtma ve yumuşatma gereksinimi göz önünde bulundurulmalıdır. Ulusal ve uluslararası yüzeysel su kalite standartlarında toplam sertlik için doğrudan bir çevresel kalite sınırı belirtilmemekle birlikte, çok sert su karakteri, gölün hem sulama hem de akuakültür kullanımları açısından yüksek tamponlama kapasitesine sahip, ancak mineralce zengin bir sistem olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, Altınkaya Baraj Gölü’nde toplam sertlik yıl boyunca yüksek ve görece dengeli olup, yaz-sonbahar dönemlerinde buharlaşma ve azalan su hacmine bağlı konsantrasyon etkisiyle artış göstermektedir. Bu bulgular, gölün güçlü bir karbonat tampon sistemiyle karakterize olduğunu, sucul organizmalar açısından kimyasal olarak istikrarlı, ancak içme ve kullanım suyu açısından ise “çok sert su” özellikleri nedeniyle dikkatli değerlendirilmesi gereken bir kaynak olduğunu ortaya koymaktadır.

4.15. Bentik Makroomurgasızlar ve TR-BMWP/TR-ASPT (Biyotik İndeks) Değerlendirmesi

Bu çalışmada Altınkaya Baraj Gölü’nde bentik makroomurgasız topluluğu familya düzeyinde değerlendirilmiş ve Türkiye akarsu ve göl faunasına göre uyarlanmış TR-BMWP puanları kullanılarak istasyon–mevsim bazında biyotik skorlar hesaplanmıştır (Kazancı vd., 2016). TR-BMWP skorları 0–23 aralığında değişmiş; TR-ASPT değerleri ise 3,0–5,5 aralığında gerçekleşmiştir (Tablo 12). Familya sayısı (N) çoğu örnekte düşük olup 0–6 arasında değişmiş; bazı mevsim–istasyon kombinasyonlarında bentik familya tespit edilememesi nedeniyle (N=0) TR-ASPT hesaplanamamıştır. Bu durum, baraj gölü bentik habitatlarının mekânsal olarak yamalı (heterojen) bir dağılım gösterebildiğini ve bazı istasyonlarda/derinliklerde bentik yaşam için elverişsiz koşulların oluşabildiğini düşündürmektedir.

Mekânsal desen incelendiğinde, en yüksek TR-BMWP değerlerinin Sonbahar döneminde İst5’te (23; N=5) ve Yaz döneminde İst7’de (22; N=6) gözlenmesi, bu

istasyonlarda bentik topluluğun hem familya sayısı hem de duyarlılık puanı bakımından görece daha güçlü bir “ekolojik sinyal” verdiğini göstermektedir. Buna karşın özellikle Kış mevsiminde İst3–İst6 aralığında skorların “0” olması (N=0), bu kesimlerde bentik organizmaların ya bulunmadığını ya da örnekleme ölçeğinde tespit edilemeyecek kadar düşük yoğunlukta kaldığını işaret etmektedir. Baraj göllerinde derin ve ince taneli sedimanlara sahip alanlarda, özellikle oksijenin sınırlı olduğu dönemlerde bentik çeşitliliğin düşmesi beklenen bir durumdur; bu nedenle “0” değerleri, yalnızca kirlilik değil aynı zamanda habitat uygunluğu gibi faktörlerle birlikte yorumlanmalıdır.

Mevsimsel desen açısından, İlkbahar ve Yaz dönemlerinde bazı istasyonlarda familya sayısının artması (ör. Yaz-İst7: N=6; İlkbahar-İst7: N=5) ve skorların yükselmesi, ısınma ile birlikte üretkenliğin artması ve kıyısız alanlarda habitat çeşitliliğinin (ör. sert substrat/bitkisel materyal/çökelim mozağı) artmasıyla ilişkili olabilir. Buna karşılık Kış döneminde birçok istasyonda bentik familya tespit edilememesi, soğuk dönemde metabolik aktivitenin azalmasıyla birlikte özellikle derin zonlarda elverişsiz sediman-oksijen koşullarının baskınlaşmasıyla açıklanabilir. Sonbaharda bazı istasyonlarda skorların yükselmesi (özellikle İst5), yaz boyunca biriken organik materyalin ve ısının kademeli olarak dağılımının değişmesi, karışım derinliğinin artması ve bazı bentik gruplar için daha uygun koşulların oluşmasıyla ilişkili olabilir.

Topluluk bileşimi incelendiğinde, Altıncaya’da TR-BMWP puanı görece düşük-orta aralıkta olan familyaların (Dreissenidae=3, Asellidae=3, Lymnaeidae=3, Physidae=3, Bithyniidae=3, Planorbidae=2, Erpobdellidae=2) sık kaydedildiği; daha yüksek puanlı grupların ise sınırlı ölçüde temsil edildiği (Libellulidae=7, Neritidae=6, Gammaridae=5) görülmektedir (Tablo 11). Bu kompozisyon, “duyarlı familyaların” sayısının az olması nedeniyle TR-BMWP toplam skorunun çoğu istasyonda düşük kalmasını açıklamaktadır. Ayrıca TR-BMWP hesaplamalarının bolluk temelli değil, familya varlığına dayalı olması nedeniyle, örneğin Dreissena polymorpha gibi türlerin bazı istasyonlarda yüksek bollukta bulunması TR-BMWP skorunu otomatik olarak yükseltmemektedir; çünkü ilgili familya (Dreissenidae) istasyonda bir kez sayılmakta ve puanı da düşüktür (Kazancı vd., 2016). Bu nedenle indeks, “birey sayısından” çok topluluğun duyarlılık profiline odaklanan bir değerlendirme sunmaktadır.

TR-ASPT sonuçları, örneklerin önemli bir bölümünde 3,0–4,6 bandında toplanmış; bazı noktalarda 5,0–5,5 değerleri görülmüştür (Tablo 12). ASPT yorumlamasında <4 “çok kirli”, 4–5 “orta kirli”, 5–6 “şüpheli”, >6 “temiz” sınıflaması örnek bir çerçeve olarak kullanılabilir (Armitage vd., 1983; Baytaşoğlu & Gözler, 2021). Bu çalışmada ASPT’nin çoğunlukla 4’ün altında veya 4–5 aralığında gerçekleşmesi, bentik topluluğun genel olarak düşük duyarlılık/tolerant familyalarca temsil edildiğini ve ekolojik durumun biyotik bileşen açısından iyileşme potansiyeli taşıdığını düşündürmektedir. Bununla birlikte ASPT’nin normalize bir ölçüt olması nedeniyle, familya sayısının çok düşük olduğu örneklerde (özellikle N=1–2) ASPT değeri tek bir familyanın puanına “kilitlenebilir”; dolayısıyla ASPT, mutlaka N ile birlikte yorumlanmalıdır. Örneğin Kış-İst1’de ASPT=5,5 görünse de N=2’dir; bu tür örneklerde “yüksek” ASPT, topluluğun zenginliğinden ziyade sınırlı sayıda familyanın puanına bağlıdır.

Biyotik indeks sonuçları, bu tezde tartışılan fiziksel–kimyasal bulgularla birlikte ele alındığında daha anlamlı hale gelmektedir. Özellikle yaz döneminde tabakalaşmanın güçlenmesi ve derin tabakalarda çözünmüş oksijenin kritik düzeylere kadar düşmesi, bentik habitatın ekolojik kalitesini sınırlandırabilen temel süreçlerdendir. Derin zonlarda oksijen azalımı ve sedimanda organik madde birikimi arttıkça, duyarlı bentik grupların azalması ve toleransı yüksek grupların görece baskınlığı beklenir. Bu nedenle Altınkaya’da TR-BMWP skorlarının çoğu istasyonda düşük kalması, yalnızca dışsal kirletici yüklerle değil; stratifikasyon, derin zon oksijenlenmesi, sediman karakteri ve organik birikim gibi baraj gölü içi süreçlerle birlikte değerlendirilmelidir.

Yöntemsel sınırlılıklar açısından, TR-BMWP Türkiye’de göl faunasına dayalı olarak geliştirilmiş bir indekstir ve baraj göllerinde uygulanması “gösterge/karşılaştırmalı” bir yaklaşım olarak ele alınmalıdır (Kazancı vd., 2016). Ayrıca Van Veen grab ile alınan örnekler özellikle yumuşak sedimanlı derin zonları temsil eder; kıyasal sert substrat, taşlık alanlar veya makrofitli habitatlar yeterince temsil edilmediğinde familya zenginliği ve skorlar düşük çıkabilir. Bu nedenle ileride yapılacak izlemelerde, kıyasal habitatların ve olası akarsu giriş zonlarının da ayrı bir örnekleme tasarımıyla değerlendirilmesi, biyotik indekslerin ayırt ediciliğini artıracaktır.

Öneri Olarak; bu çalışma sonucunda Altınkaya Baraj Gölü'nün su kalitesi ve ekolojik yapısının genel olarak yetiştiricilik faaliyetlerini destekleyebilecek özellikler taşıdığı, ancak özellikle derin sularda çözünmüş oksijen azalımı, besin tuzu birikimi riski ve bentik habitat üzerindeki olası baskılar nedeniyle dikkatli bir yönetim yaklaşımına ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. Bu nedenle gölde sürdürülebilir su ürünleri üretimi için öncelikle düzenli ve uzun dönemli izleme programları uygulanmalıdır. Özellikle sıcaklık, çözünmüş oksijen, toplam fosfor, toplam azot, klorofil-*a* ve bentik makroomurgasız toplulukları mevsimsel olarak takip edilmelidir. Yaz döneminde tabakalaşmanın güçlenmesiyle birlikte derin sularda oksijen seviyelerinin düşmesi, yetiştiricilik faaliyetlerinin planlanmasında kritik bir unsur olarak dikkate alınmalıdır.

Ayrıca kafes balıkçılığı kaynaklı organik madde ve fosfor yükünü azaltmak amacıyla yem yönetimi optimize edilmeli, düşük fosfor içerikli yemler tercih edilmeli ve yem kayıpları en aza indirilmelidir. Gölün taşıma kapasitesi sabit bir değer olarak değil, çevresel koşullara göre güncellenmesi gereken dinamik bir eşik olarak değerlendirilmelidir. Bunun yanında yalnızca su kolonuna dayalı değil, sediman ve bentik kaliteyi de içeren bütüncül bir izleme yaklaşımı benimsenmelidir. Havza ölçeğinde tarımsal ve yerleşim kaynaklı girdilerin kontrol altına alınması da gölün uzun vadeli korunması açısından önem taşımaktadır. Sonuç olarak Altınkaya Baraj Gölü'nde sürdürülebilir kullanım için üretim artışını önceleyen değil, ekolojik sınırları esas alan koruyucu ve adaptif bir yönetim modeli uygulanmalıdır.

KAYNAKÇA

- Acara, A. ve Coşkun, F., 1989. Su Ürünleri ve Su Ürünleri Sanayi, Devlet Planlama Teşkilatı Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara.
- Akyüz Şahin, P., Morkoyunlu Yüce, A., Soylu, E., 2013. Büyük Akgöl (Sakarya) Fitoplankton Kompozisyonu ve Mevsimsel Değişimleri, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 9(2): 14-21.
- Alabaster, J. S., & Lloyd, R., 1980. Water quality criteria for freshwater fish (2nd ed.). London: Butterworths for the Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Alvarado, J. L., 1997. Aquafeeds and the environment, In Tacon A.G.J. (ed.), Basurco B. (ed.). Feeding tomorrow's fish. Zaragoza: CIHEAM-IAMZ, p. 275-289: 2 ill. 7 graphs. 4 tables. 15 ref. (Cahiers Options Mediterraneennes; v. 22), Workshop of the CIHEAM Network on Technology of Aquaculture in the Mediterranean (TECAM), 1996/06/24-26, Mazarron (Spain).
- Anonim, 1994. XII. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu Bildirimler Kitabı. 2-5 Eylül 1994.
- Aras, S., & İpek, G. G., 2019. Kızılırmak Nehri (Nevşehir) yüzey suyu kalitesinin coğrafi bilgi sistemleri ile değerlendirilmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(2), 48-57.
- Ariman, S., & Koyuncu, S., 2019. Su Kirliliği Açısından Hassas Alanların İzlenmesi: Kızılırmak Deltası-Balık Gölü. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 705-714.
- Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F., & Furse, M. T., 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites. Water Research, 17(3), 333-347.
- Atay, D., 1987. İçsu balıkları yetiştiriciliği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Atay, D., & Pulatsü, S., 2000. Su Kirlenmesi ve Kontrolü Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Atıcı, A. A., Elp, M., & Şen, F., 2023. Effects of total suspended solids at different levels on the eggs and larvae of endemic fish, tarek (*Alburnus tarichi* Güldenstädt, 1814) in the Karasu River (Van, Turkey). Aquatic Sciences and Engineering, 38(3), 145-150. <https://doi.org/10.26650/ASE20231264370>.

- Ayaz, S. Ç., Aktaş, Ö., Dağlı, S., Aydöner, C., Aytış, E. A., & Akça, L., 2013. Pollution loads and surface water quality in the Kızılırmak Basin, Turkey. *Desalination and Water Treatment*, 51(7-9), 1533-1542.
- Ayllón, D., Almodóvar, A., Nicola, G. G., Parra, I., & Elvira, B., 2012. A new biological indicator to assess the ecological status of Mediterranean trout type streams. *Ecological indicators*, 20, 295-303.
- Bakan, G., Özkoç, H. B., Tülek, S., & Cüce, T. H., 2010. Integrated environmental quality assessment of the Kızılırmak River and its coastal environment. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10(4).
- Baytaşoğlu, H., & Gözler, A. M., 2021. Evaluation of water quality of Çoruh River Basin (Turkey) using some biotic indices. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(4), 399–409. <https://doi.org/10.12714/egejfas.38.4.01>.
- Beveridge, M. C. M., 1984. Cage and pen fish farming, carrying capacity models and environmental impact. *FAO Fisheries Technical Paper 255*, Rome, 131p.
- Biyolokum, 2018, 13 Mart. Göllerin limnolojik olarak sınıflandırılması. *Biyoloji Günlüğü*. (Erişim tarihi: 21.12.2019).
- Bostock, J., 2011. Foresight Project on Global food and Farming Futures. The Application Of Science and Technology Development in Shaping Current and Future Aquaculture Production Systems, *Journal of Agricultural Science*, 149, 133-141.
- Boyd, C. E., 2014. *Water Quality*. Auburn University, School of Fisheries, Aquaculture and Aquatic Sciences 353p, Auburn, AL, USA.
- Boyd, Claude & Queiroz, J. F., 2001. Nitrogen and phosphorus loads by system, USEPA should consider system variables in setting new effluent rules. *Global Aquacult Advocate*, 4: 84-86.
- Carlson, R. E., 1977. A trophic state index for lakes 1. *Limnology and oceanography*, 22(2), 361-369.
- Cerit, O., 2008. Göllerin kirliliği [Ders notları]. Cumhuriyet Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü. 15 Kasım 2019 tarihinde http://cerit.cumhuriyet.edu.tr/ders/cmg/hafta_5/GolKirliligi.pdf.
- Collings, G., Cheshire, A., & Tanner, J., 2007. Carrying capacity modeling. Southern Bluefin Tuna Aquaculture, Sub-Program: Tuna Environment Subproject–Development of Regional Environmental Sustainability Assessments for Tuna Sea-cage Aquaculture. *Tech Rep., Aquafin CRC Project*, 4(3), 238-260.

- Cüce, H., Bakan, G., & Akıncı, H., 2011. Balık Gölü (Kızılırmak Deltası, Samsun) su kalitesinin konumsal analizi. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 2011 (CBS 2011), 31 Ekim–4 Kasım 2011, Antalya, Türkiye.
- Çantaş, İ. B. ve Yıldırım, Ö., 2019. Reducing the impact of feeds on the environment in sustainable aquaculture, *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 36(1): 87-97. <https://doi.org/10.12714/egejfas.2019.36.1.12>.
- Çetinkaya, O., 2003. Su Kalitesi Ders Notları, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Bölümü. Van, Türkiye, 76s.
- Dayıoğlu, H., Özyurt, M. S., Bingöl, N., & Yıldız, C., 2004. Kütahya İli İçme Sularının Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Bakteriyolojik Özellikleri. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (007), 71-90.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2009. Türkiye barajlar envanteri. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Dillon, P. J. ve Rigler, F. H., 1974. A test of simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentrations in lake water, *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 31(14): 1771-1778 pp.
- Duran, M., Tüzen, M., & Kayim, M., 2003. Exploration of biological richness and water quality of stream Kelkit, Tokat-Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 12(4), 368–375.
- Edmondson, W. T., 1972. Nutrients and phytoplankton in Lake Washington, p 172–193. In *Nutrients and eutrophication. Spec. Symp (Vol. 1)*.
- Food and Agriculture Organization, 1992. Guidelines for the promotion of environmental management of coastal aquaculture development. Rome: FAO.
- Göksu, M. Z. L., 2003. Su kirliliği. Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, (7), 232.
- Gül, G., 2021. Delice Irmağı (Kızılırmak) ihtiyofaunası ve bazı su kalite parametrelerinin araştırılması (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- Håkanson, L., & Jansson, M., 1983. Principles of lake sedimentology (Vol. 316). Berlin: Springer-verlag.
- Harper, D., 1992. Eutrophication of fresh waters: Principles, problems and restoration. Chapman and Hall, London, UK.
- Hilborn, R., Walters, C. J., & Ludwig, D., 1995. Sustainable exploitation of renewable resources. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 45-67.

- Hoşsu, B., Korkut, A. Y., & Fırat, A., 2001. Fish Feeding and Feed Technology I (Fish Feeding Physiology and Biochemistry), II. Baskı, Ege Üni. Su Ür. Fak. Yay, (50), 237-264.
- Husa, V., Kutti, T., Ervik, A., Sjøtun, K., Hansen, P. K., & Aure, J., 2014. Regional impact from fin-fish farming in an intensive production area (Hardangerfjord, Norway). *Marine Biology Research*, 10(3), 241-252.
- Ibrahim, A., Waluyo, A., Imroatusshoolikhah, Danurrahman, R., Rapsanjani, M. F., Sahidin, A., Sudarso, J., Kurniawan, R., & Surtikanti, H. K., 2023. Ecological health assessment using macroinvertebrate-based Index of Biotic Integrity (M-IBI): Case study Lake Gunung Putri, West Java, Indonesia. *BIO Web of Conferences*, 74, 03006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237403006>.
- Islam, M. S., 2005. Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development, *Marine Pollution Bulletin*, 50: 48–61. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.08.008>.
- İyigün, E., & Koçbuğ, Z., 2003. Porsuk Baraj Gölü ve Havzasının 2002 Yılına Kadar Olan Su Kalitesi Değerlendirmesi. Türkiye'nin Kıta İçi Su Kaynaklarında Kirlilik Etkileri ve Çözüm Önerileri Bildirileri, DSİ Genel Müdürlüğü İçme Suyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Jones, J. R. and Bachmann, R. W., 1976. Predictions of phosphorus and chlorophyll levels in lakes. *Journal of the Water Pollutions Control Federation*, 48, 2176-2182 pp.
- Kaboré, I., Moog, O., Alp, M., Guenda, W., Koblinger, T., Mano, K., Ouéda, A., Ouédraogo, R., Trauner, D., & Melcher, A. H., 2016. Using macroinvertebrates for ecosystem health assessment in semi-arid streams of Burkina Faso. *Hydrobiologia*, 766(1), 57–74. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2443-6>.
- Karadağ, A., 2022. Kızılırmak Nehrinden alınan su numunelerine ait bazı parametrelerin mevsimsel olarak fizikokimyasal değişiminin gözlemlenmesi (Yüksek lisans tezi). Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- Karadağ, A., & Öztürk, Ş., 2022. Kızılırmak nehrinden alınan su numunelerine ait bazı parametrelerin mevsimsel olarak fizikokimyasal değişiminin gözlemlenmesi (Master's thesis, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi).
- Kazancı, N., Girgin, S., Dügel, M., & Oğuzkurt, D., 1997. Akarsuların çevre kalitesi yönünden değerlendirilmesinde ve izlenmesinde biyotik indeks yöntemi (Türkiye İç Suları Araştırmaları Dizisi II). Form Ofset.
- Kazancı, N., Türkmen, G., Başören, Ö., & Ekingen, P., 2016. TR-BMWP (Turkish-BMWP) biotic index. *Review of Hydrobiology*, 9(2), 147–151.

- Kınacı, C., 2017. Su yönetiminde temel kavramlar ve bileşenler; Türkiye’de su yönetimi [Açılış dersi sunumu]. İstanbul Üniversitesi, Su Bilimleri Fakültesi.
- Kıbaroğlu, A., 2021. Building a regime for the waters of the Euphrates-Tigris river basin (Vol. 7). Brill.
- Kirchner, W. B. and Dillon, P., 1975. An empirical method of estimating the retention of phosphorus in lakes. *Water Research*, 11: 182-183 pp.
- Koç, H., Doğru, D., & Han, E., 2018. Yukarı Kızılırmak Havzası’nda ırmak sularının tarımda sulama amaçlı kullanım özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Türk Coğrafya Dergisi*, (70), 57-70.
- Koyuncuoğlu, S., Çetinkaya, S., & Kılınç, S. F., 2023. Development of a multimetric index based on benthic macroinvertebrates for rivers (BMIR) in Türkiye. *Turkish Journal of Water Science & Management*, 7(1), 72–104. <https://doi.org/10.31807/tjwsm.1175743>.
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47, 583–621.
- Martinez-Porchas, M., & Martinez-Cordova, L. R., 2012. World aquaculture: environmental impacts and troubleshooting alternatives, *The Scientific World Journal*, 2012.
- Meybeck, M., 1995. Les lacs et leur bassin. *Limnologie générale*. Masson, Paris, 7-59.
- Mueller, D. K., 1982. Mass Balance Model Estimation Of Phosphorus Concentrations In Reservoirs 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 18(3), 377-382.
- Munsuz, N., & Ünver, İ., 1995. Toprak ve suyun kimyasal analiz yöntemleri. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Mutlu, E., Yanık, T., & Demir, T., 2013. Karagöl (Hafik-Sivas)’ün Su Kalitesinin İncelenmesi. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 24(1), 35-45.
- Özfuçucu, S., 1995. Su ürünleri yetiştiriciliğinde su kalitesi. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Pillay, T. V. R., 2004. *Aquaculture and the environment* (2nd ed.). Fishing News Books, Blackwell Publishing.
- Polat, F. ve Özmen, H., 2011. Almus Baraj Gölünde Trofik Seviyenin Belirlenmesi ve Gölün Fosfor Taşıma Kapasitesinin Araştırılması, *Ekoloji Dergisi*, 20 (78).
- Post, G., 1987. *Textbook of fish health*. Neptune City, NJ: T.F.H. Publications.

- Pulliom, H. R., & Haddad, N. M., 1994. Address of the past president. Human population growth and the carrying capacity concept. Bulletin of the Ecological Society of America, 75(3), 141-157.
- Resmi Gazete, 2012, 30 Aralık. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği. Sayı: 28483.
- Ross, L. G., Telfer, T. C., Falconer, L., Soto, D., Aguilar-Manjarrez, J., Asmah, R., ... & Zhu, C., 2013. Carrying capacities and site selection within the ecosystem approach to aquaculture. Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture, 19.
- Schwörbel, J., 1987. Einführung in die Limnologie. Gustav Fischer Verlag, 269 p, Stuttgart.
- Sibly, R. M., Hone, J., & Clutton-Brock, T. H. (Eds.), 2003. Wildlife population growth rates. Cambridge University Press.
- SKKY, 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete (Sayı: 25687, 31.12.2004). Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Şimşek, A., Türkten, H., & Bakan, G., 2022. Su kalite indeksi ve istatistiksel analiz kullanılarak Orta Karadeniz Bölgesi Kızılırmak ve Yeşilirmak Nehirleri su kalitesinin değerlendirilmesi. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 12(2), 645-662.
- Tanyolaç, J., 2004. Limnoloji: tatlısu bilimi. Hatiboğlu Yayınevi.
- Taş, B., 2006. Derbent Baraj Gölü (Samsun) Su Kalitesinin İncelenmesi. Ekoloji, 16(61), 6-15.
- Thienemann, A., 1925. Die Binnengewässer Mitteleuropas. Eine Limnologische Einführung. Binnengewässer, 1, 1-225.
- Thomas, R. L., Gannon, J. E., Hartig, J. H., Williams, D. J., & Whittle, D. M., 1988. Contaminants in Lake Ontario- A Case Study. Toxic Contamination in Large Lakes., 3.
- Tokgöz Yayan, D., 2015. Durgun Sularda Balık Yetiştiriciliğinin Besin Elementleri Açısından Etkilerinin Azaltılması, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, 133 sf.
- Topçu, A., Pulatsü, S., Kaya, D., 2017. Almus Baraj Gölü (Tokat)'nde Kafeslerde Gökkuşuğu Alabalığı Yetiştiriciliğinin Sedimentten Fosfor Salınımına Etkisi Effect of Rainbow Trout Cage Culture on Sediment Phosphorus Release in Almus Dam Lake (Tokat), Iğdır University Journal of the Institute of Science and Technology, 7(2): 201-208.

- TÜİK, 2019. Su Ürünleri İstatistikleri, Kültür Balıkları Üretimi. Türkiye İstatistik Kurumu. http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1005 (Erişim tarihi: 11.01.2020).
- Türkiye Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY). Resmi Gazete, 15.04.2016.
- UNECE, 1993. Statistical classification of surface freshwater quality for the maintenance of aquatic life. United Nations Economic Commission for Europe.
- USEPA, 2018. Water quality standards. United States Environmental Protection Agency.
- Uslu, O. ve Türkman, A., 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü. T.C Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları, Eğitim Dizisi 1, Ankara. 364s.
- Vollenweider, R. A., 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Paris (France), 192, 14.
- Vollenweider, R. A., 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia* 33:53-83 pp.
- Wilber, D. H., & Clarke, D. G., 2001. Biological effects of suspended sediments: A review of suspended sediment impacts on fish and shellfish with relation to dredging activities in estuaries. *North American Journal of Fisheries Management*, 21(4), 855–875.
- Wu, R. S. S., 1995. The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future, *Marine Pollution Bulletin*, 31: 159–166.
- Yıldırım, Ö., & Korkut, A. Y., 2004. Su Ürünleri Yemlerinin Çevreye Etkisi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 21(1).
- Zhang, M., Shang, G., & Ding, S., 2024. Community structural and functional features of benthic macroinvertebrates in a cascade-dams river. *Diversity*, 16, 772. <https://doi.org/10.3390/d16120772>.