



**KIZILIRMAK HAVZASINDA BALIK YETİŞTİRİCİLİĞİ YAPILAN 5
BARAJ GÖLÜNÜN TROFİK DURUMUNUN DEĞERLENDİRMESİ**

Duygu TOKGÖZ YAYAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Duygu TOKGÖZ YAYAN

23/01/2024

KIZILIRMAK HAVZASINDA BALIK YETİŞTİRİCİLİĞİ YAPILAN 5 BARAJ GÖLÜNÜN TROFİK DURUMUNUN DEĞERLENDİRMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Duygu TOKGÖZ YAYAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2024

ÖZET

Bu çalışmanın amacı; Türkiye'deki 25 su havzası arasında ikinci büyük havza olan Kızılırmak Havzasında Kızılırmak Nehri üzerinde kurulmuş, ağ kafeslerde balık yetiştiriciliği yapılan İmranlı, Yamula, Bayramhacılı, Hirfanlı ve Derbent Baraj Göllerinde Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından mevsimsel olarak 2017-2018 yılları arasında izleme çalışması yapılmış trofik durum parametreleri ölçüm sonuçlarından istifade edilerek bu baraj göllerinin trofik durumunu ortaya koymaktır. Söz konusu baraj göllerinin trofik durumunu belirlemek için Carlson Trofik Durum İndeksi (1977) kullanılmıştır. Carlson Trofik Durum İndeksine (1977) göre yapılan değerlendirmede Yamula Baraj Gölü oligotrofik, İmranlı, Hirfanlı ve Derbent Baraj Gölleri trofik durumu mezotrofik, Bayramhacılı Baraj Gölünün trofik durumu ise ötrofik olarak değerlendirilmiştir. Trofik durum indikatör parametreleri $TSI(TP) > TSI(SD) > TSI(CHL-A)$ şeklinde sıralanmakta olup bu durum algal olmayan bulanıklaşmaya ve fosfor besin elementinin sucul ortamda azalan berraklığa bağlı olarak fitoplanktonlar tarafından kullanılamadığı koşulları göstermektedir. Diğer taraftan, ölçüm yapılan aylara göre ağırlıklı olarak sınırlayıcı besin elementi İmranlı ve Hirfanlı Baraj Göllerinde azot, Yamula, Bayramhacılı ve Derbent Baraj Göllerinde ise fosfordur. Balık yetiştiriciliği yapılan Yamula Barajı oligotrofik iken diğer çalışma yapılan baraj göllerinin mezotrofik ve hipertrofik sınıfta olması yetiştiricilikle ötrofik koşullar arasında ilişki olduğuna dair kesin bir kanıt sunmamaktadır. Ancak, bu konuda daha kapsamlı veri setine ihtiyaç bulunmaktadır. Baraj göllerinin yönetiminde fosfor ile birlikte azot besin elementinin kontrolüne yönelik çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Bilim Kodu : 90318

Anahtar Kelimeler : Balık yetiştiriciliği, sınırlayıcı besin elementleri, su kalitesi, ötrofikasyon, trofik durum indeksi

Sayfa Adedi : 68

Danışman : Prof. Dr. Aysel Çağlan GÜNAL

ASSESSMENT OF TROPHIC STATUS OF 5 DAMS ALONG THE KIZILIRMAK
BASIN RELATED TO AQUACULTURE

(M. Sc. Thesis)

Duygu TOKGÖZ YAYAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January, 2024

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the trophic status in 5 reservoirs, İmranlı, Yamula, Bayramhacılı, Hirfanlı and Derbent, in the Kızılırmak River Basin which is the second largest basin among the 25 river basins in Türkiye, where fish farming is carried out. Trophic status of the reservoirs was determined using the results of a four-season monitoring carried out by Ministry of Agriculture and Forestry between 2017 and 2018. The trophic status of Yamula Reservoir is determined as oligotrophic, the trophic status of İmranlı, Hirfanlı and Derbent Reservoirs is determined as mesotrophic, and the trophic status of Bayramhacılı Reservoir is determined as eutrophic. Trophic state indicator parameters are sorted as $TSI(TP) > TSI(SD) > TSI(CHL-A)$, which indicates conditions where the phosphorus cannot be used by phytoplankton due to non-algal turbidity and decreased clarity in the aquatic environment. On the other hand, according to the time of measurement, the main limiting nutrient element is nitrogen in İmranlı and Hirfanlı Reservoirs, and phosphorus in Yamula, Bayramhacılı and Derbent Reservoirs. While the Yamula Reservoir, where fish farming is carried out, is oligotrophic, the fact that the other reservoirs studied are in the mesotrophic and eutrophic classes does not provide definitive evidence of a relationship between fish farming and eutrophic conditions. However, a more comprehensive data set is needed on this subject. For sustainable management of reservoirs, studies should be carried out to control the nutrient element nitrogen along with phosphorus.

Science Code : 90318

Key Words : Aquaculture, the limiting nutrient, water quality, eutrophication, trophic state index

Page Number : 68

Supervisor : Prof. Dr. Aysel Çağlan GÜNAL

TEŞEKKÜR

Değerli katkılarından ötürü danışman hocam Prof. Dr. Aysel Çağlan GÜNAL ile Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğüne, sevgili anne ve babama, sevgili eşim Cahit'e, meleklerim Kerem ve Hüma'ya her zaman yanımda oldukları için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1. Ötrofikasyon.....	3
2.2. Sınırlayıcı Besin Elementleri	5
2.2.1. Fosfor	6
2.2.2. Azot.....	8
2.2.3. N/P oranının önemi	8
2.2.4. Besin elementi kaynakları.....	10
2.3. Balık Yetiştiriciliği Kaynaklı Azot-Fosfor Kirliliği	12
2.4. Trofik Durum Sınıflandırması	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1. Çalışma Bölgesinin Özellikleri	19
3.2. Arazi Çalışmaları	24
3.3. Laboratuvar Çalışmaları.....	26
3.4. Trofik Durumun Belirlenmesi.....	28

	Sayfa
4. BULGULAR	33
4.1. İmranlı Baraj Gölü Trofik Durum Değerlendirmesi	33
4.1.1. Baskılar ve etkiler	34
4.1.2. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi	34
4.1.3. Trofik durum değerlendirilmesi	37
4.2. Yamula Baraj Gölü Trofik Durum Değerlendirmesi	39
4.2.1. Baskılar ve etkiler	39
4.2.2. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi	40
4.2.3. Trofik Durum Değerlendirmesi	43
4.3. Bayramhacılı Baraj Gölü Trofik Durum Değerlendirmesi	45
4.3.1. Baskılar ve etkiler	45
4.3.2. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi	46
4.3.3. Trofik durum değerlendirilmesi	49
4.4. Hirfanlı Baraj Gölü Trofik Durum Değerlendirmesi	50
4.4.1. Baskılar ve etkiler	51
4.4.2. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi	51
4.4.3. Trofik durum değerlendirilmesi	53
4.5. Derbent Baraj Gölü Trofik Durum Değerlendirmesi	56
4.5.1. Baskılar ve etkiler	56
4.5.2. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi	57
4.5.3. Trofik durum değerlendirilmesi	59
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	68

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Besin elementi kaynaklarına göre göllerin ortalama N:P oranları.....	12
Çizelge 3.1. Baraj göllerine ait bilgiler.....	19
Çizelge 3.2. Örnek alma noktalarının konumları.....	25
Çizelge 3.3. Numune alma tarihleri	26
Çizelge 3.4. Analiz metot-yöntemleri ve kullanılan cihazlar	27
Çizelge 3.5. Carlson trofik durum sınıflandırması	30
Çizelge 3.6. İndeks değerlerindeki sapmalar	30
Çizelge 4.1. Trofik durum indeks değerlendirmesi	37
Çizelge 4.2. TN:TP oranları.....	38
Çizelge 4.3. Trofik durum indeks değerlendirmesi	43
Çizelge 4.4. TN:TP oranları.....	44
Çizelge 4.5. Trofik durum indeks değerlendirmesi	49
Çizelge 4.6. Çizelge 4.6. TN: TP oranları	50
Çizelge 4.7. Trofik durum değerlendirmesi.....	54
Çizelge 4.8. TN:TP oranları.....	55
Çizelge 4.9. Trofik durum değerlendirmesi.....	59
Çizelge 4.10. TN:TP oranları	60

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Ötrofikasyon süreci	4
Şekil 2.2. Fosfor döngüsü	7
Şekil 2.3. Kirletici kaynaklar	11
Şekil 2.4. Balık yetiştiriciliğinde besin elementi girdileri	13
Şekil 2.5. Göllerde trofik durum değişim süreci	17
Şekil 4.1. İmranlı Barajı uydu görüntüsü üzerinde örnek alma istasyonları	33
Şekil 4.2. TN parametresinin aylara göre değişimi	35
Şekil 4.3. TP parametresinin aylara göre değişimi	35
Şekil 4.4. CHL-A parametresinin aylara göre değişimi	36
Şekil 4.5. SD parametresinin aylara göre değişimi	36
Şekil 4.6. Yamula Barajı uydu görüntüsü üzerinde örnek alma istasyonları	39
Şekil 4.7. TN parametresinin aylara göre değişimi	41
Şekil 4.8. TP parametresinin aylara göre değişimi	41
Şekil 4.9. CHL-A parametresinin aylara göre değişimi	42
Şekil 4.10 SD parametresinin aylara göre değişimi	42
Şekil 4.11. Bayramhacılı Barajı uydu görüntüsü üzerinde örnek alma istasyonları	45
Şekil 4.12. TN parametresinin aylara göre değişimi	47
Şekil 4.13. TP parametresinin aylara göre değişimi	47
Şekil 4.14. CHL-A parametresinin aylara göre değişimi	48
Şekil 4.15. SD parametresinin aylara göre değişimi	48
Şekil 4.16. Hirfanlı Barajı uydu görüntüsü üzerinde örnek alma istasyonları	50
Şekil 4.17. TN parametresinin aylara göre değişimi	52
Şekil 4.18. TP parametresinin aylara göre değişimi	52

Şekil	Sayfa
Şekil 4.19. CHL-A parametresinin aylara göre değişimi	53
Şekil 4.20. SD parametresinin aylara göre değişimi	53
Şekil 4.21. Derbent Barajı uydu görüntüsü üzerinde örnek alma istasyonları	56
Şekil 4.22. TN parametresinin aylara göre değişimi	57
Şekil 4.23. TP parametresinin aylara göre değişimi.....	58
Şekil 4.24. CHL-A parametresinin aylara göre değişimi	58
Şekil 4.25. SD parametresinin aylara göre değişimi	59

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. İmranlı Baraj Gölü	21
Resim 3.2. Yamula Baraj Gölü	21
Resim 3.3. Bayramhacılı Baraj Gölü	22
Resim 3.4. Hirfanlı Baraj Gölü	23
Resim 3.5. Derbent Baraj Gölü	24

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

cm	Santimetre
°C	Santigrat derece
km²	Kilometre kare
m	Metre
mg/L	Litrede 1 miligram
mL	Mililitre
µg/L	Litrede 1 mikrogram
N	Azot
P	Fosfor
%	Yüzde

Kısaltmalar

Açıklamalar

CHL-A	Klorofil-a
CTSI	Carlson trofik durum indeksi
SD	Seki diski derinliği
TN	Toplam azot
TP	Toplam fosfor
TSI(CHL-A)	Klorofil-a trofik durum indeksi
TSI(TN)	Toplam azot trofik durum indeksi
TSI(TP)	Toplam fosfor trofik durum indeksi
TSI(SD)	Toplam seki diski trofik durum indeksi

1. GİRİŞ

Küresel ölçekte hızlı nüfus artışına paralel olarak artan gıda talebi ve gıda tüketiminde görülen değişiklikler sanayi, tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin yanı sıra su ürünleri yetiştiriciliği sektörünün de genişlemesine neden olmuştur [1]. Ancak, yüzyıllardır dünyanın birçok bölgesinde yapılmakta olan su ürünleri yetiştiriciliği günümüzde gıda talebinin karşılanmasına katkı sağlamasının ötesinde istihdam yaratması ve ihracat yönü ile ülke ekonomilerine ve doğal su ürünleri stoklarının muhafazasında rol oynayarak biyoçeşitliliğin devamlılığına kadar çok sayıda fayda sağlamaktadır [2].

Türkiye’de 24 milyon hektar denizalanı ile 1,5 milyon hektar iç su alanı bulunmaktadır [3]. Ancak, Türkiye’nin üç tarafının denizlerle çevrili olması su ürünleri yetiştiriciliği denilince akla denizlerde yapılan yetiştiriciliği getirir de iç sularda akarsularla birlikte gölet ve baraj göllerinde de yoğun olarak üretim gerçekleştirilmektedir. Türkiye’de hem iç sularda hem de denizlerde çoğunlukla balık yetiştiriciliği yapılmakta olup gölet ve baraj göllerinde ağ kafeslerde entansif yetiştiricilik ile ağırlıklı olarak gökkuşağı alabalık üretimi gerçekleştirilmektedir. Türkiye iç sularında yetiştiricilik miktarı 2021 yılında bir önceki yıla göre toplam % 11,9 oranında artmıştır [4,5].

Dünyada ve Türkiye’de artan balık yetiştiriciliği ile birlikte yetiştiricilik sektörü kaynaklı ekolojik etkilerin araştırılması konusu giderek önem kazanmış ve bu konuda yapılan araştırmalar ve akademik yayınların sayısı artmıştır. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki balık yetiştiriciliği yapılan göl, gölet ve baraj göllerine, ötrofikasyonda rolü olan birincil üretimi sınırlandıran fosfor (P) ve azot (N) besin elementleri doğrudan sucul ekosisteme dışkı, metabolik atıklar ve tüketilmeyen yemler ile dahil olmaktadır [6]. Fosfor ve azot besin elementleri ise sucul ekosistemlerde fitoplankton gelişimini ve dolayısı ile ötrofikasyon sürecini sınırlandıran başlıca elementlerdir [7]. Bu kapsamda su kaynaklarında ötrofikasyon problemine neden olan besin elementi kaynaklarından biri olan balık yetiştiriciliğinin durgun sulara etkilerinin değerlendirilmesi hem sınırlı su kaynaklarının hem de yetiştiricilik sektörünün sürdürülebilirliği açısından büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, enerji üretimi ve tarımsal sulama temini maksadıyla Kızılırmak Nehri üzerinde kurulan İmranlı, Yamula, Bayramhacılı, Hirfanlı ve Derbent Baraj göllerinde 2016-2018 yılları arasında Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yürütülen Durgun

Sularda Özümlleme Kapasitesinin Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Projesi kapsamında elde edilen toplam azot (TN), toplam fosfor (TP), klorofil a (CHL-A) ve seki diski derinliği (SD) parametre ölçüm sonuçları Carlson Trofik Durum İndeksinde (CTSI) kullanılarak söz konusu göllerin trofik durumu ve sınırlayıcı besin elementi ortaya koyulmuş, baraj göllerini etkileyen muhtemel baskı ve etkiler değerlendirilmiştir. Yapılan literatür taramalarında söz konusu baraj göllerinin besin elementleri bakımından trofik durum değerlendirilmesine dair herhangi bir çalışma bulunmamakta olup bu çalışma trofik durum izleme verisi bulunmayan baraj göllerinin trofik durumlarının yorumlanması ve veri kaynağı oluşturması açısından önem taşımaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Ötrofikasyon

Ötrofikasyon, Yunancada “iyi beslenmiş” anlamına gelen “eutrophos” sözcüğünden türetilerek oluşturulmuş bir kelimedir. Göllerin zamanla sığlaşarak bataklık haline gelmesi ile göllerin yaşlanması olarak da tanımlanabilen ötrofikasyon kelime kökünün anlamı ile uyumlu olarak su kaynaklarında özellikle azot ve fosfor besin elementlerinin aşırı zenginleşmesinin sonucunda, fitoplankton aşırı çoğalması ile su kalitesi ve sucul yaşam üzerinde çeşitli olumsuz etkilere neden olan ve doğal oluşumundan çok daha hızlı bir şekilde ilerleyen süreçler zinciridir [8,9].

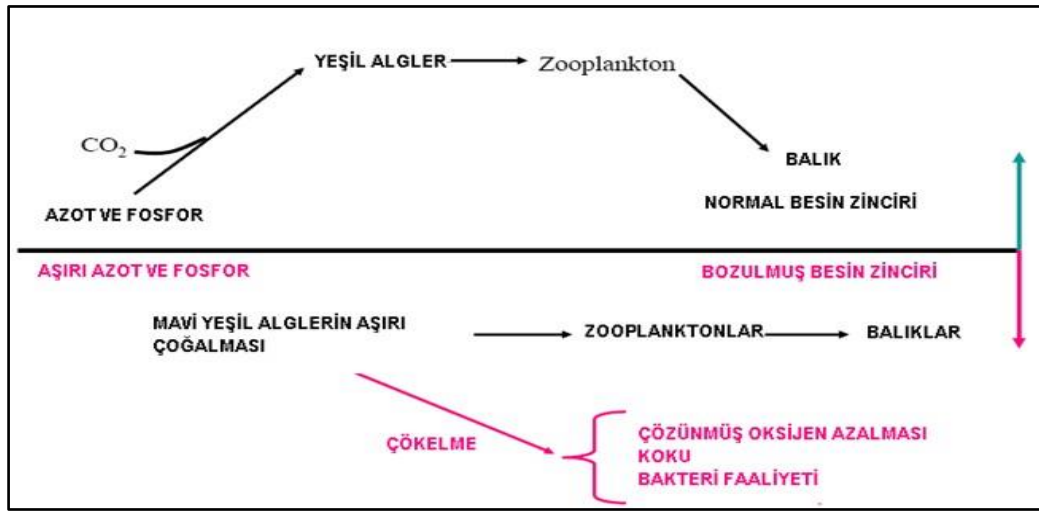
Besin elementi zenginleşmesi ya da yaygın olarak kullanan adı ile ötrofikasyonun sucul ekosisteme etkileri geçmiş yıllardan günümüze kadar süregelen bir problemdir. Diyatome kalıntıları üzerine yapılan çalışmalar göstermiştir ki İngiltere’de bulunan Cumbria Göllerinde yaklaşık 2000 yıl kadar önce ormansızlaşmaya bağlı olarak tortullaşmanın arttığı, tortullaşma ile azot ve fosfor seviyelerindeki en büyük artışların ise 1930’dan itibaren meydana geldiği görülmüştür. Günümüzde de süregelen bir problem olması nedeni ile ötrofikasyonun önlenmesine yönelik çalışmalar hala devam etmektedir [10,11].

Ötrofikasyon, oluşumuna neden olan baskı unsurları açısından değerlendirildiğinde doğal ve yapay ötrofikasyon olarak iki grupta sınıflandırılmaktadır [10]. Doğal ötrofikasyon, insan etkisi olmaksızın durgun sularda bulunan organizmaların ölümü ile oluşan organik atık maddelerin zamanla sedimentte birikmesi, yağmur suları, kullanılmayan arazilerden gelen yüzeysel akış ve erozyon neticesinde meydana gelmektedir [9,12]. Yapay ötrofikasyona ise antropojenik etkiler sonucu aşırı yoğunlukta ortaya çıkan özellikle azot ve fosfor bileşikleri başta olmak üzere besin elementleri neden olmaktadır [10]. Doğal göl ya da yapay olarak nitelendirilen gölet ve baraj gölleri olmak üzere tüm durgun suların ömrü sınırlıdır [11].

Doğal ve yapay ötrofikasyon arasındaki temel fark göl hacmi, gölün gideğeni olup olmaması, yağış miktarı ya da aşırı buharlaşma gibi diğer etmenler gözardı edildiğinde oluşum süresidir. Doğal ötrofikasyonun oluşması sığ durgun sularda yıllar alırken, derin krater göllerinde milyonlarca yılı bulmaktadır. Yapay ötrofikasyon ise insan etkisi

sonucunda doğal koşulların dışına çıkılması nedeniyle birkaç yıl içinde dahi ortaya çıkabilmektedir [9,11].

Doğal koşulların dışına çıkılması ile hızlanan bu süreçte besin element konsantrasyonunun sucul ekosistemde artışının biyolojik etkisi ile ilk olarak besin piramidinin en alt basamağını oluşturan fitoplankton ve makrofitlerin (sucul yüksek bitki) gelişim ve çoğalmasına katkı sağlayarak, aynı zamanda balık ve diğer organizmalar için besin kaynakları oluşturmakta ve bu canlılar için elverişli bir yaşam ortamı yaratmaktadır. Ancak, sucul ekosisteme besin elementlerinin aşırı miktarda girişi fitoplanktonların daha hızlı çoğalmasına, Anabaena, Microcystis gibi toksik olan mavi-yeşil alg türlerinin aşırı çoğalması ile zararlı alg patlamalarına ve mevcut besin zincirinde yer alan bazı türlerinin yok olmasına neden olarak ekolojik dengeye zarar vermektedir [9,11,13]. Şekil 2.1’de ötrofikasyon mekanizması verilmektedir.



Şekil 2.1. Ötrofikasyon süreci [14]

Ötrofikasyonun meydana gelmesine neden olan doğrudan ya da dolaylı etkenler;

- Arıtılmamış veya yeterli seviyede arıtılmamış evsel ve endüstriyel atık sular,
- Tarımsal sızıntı suları ve gübreleme,
- Hayvan işletme atıklarının arazi ve su kaynaklarına atık boşaltımı,
- Tarımsal sulama amaçlı durgun sulardan ve besleyen kaynaklardan/veya su çekilmesi,
- Su kaynakları etrafında yürütülen kirletici faaliyetlerin artması ve kontrolsüz şehirleşme,
- Erozyon ve kuraklaşmadır [9,15,16].

Durgun sularda söz konusu olumsuz etkiler oluşturan baskı unsurları neticesinde ötrofikasyonun yol açtığı sorunların birincil etkisi, sucul ortamda bulunan azot ve fosfor seviyesinin fitoplankton çoğalması ya da algal büyümeyi kontrol etmesidir. Bu aşamada aşırı fitoplankton çoğalmasının tür kompozisyonunda değişikliğe yol açmasıyla daha hızlı büyüyen türlerin (toksik türlerde dahil olmak üzere) diğer türlerin yerini almasına neden olmaktadır [17].

Ötrofikasyonun neden olduğu ikincil etkiler; durgun sularda sediment birikimine bağlı olarak sığlaşma, zehirli alg patlamaları, batık sucul bitki habitatlarının kaybı, fırsatçı türlerin baskın hale gelmesi ve biyolojik çeşitlilikte azalma, aşırı alg artışı ile seki derinliğinde azalma, artan alg populasyonlarının ölümü ve dibe çökmesi ile dip tabaka ya da bölgelerde ayrışan organik madde artışına paralel olarak anoksik şartların oluşumu, çözünmüş organik karbon ve bakteri konsantrasyonunun artması ve buna bağlı olarak koku ve tat bozukluklarına yol açan kötü su kalitesi, son aşamaya gelindiğinde ise balık ve diğer sucul organizmaların ölümüdür [11,17].

Bu çerçevede ortaya çıkan olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması ve durgun suların korunmasına yönelik alınacak tedbirlerin belirlenmesi ve takibi maksadıyla yapılacak izleme çalışmaları büyük önem arz etmektedir.

2.2. Sınırlayıcı Besin Elementleri

Karasal bitkilerin verimliliği konusunda çalışmaları olan Alman tarım uzmanı Justus von Liebig 1855 yılında bitkilerin verimliliği ile besin maddeleri arasında güçlü bir ilişki bulunduğunu, başka bir deyişle verimliliğin bitkiler tarafından gereksinim duyulan maddeler arasında ortamdan en az bulunan madde tarafından sınırlandırıldığını ortaya koymuştur. Bu kural Liebig Minimum Yasası olarak adlandırılmaktadır [18,19]. Liebig'e göre gelişmeyi sınırlayıcı etken, verimlilik durumunu belirlemektedir. Fosfor ya da azot besin elementleri sucul ortamda minimum düzeyde iken diğer silisyum vb. ihtiyaç duyulan maddeler 100 kat arttırılsa bile verim değişmeyecektir [20].

Liebig Minimum Yasası karasal ekosistemde yer alan bitkiler için olduğu kadar sucul ekosistem florası için geçerli kabul edilmektedir. Sucul ortamda karbon dışındaki makro besin elementleri, ayrıştırıcı mikroorganizmaların organik maddeleri ayrıştırmasıyla oluşan

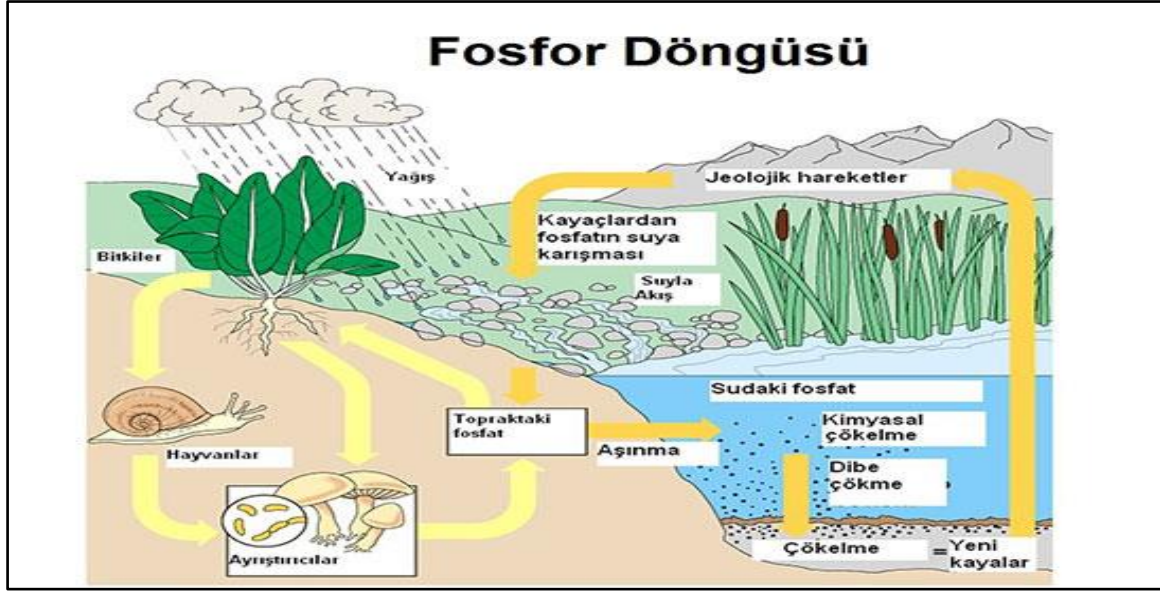
nitrat ve fosfat bileşiklerinden elde edilmektedir. Bu besin elementleri antropojenik etkiler olmadan sucul ortamda sınırlıdır ve algal biyokütleyi kontrol etmektedirler. Bu kapsamda, sucul ekosistemlerde özellikle durgun sularda fitoplanktonların gelişimini ve dolayısı ile ötrofikasyon sürecini sınırlayan başlıca elementler azot ve fosfordur [18].

2.2.1. Fosfor

Fosfor, tüm yaşam formlarının metabolizmasının ayrılmaz bir parçası olan nükleik asitlerin, şeker fosfatlar ve adenozin fosfatlar gibi birçok ara metabolitin, temel bileşenidir. Volkanlardan eser miktarda gelen fosfin gazı emisyonu dışında, Dünya yüzeyinde bulunan fosfor bileşikleri uçucu değildir. Fosfatların çoğu toprakta partiküllere bağlandığı için yerüstü sularında bulunan fosfor genellikle yeraltı sularından ziyade yüzey akışlarında kalmaktadır. Aşırı gübrelemeye bağlı olarak toprağın fosfora doymuş hale geldiği alanlarda, volkanik kökenli su havzalarında yeraltı sularına fosfor transferi olabilmektedir [21].

Fosfor, gaz haline geçmediği için atmosferde bulunmamakta bu nedenle fosfor döngüsü de karasal ve sucul ortam arasında gerçekleşmektedir. Fosfor elementinin en büyük kaynağı karasal ekosistemde kayalar ile sucul ekosistemlerde bulunan tortul kayaçlarda bulunan fosfat tuzlarıdır. Fosfor döngüsü bu tortul kayaçların aşınması sonucunda fosfat iyonlarının açığa çıkması ile başlar ve besin zinciri vasıtası ile üreticiler tarafından emilerek organik fosfat bileşiklerine çevrilerek tüketici gruplarına aktarılmaktadır. Bitkisel ve hayvansal organizmaların ölümü ile ayrıştırıcılar tarafından organik fosfat yeniden inorganik fosfata dönüştürülerek döngü tamamlanmaktadır. Tortul kayaçların aşınması ile başlayan bu süreç azot ya da karbon gibi biyokimyasal döngülere göre yavaş bir şekilde gerçekleştiği için durgun sularda fosfor fitoplanktonlar tarafından elde edilebilirliği açısından sınırlayıcı bir faktör karşımıza çıkmaktadır [22].

Diğer taraftan fosfor sucul ekosistemlerde sadece beş değerlikli formda bulunmaktadır. Bunlar; ortofosfat, pirofosfat, uzun zincirli polifosfatlar, organik fosfat esterleri, fosfodiesterler ve organik fosfonatlardır, sucul ekosistemlere ise çözünmüş ve partiküler girdilerin karışımı beş değerlikli farklı fosfor moleküllerinin karışımı olarak dahil olmaktadır.



Şekil 2.2. Fosfor döngüsü [22]

Alıcı ortama ulaşan partiküler fosfor kimyasal ya da enzimatik prosesler ile fosfat ve organik fosfata, alg ve bitkiler tarafından absorblanabilir ortofosfata (PO_4) ya da çözünebilir fosfata (PO_4)⁻³ dönüştürülmektedir. Çünkü ortofosfat algler tarafından fosforun kullanılabilir tek formudur [21].

Yapılan bir çalışmada fosforun sınırlayıcı olduğu koşullar altında, alglerin büyüme oranlarının (hücre bölünme oranları) hücre başına fosfor içeriği ile orantılı olduğunu, alglerde hücre başına minimum miktarda fosfora mutlak bir gereksinime sahip olduklarını göstermiştir [21]. 1 mg fosfor 100 mg kadar alg biyokütlesine neden olmaktadır [23].

Bu kapsamda, doğal bir süreç olan göl yaşlanmasının insan faaliyetleri sonucu hızlanması ile yapay olarak ortaya çıkan ötrofikasyon, yüzeysel akışla su kaynaklarının fosfor seviyesini hızla yükselterek bu suların fosforu özümleyebilme kapasitesinin aşılması ile ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ötrofikasyonu önlemeye ya da besin elementi zenginleşmesini kontrol maksatlı çalışmalar temelde fosfor kaynaklarını kontrol etmeye yöneliktir. Bu açıdan sucul ekosistemlerde bilhassa durgun sularda fosforu bu kadar önemli kılan canlı yaşamın temel bileşenlerinden olmasının yanı sıra bu sularda fosforun birincil üretimi sınırlandırması ve buna bağlı olarak ötrofikasyon sürecinde etkili olmasıdır [22,24]. Öte taraftan, baraj gölleri doğal göllerle kıyaslandığında jeolojik açıdan daha genç olmaları ve doğal göllerin aksine yatay değişimlerin görülmesi nedeni ile baraj göllerinin set bölümüne doğru gidildikçe (mansap bölümüne doğru) fosfor konsantrasyon

değerlerinde azalma gözlenmiş, bu durum doğal göllere göre baraj göllerinin fosfor tutma kapasitesinin daha fazla olduğuna göstermiştir [25]. Bu durum fosforun ötrofikasyon sürecinde etkili olması kadar hangi tip durgun sularda baskın besin elementi olabileceğine de işaret etmektedir.

2.2.2. Azot

Azot, fosfor gibi yaşam için oldukça önemli bir besin elementidir. Azot durgun sularda amonyak, nitrat ve nitrit formlarında bulunmaktadır. Azot formları doğal olarak azot döngüsünün farklı aşamalarında ortaya çıkmaktadır. Ticari olarak gübrelerde sıklıkla kullanılan azot, uygun miktarda alg ve sucul bitkilerin büyümesini stimüle etmektedir. Herhangi bir su kaynağında aşırı miktarda artması halinde ise alg ve sucul bitkilerin normalden daha hızlı gelişmesini neden olmaktadır [26].

Birincil üreticiler olan fitoplankton topluluklarının gelişiminde azot önemli bir besin elementi olmasına rağmen, sucul ekosistemde kolay elde edilebilir olması nedeni ile durgun sularda azot besin elementi yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Diğer taraftan yapılan çalışmalar göstermiştir ki azot yarı kurak, Akdeniz İklim Kuşağı gibi daha sıcak ya da daha tropikal bölgelerde sıcaklık artışına bağlı olarak artan denitrifikasyon sonucunda durgun sularda miktar bakımından azalarak sınırlayıcı besin elementi olmaktadır [27].

Limnologlar, uzun yıllardır fosforun durgun sularda birincil üretimin devamlılığı için nihai sınırlayıcı besin elementi olduğunu yaptıkları çalışmalar ile ortaya koyarken Ryther ve Dunstan 1971 yılında azotun denizel ekosistemlerde sınırlayıcı olduğunu ifade etmiştir. Nitrat ve fosfat konsantrasyon değerlerinin daha yüksek olduğu denizlerde ise demir elementi sınırlayıcı faktördür [28,29].

2.2.3. N/P oranının önemi

Noktasal ve yayılı kirletici kaynaklar vasıtasıyla su kaynaklarına ulaşan besin elementlerinin miktarı azalırsa algal kullanıma hazır besin elementlerinin miktarı da doğru orantılı olarak azalmış olacaktır.

Bu noktada üç önemli soru ortaya çıkmaktadır.

- Hangi besin elementleri sıklıkla ötrofikasyona neden olmaktadır?
- Besin elementlerini sınırlayarak ötrofikasyon kontrol altına alınabilir mi?
- Su kalitesi, sucul ekosisteme zarar vermeden izin verilebilir besin elementi girdisi nedir?

Bu soruları yanıtlamak adına 1930 ila 1950 yılları arasında doğal denizel fitoplankton popülasyonları ve laboratuvarında kültürü yapılan algler ile yapılan bir dizi çalışma sonucunda, “uygun koşullar altında büyüme kavramı”, bilinen adıyla Redfield Oranı, ortaya çıkmıştır. Bu çalışma ile suda bulunan N:P oranı fitoplanktonlarda bulunan N:P oranı ile birbirine yakın bir değere sahip olduğu kabulünden yola çıkarak sucul ortamda sınırlayıcı besin elementi tahmin edilmektedir. Her ne kadar fitoplankton türlerine göre farklılıklar görülsede bu oran N:P için yaklaşık olarak 16:1 (atomik ağırlık) kabul edilmektedir. Bu kabule göre N:P oranı 16 dan düşük olduğunda azot, N:P oranı 16 dan yüksek olduğunda ise fosfor sınırlayıcıdır [24]. Yapılan çalışmalarda N:P oranı ile alakalı farklı kabüllerin yapıldığı görülmekte olup bunlardan birisi de N:P oranı >10 durumunda ise algal çoğalmanın fosfor tarafından sınırlandırıldığı N:P oranı <10 olduğunda ise azot tarafından kontrol edilmesidir. Her ne kadar N:P oranı durgun sularda ötrofikasyon kontrolünde fayda sağlamakla birlikte hücre başına minimum miktarda gerekli besin elementi miktarı türlere göre değişim gösterdiğinden bu konuda dikkatli olmak gerekmektedir. N:P oranı durgun sularda ötrofikasyon kontrolünde fayda sağlamakla birlikte hücre başına minimum miktarda gerekli besin elementi miktarı türlere göre değişim gösterdiğinden bu konuda dikkatli olmak gerekmektedir [30].

Ayrıca, N:P oranları oligotrofik ve mezotrofik durumda olan durgun sularda besin elementi kaynağını da etkileyen arazi kullanımı, havza morfometrisi ve baskın besin elementine gibi diğer etkenlere göre değişmektedir. Bu itibarla, durgun sularda girdi sağlayan besin elementi kaynaklarının da N:P kütle oranları birbirinden farklıdır. N:P oranında bozulmamış verimsiz karasal ekosistemlerden kaynaklı olarak 20-200 arasında değişen yüksek değerlere, sediment, kanalizasyon, kentsel doğrudan deşarj ve feçes kaynaklı olarak ise 1-10 arasında değişen düşük değerlere kadar farklı değerler görülmektedir. Bu bakımdan N:P oranından besin elementi kaynaklarının bir göstergesi olarak bahsetmemiz mümkündür.

Bununla birlikte yapılan bir değerlendirmede fosfor açısından verimli durgun suların azot bakımından da verimli olduğu, TN ve TP konsantrasyonları arasında ise pozitif korelasyon olduğu belirtilmektedir [31].

Diğer taraftan TN:TP oranı düşük seviyede olan durgun sularda TN parametresi TP konsantrasyonlarının yüksek olması nedeni ile sınırlayıcı besin elementi olmaktadır. Başka bir deyişle, sıklıkla TN:TP oranı düşük olan göller ötrofik, TN:TP oranı yüksek olan göller oligotrofik karakterdedir.

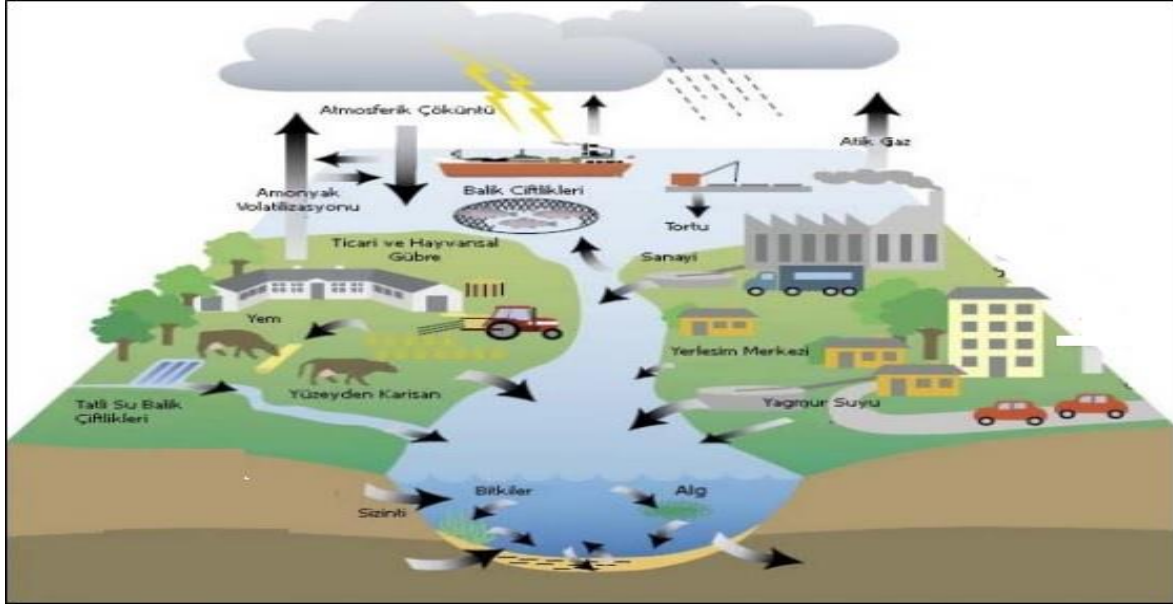
Bahse konu olduğu üzere TN:TP oranı besin elementi kaynağını yansıtmadır, bu çerçevede oligotrofik göllere ulaşan besin elementleri ötrofik göllere kıyasla bozulmamış alanlar kaynaklı olduğu için bu noktada TN:TP oranı daha yüksek değerlere sahiptir. Bozulmamış alanlarda, dağlık bölgelerde fosfor besin elementine kıyasla azot besin elementinin daha yüksek konsantrasyonda bulunması bu durumu daha net göstermektedir [32].

Bununla birlikte, bugüne dek araştırmacılar tarafından ötrofikasyonu kontrolü ve önlenmesi için bahse konu soruları yanıtlayabilmek adına daha pek çok farklı çalışma yapılmış, bu çalışmalarda durgun sularda yaygın olarak fosforun sınırlayıcı olduğu görölmüş ve alınan önlemlerde ağırlıklı olarak fosfor odaklı olmuştur.

2.2.4. Besin elementi kaynakları

Besin elementleri noktasal ve yayılı kirletici kaynaklar vasıta ile su kaynaklarına ulaşmaktadır. Noktasal kirletici kaynaklar, evsel endüstriyel atıksulardan oluşurken, yayılı kirleticiler ise tarımsal gübreleme, katı atık depolama sahaları kaynaklı sızıntı suları, hayvan atıkları, atmosferik taşınım, yüzeysel akışı ve erozyondan kaynaklanmaktadır. Durgun sulara ulaşan besin elementi yükleri ise sedimantasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyon gibi süreçlerden etkilenmektedir [14].

Su kaynaklarının besin elementlerince zenginleşmesi problemini anlayabilmek ve ötrofikasyon problemini önleyebilmek için öncelikle kirliliğin nereden ve nasıl kaynaklandığını, şekil 2.3.'de gösterildiği üzere besin elementlerinin hangi yollarla sucul ekosistemlere taşındığını anlamak önem arz etmektedir [8].



Şekil 2.3. Kirletici kaynaklar [33]

Bu kapsamda, su kalitesinin ve sucul ekosistemin bozulmasına sebep olan ötrofikasyon sorununun önlenmesine yönelik olarak birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de çalışmalar yürütülmekte olup bunlardan birisi de 25 su havzasında Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından 2012-2015 yılları arasında yürütülen, Türkiye’de Havza Bazında Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi kapsamında sadece tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan azot girdileri dikkate alınarak nitrata hassas bölgeler ve nitrat bakımından kirlenmiş sular bu suların drenaj alanları ise Nitrata Hassas Alan olarak belirlenmiştir. Bu çalışma neticesinde Türkiye’nin alanının %50’sine karşılık gelen drenaj alanı Nitrata Hassas Alan olarak belirlenmiştir.

Bahse konu projede belirlenen alanlarda su kalite hedeflerinin sağlanamamasına sebep olan kentsel atık su oluşumunun yoğun olduğu drenaj alanlarında yürütülen çalışmalar sonucunda ise Türkiye’nin alanının %51’ine karşılık gelen drenaj alanı Kentsel Hassas Alan olarak belirlenmiştir. Söz konusu çalışmanın çıktısına göre önemli besin elementi kaynaklarının tarım-hayvancılık faaliyetleri ile kentsel atık sular olduğu görülmüştür [34].

Diğer taraftan, yapılan farklı bir çalışmada ise en yüksek N:P oranına sahip besin elementi kaynaklarının Çizelge 2.1.’de görüldüğü üzere tarım dışı araziler ve ormanlar gibi verimli kabul edilmeyen insan etkisi ile bozulmamış karasal alanlar olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.1. Besin elementi kaynaklarına göre göllerin ortalama N:P oranları [32]

Besin Element Kaynağı	N:P	Referans
Dağlık, tarım yapılmayan alanlardan gelen	247:4	Loehr 1974
Orta derece N, P bakımından zengin topraklar	75.0	Vollenveider 1968
Kırsal alanlar, tarlalar	60.9	Loehr 1974
N, P bakımından zengin topraklar	33.3	Vollenveider 1968
Ormanlık alanlar	71.1	Loehr 1974
Yağış	25.4	Loehr 1974
Tarım havzaları	20.0	Uttormark et al. 1974
Kanalizasyon suları	10.0	Golterman 1975
Ötrofik göl sedimentleri	0.8	Fukushima et al. 1991

Bu çerçevede oligotrofik durumda olan durgun suların bozulmamış alanlardan gelen yüzeysel akışla birlikte fosfordan ziyade azot yükü taşıdığı için bu trofik duruma sahip sularda N:P oranı daha yüksek olacaktır [32].

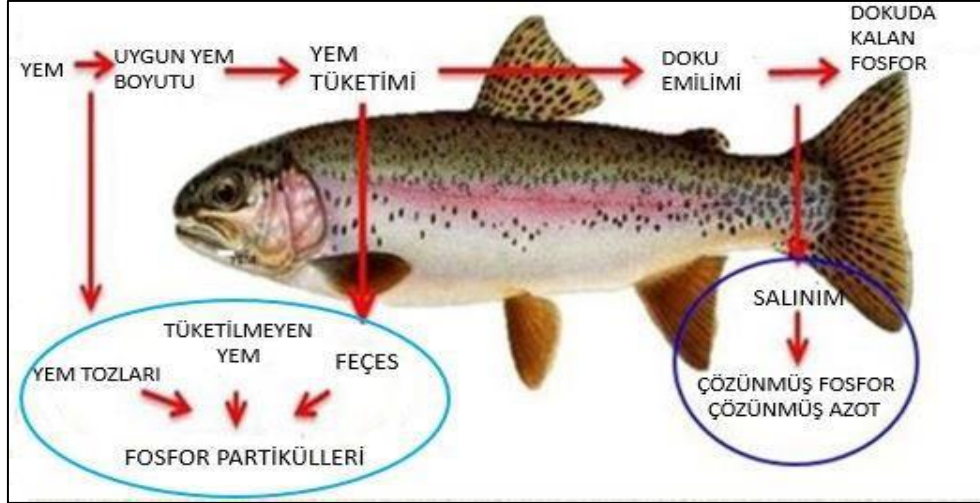
2.3. Balık Yetiştiriciliği Kaynaklı Azot –Fosfor Kirliliği

Nüfus artışına paralel olarak artan gıda talebi ve gıda tüketiminde ki değişiklikler sanayi, tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin yanı sıra su ürünleri yetiştiriciliği sektörünün de genişlemesine ve su kaynakları üzerindeki baskının artmasına neden olmuştur.

Türkiye’de hem iç sularda hem de denizlerde ağırlıklı olarak balık yetiştiriciliği yapılmakta olup 2021 yılında toplam yetiştiricilik miktarı bir önceki yıla göre %11,9 artmıştır. İçsularda yetiştiricilik yoluyla üretilen balıklar arasında en fazla üretim payına ise alabalık sahiptir. İç sularda akarsularla birlikte üretimin yoğun olarak gerçekleştirildiği sular gölet ve baraj gölleri olup baraj göllerinde ağ kafeslerde entansif yetiştiricilik ile ağırlıklı olarak yine alabalık üretimi gerçekleştirilmektedir [4].

Söz konusu balık yetiştiriciliği işletmelerinin sayısı ve üretim kapasitelerinin artması ile paralel olarak yem üretim ve tüketim miktarlarında da görülen artış hâlihazırda bu işletmelerden kaynaklanan atık miktarında artmasına neden olmaktadır. Balık yetiştiriciliğinde ve yem sektöründe ekonomik açıdan olumlu yönde değerlendirilirken bu sektörel gelişmelerle birlikte su ürünleri yetiştiriciliğinin çevreye olan etkileri hakkında araştırmaların sayısı artmıştır. Yapılan çalışmalarda balık yetiştiriciliğinden kaynaklı kirliliğin ana unsurlarını ise azot ve fosfor oluşturmaktadır [31].

Durgun sularda azot ve fosfor yükü oluşturan balık yetiştiriciliğinden kaynaklı ana kirleticiler; tüketilmeyen yemlerden oluşan askıda katı madde ile feçes ve salınımla alıcı ortama dahil olan özellikle N ve P olmak üzere çözünmüş besin elementlerinden oluşmaktadır [31].



Şekil 2.4. Balık yetiştiriciliğinde besin elementi girdileri [31]

Yetiştiricilik kaynaklı atıklar katı ve metabolik atıklar olarak iki grupta aşağıda değerlendirilmektedir.

Katı atıklar; balık yetiştiriciliği faaliyetinden kaynaklanan katı atıklar; tüketilmeyen yem ve pul gibi maddelerden oluşmaktadır. Tüketilmeyen yemler suda çözünerek ya da kafes altlarındaki sedimentte çökerek besin elementi girdisini arttırmaktadır. Danimarka’da yapılan bir çalışmada kuru yemler (pelet yemler) ile balıklar beslendiğinde %1-5 arasında yem kaybı gözlenmiştir. Ayrıca, balık stokunda çeşitli nedenle hastalanarak ölen balıklarda yine organik yükü arttırmaktadır [31].

Metabolik atıklar; tüketilip sindirilen yem feçes olacaktır. Yem içeriği kompozisyonuna göre tüketilen yemin ise % 15’i ile %30’undan feçesin oluştuğu tahmin edilmektedir. Feçes miktarı sindirilemeyen yem bileşiğine göre belirlenmekte, dibe çöken feçes sucul ekosistemlerin besin elementi yükünü arttırmaktadır. Ayrıca, balıkların solungaçları vasıtası ile sucul ortama azot bileşikleri salınmaktadır.

Günümüzde balık yetiştiriciliği işletmeleri kaynaklı bahse konu atıkların su kalitesi ve sucul ekosisteme zararlı etkileri hakkında araştırmacılar ve yetkili kurumların bilgi sahibi olması nedeni ile bu etkilerin önüne geçmek maksadıyla ekonomiye ve gıda ihtiyacının karşılanmasına önemli katkısı olan yetiştiricilik sektörünün devamlılığı için araştırmalar yapılmakta, çevre dostu yem üretimi ve yetiştiricilik teknolojileri uygulamaları konusunda çalışmalar yürütülmektedir [31].

2.4. Trofik Durum Sınıflandırması

Trofik durum terimini 1929 yılında ilk kez kullanan İsveçli Limnolog Einar Naumann'a göre durgun sularda trofik durum kantitatif fitoplankton çoğalması olarak tanımlanmıştır. Günümüzde trofik durum sınıflandırması Naumann'ın Weber tarafından bataklıkların besin içeriğini sınıflandırmak için kullandığı terimleri kullanarak 1929 yılında yayımladığı çalışması ile ilişkilendirilmiştir. Weber tarafından besin elementlerini dışarı veren bataklıklar oligotrofik iken, besin elementlerini biriktiren bataklıklar ötrofik olarak tanımlanmıştır. Naumann gölleri sınıflandırırken aynı terimleri kullanmış ancak bahsedildiği üzere sınıflandırmasında fitoplanktonların çoğalmasını esas almış, durgun suların bulunduğu havza özelliklerini de dikkate alarak yaptığı sınıflandırmada göllerin biyolojik verimliliğini fiziksel ve kimyasal faktörler ile ilişkilendirmiştir. Naumann'a göre trofik durum kavramı; bir gölün alg verimliliği azot ve fosfor konsantrasyonu, alg çoğalmasında bölgeye göre görülen farklılıklar su havzasının jeolojik yapısı ile ilişkilidir. Fitoplankton çoğalması tüm gölün biyolojik yapısını etkilemektedir. Göller ise yaşlandıkça biyolojik açıdan daha verimli hale gelmektedirler.

Naumann ile aynı dönemde Alman araştırmacı August Thienemann bentik organizma türleri ile hipolimnetik oksijen konsantrasyonunun ilişkilendirdiği bir sınıflandırmayı göller için geliştirmiştir, Naumann ve Thienemann yaptıkları çalışmaları entegre ederek daha kapsamlı bir sınıflandırma sistemini oluşturdular. Ancak, fitoplankton biyokütlesini esas alan Naumann sınıflandırmasına biyolojik bir unsurun, bentik canlı grubunun eklenmesi sınıflandırmayı daha karmaşık bir hale getirmiştir. Yeni türlerin bulunması, tahmin edilenden daha farklı koşullarda yaşam sürdürebilen canlı türlerinin bulunması, biyotik ve abiyotik faktörlerin tek bir çatı altında birleştirilmesi bu yeni sınıflandırmayı uygulanamaz hale getirmişti. Ancak, diğer taraftan Naumann'ın çalışmalarında yer alan besin elementi yüklemesi, fitoplankton biyokütlesi, fosforun ilişkilendirilmesi ve göl

yaşlanmasına bağlı olarak trofik durumun değişmesine dair tespitleri farklı araştırma ve çalışmaların yapılmasında önemli bir başlangıç noktası olmuştur [33]. Birçok araştırmacı tarafından trofik durumun belirlenmesi maksadıyla yöntemler geliştirilmiştir, yapılan çalışmalar arasında Naumann'ın çalışmasından yıllar sonra dikkate değer çalışmalardan birisi Vollenweider tarafından 1968, 1975 ve 1976 yıllarında yaptığı çalışmalarla geliştirilen durgun sularda fitoplankton çoğalmasında havzadan gelen besin elementi girdilerinin, özellikle de fosforun etkisini vurgulayarak ötrofikasyonu önlemeye yönelik fosfor yükleme modeli olmuştur. Bahse konu olduğu üzere trofik durumun değerlendirilmesi maksadıyla farklı dönemlerde çeşitli yöntemler geliştirilmiş, tüm bu çalışmalar ışığında trofik durumu belirlemede kullanılan yöntemler arasında toplam fosfor esaslı bir standartın daha etkili olduğu görülmüştür [33,35]. Günümüzde de durgun suların trofik duruma göre sınıflandırılması göllerin verimliliğine esasına dayanmakta, başka bir deyişle göllerin ihtiva ettiği bilhassa azot ve fosfor besin elementleri bakımından durumuna göre sınıflandırılmaktadır. Durgun sular genel olarak besin elementleri ve yardımcı gösterge parametrelere göre göller oligotrofik, mezotrofik, ötrofik olarak üç grupta değerlendirilmektedir [36].

Oligotrofik göller; Yunancada “Oligo” kelimesi oldukça az anlamına gelmekte olup anlamı ile paralel olarak besin elementleri bakımından verimli değildir. Oligotrofik göllerde su sütunu boyunca yüksek seviyelerde oksijen bulunurken düşük alg konsantrasyonu içermesinden ötürü ışık daha derin bölgelere kadar nüfuz etmekte ve bu göllerde daha az ayrışma görülmektedir. Sucul ekosistemlerde fitoplankton, balık ve zooplankton gibi organizmaların ölerek dibe çökmesi neticesinde bu canlıları bakteri ve omurgasızlar ayrıştırmakta ve bu işlem sırasında tabakalaşma görülen durgun sularda hipolimnion adı verilen gölün dip tabakasında oksijen tüketimi gerçekleşmektedir, buna bağlı olarak ise bu tabakada canlı yaşamını sınırlandıran anoksik bir ortam oluşmaktadır. Karasal bitkiler gibi yapılarında bulunan klorofil enzimi sayesinde fotosentez yapabilen sucul bitkisel organizmalar olan fitoplanktonlar ve bazı diğer sucul organizmalar besin elementlerinin sınırlı olduğu oligotrofik su ortamlarında verimli göllere nispeten daha az görüldüğü için bu sularda ayrışma olayı böylece daha az görülürken bu duruma bağlı olarak bu tip göllerde her derinlikte oksijen seviyesi yıl boyunca yüksek seviyede ölçülmektedir [37].

Mezotrofik göller orta derecede azot ve fosfor besin elementlerini ihtiva etmekte ve genellikle yaz mevsiminin sonunda alg patlamaları görülmesine rağmen nispeten temiz

tatlı su kaynakları olarak kabul edilmektedir. Bu göllerde yaz ve kış mevsiminde tabakalaşma görülmektedir.

Durgun sularda tabakalaşma yaz mevsiminde sıcaklık artışı ile yoğunluğu farklı su kütlelerinin oluşması ile ortaya çıkarken, kış mevsiminde ise su yüzeyinin buz tutması ile üst tabakanın altında +4 °C daha yoğunluğa sahip bir tabaka oluşması ile tabakalaşma gerçekleşmektedir. Bu tabakalaşmanın sonucunda üstte epilimnion, onun altında geçiş tabakası olan termoklin ve dip tabakası hipolimnion oluşmaktadır.

Göl suyunun üst tabakası olan epilimnionda alg populasyonları bulunmakta, populasyonlar fotosentez işleminin yan ürünü olarak ortaya çıkan oksijen seviyesini bu tabakada yüksek tutmaktadır. Dip tabaka olan hipolimnionda ise ayrıştırıcı organizmaların oksijen tüketimine bağlı olarak epilimnion tabakasının aksine yaz aylarında anoksik bir ortam oluşmaktadır. Yaz mevsimi boyunca tabakalaşmaya bağlı olarak hipolimnion tabakasında tüketilen oksijen yenilenmezken burada yaşayan organizmalar oksijen bulunan sığ bölgelere doğru hareket ederler. Özetle, mezotrofik göller oligotrofi ile ötrofi arasında kalan sulardır [37].

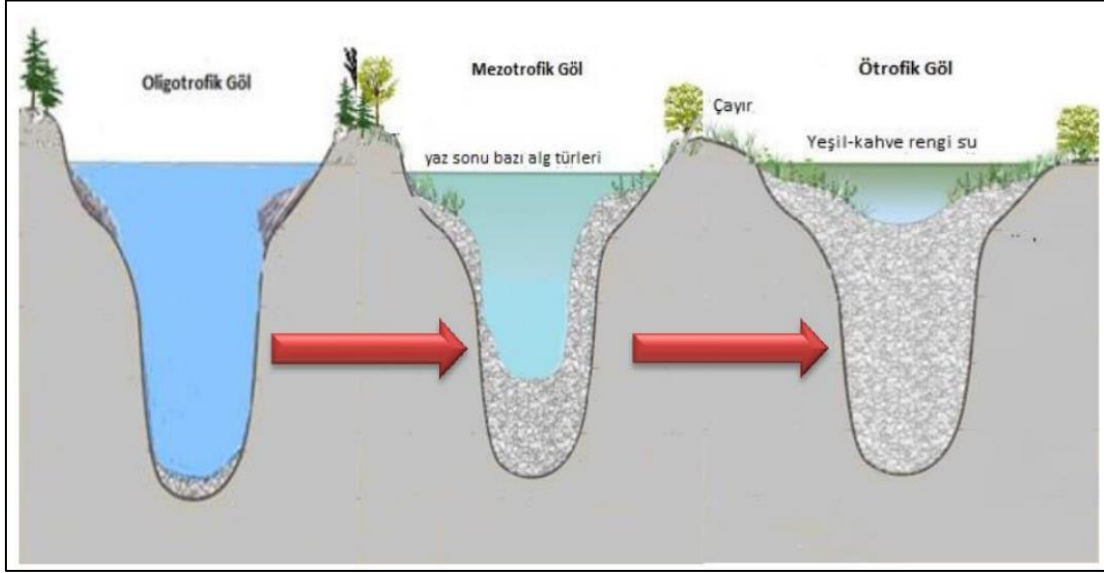
Ötrofik göller azot ve fosfor bakımından zengin sular ötrofik olarak adlandırılmaktadır. Bu suların azot ve fosfor açısından zengin olması yüksek alg yoğunluğuna neden olurken diğer taraftan bu tip sularda yaşamaya elverişli balık populasyonlarının ve diğer sucul organizmaların da yoğunluğunun göstergesidir.

Ancak, belirli bir üst yoğunluğa ulaşan organizmaların ölererek dibe çökmesi hipolimnion tabakasında aşırı oksijen tüketimine neden olarak bu tabaka da oksijene bağımlı olarak yaşamlarını sürdüren balık ve omurgasızların ölümüne neden olmaktadır [37].

Hipertrofik göller ise fosfor ve azot bakımından zengin yüksek verimli göllerdir. Aşırı fitoplankton çoğalması ve suyun berraklığının azalmasına bağlı olarak rekreasyonel maksatlı kullanımlar için ve en önemlisi sucul canlı yaşamı için uygun değildir [38].

Türkiye’de Havza Bazında Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi kapsamında 1 yıl boyunca mevsimsel olarak su kalitesi izlenen ve balık

yetiştiriciliği yapılan 56 baraj gölünün trofik durumu Carlson Trofik Durum İndeksine göre değerlendirilmiş olup bu baraj göllerinden 42 tanesinin ötrofik olduğu görülmüştür [31].



Şekil 2.5. Göllerde trofik durum değişim süreci [31]

Durgun sularda besin elementlerinin konsantrasyonunun yanı sıra klorofil-a ve seki diski derinliği (ışık geçirgenliği) de dikkate alınarak trofik durum sınıflandırılması yapılmaktadır.

Klorofil-a, karasal bitkilerde ve alglerde güneş ışığını kullanarak basit molekülleri organik bileşiklere dönüştürüp fotosentez işleminin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu işlevi ile klorofil-a bir su kaynağında çoğalan algal biyokütlenin göstergesi olarak algal biyokütlenin ölçülmesine kıyasla daha kolay olduğu için olarak trofik durum sınıflandırmasında kullanılmaktadır. Ancak, burada dikkat edilmesi gereken nokta klorofil-a mevcut algal biyokütle hakkında bilgi sağlarken, araştırma yapılan durgun su kaynağının birincil üretim oranı hakkında bilgi sağlamamaktadır [39,40,41].

Algal biyokütle artışının olumsuz etkilerinden biri bozulmuş su kalitesi olup yüksek oranda besin elementi yükü taşıyan sularda, yüksek klorofil-a konsantrasyonu ve alg popülasyonuna rastlanabilmektedir [40].

Seki diski derinliği ise bir gölün üretkenliğini tahmin etmek için en basit yöntemlerden birisi 8 inç çapında siyah-beyaz metal bir disk ile suyun ışık geçirgenliğinin diğer bir

deyişle seki disk derinliğinin ölçülmesidir. Suyu giren ışığın miktarını suyun berraklığı doğrudan etkilemektedir.

Algler yüzeysel akış, erozyondan nedeni ile sulara ulaşan partikül maddeler suyu bulanıklaştırarak durgun sularda berraklığı seki diski derinliğini azaltmaktadır. Bu doğrultuda seki diski derinliği ne kadar düşükse, durgun sularda birincil üretim o kadar yüksek olmaktadır. Ancak, seki derinliği ve fosfor parametrelerini algal olmayan kil gibi partikül maddeler etkileyebilmektedir [42,43].

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Çalışma Bölgesinin Özellikleri

Çalışma bölgesi Türkiye'nin ikinci büyük havzası olan Kızılırmak Havzası'nda Kızılırmak Nehri üzerinde kurulu mabadan mansaba doğru sırası ile Yukarı Kızılırmak Alt Havzasında bulunan Yamula ve İmranlı Baraj Gölleri, Orta Kızılırmak Alt Havzasında bulunan Bayramhacılı ve Hirfanlı Baraj Gölleri ile Aşağı Kızılırmak Alt Havzasında yer alan Derbent Baraj Gölüdür.

Çizelge 3.1. Baraj göllerine ait bilgiler [44]

Baraj Adı	İl	Kullanım Amacı	İşletmeye Alındığı Yıl	Aktif Hacmi (hm ³)	Sulama Alanı (ha)
İmranlı	Sivas	Sulama Enerji	2003	57,3	9819
Yamula	Kayseri	Sulama Enerji	2003	2076,0	-
Bayramhacılı	Nevşehir	Sulama Enerji	2011	42,4	215
Hirfanlı	Kırşehir	Sulama Enerji	1959	5750,0	5309
Derbent	Samsun	Sulama Enerji	1990	45,7	21550

Kızılırmak Havzasında çalışma bölgesini oluşturan baraj göllerinin kurulduğu 82.182 km'lik havzanın sularını boşaltan Kızılırmak Nehri Sivas ili İmranlı ilçesi Kızıldağ'ın güney yamaçlarından doğar ve sırasıyla Kayseri, Nevşehir, Aksaray, Kırşehir, Ankara, Kırıkkale, Çankırı, Çorum, Sinop ve Samsun il topraklarından geçerek Bafra Ovası'ndan Karadeniz'e dökülmektedir. Kızılırmak Havzası; Yukarı Kızılırmak, Orta Kızılırmak, Aşağı Kızılırmak, Delice Irmağı, Tuzla Kapalı Havzası, Develi Kapalı Havzası ve Seyfe Kapalı Havzası olmak üzere toplam yedi alt havzadan oluşmaktadır Çalışma bölgesinde yer alan baraj gölleri ise Yukarı Kızılırmak, Orta Kızılırmak ve Aşağı Kızılırmak Alt Havzalarında bulunmaktadır. Havzanın genelinde karasal iklim özellikleri görülmektedir. Kızılırmak Nehri besleyen kollardan gelen kil, silt, kum ve çakıl malzemeleri nedeni ile yer yer geçirimli bir nehir yatağına sahiptir [44].

Havza ile ilgili genel bilgiler;

- Kızılırmak Havzasının nüfusu çalışma bölgesinde izleme çalışmasının gerçekleştirildiği 2017 yılında 3.971.503, 2018 yılında ise 4.123.573'dir.
- Kızılırmak Havzası sektörel su kullanımının %85'i tarımsal sulamaya; %14'ü içme ve kullanma suyu, kalan %1'lik bölümü ise sanayi faaliyetlerine tahsis edilmiş durumdadır.
- Havzada belirlenen su kütlelerinin 144'ü durgun sulardır.

Kızılırmak Havzasında su kaynakları üzerinde baskı oluşturan unsurlar; Kentsel ve endüstriyel atıksular ile foseptikten kaynaklanan kentsel atıksular (Şarkışla OSB, Kayseri OSB, Samsun Bafra OSB), düzensiz döküm sahalarından kaynaklanan sızıntı suyu, tarım ve hayvancılık faaliyetleri, turizm faaliyetleri (bilhassa Kayseri ve Nevşehir illeri), madencilik faaliyetleri ve jeotermal faaliyetler olarak sıralanmaktadır [45]. Çalışma bölgesinde yer alan baraj gölleri ile bulunduğu Kızılırmak Havzası Alt Havzalarına ait bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

Yukarı Kızılırmak Havzasına ilişkin genel bir değerlendirme yaptığımızda. Kızılıрмаğın doğduğu Kızıldağ'ın güney yamaçlarından başlayarak Yamula Baraj Gölünü de içine alan bölüm Yukarı Kızılırmak Alt Havzasını oluşturmaktadır. Bu bakımdan alt havza aynı zamanda Yamula Baraj Gölünün drenaj alanı olarak kabul edilmektedir. Alt havza alanı 15.624,5 km²'dir.

Yukarı Kızılırmak Alt havzasının çıkışında, Yamula Baraj Gölünde, Yamula akım gözlem istasyonu bulunmaktadır. Söz konusu istasyondan elde edilen verilere göre yıllık akışların %28'i Nisan ayında, %18'i Mayıs ayında ve %17'si Mart ayında oluşmaktadır [44].

Çalışma bölgesinde yer alan İmranlı ve Yamula Baraj gölleri Yukarı Kızılırmak Alt havzasında bulunmaktadır.

İmranlı Barajı, 2003 yılında işletmeye alınan İmranlı Barajı Sivas İli Kızılırmak Nehri üzerinde hidroelektrik enerji üretimi ve sulama maksatlı olarak kurulmuştur [46]. Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı tarafından İmranlı Baraj Gölü ve çevresi ile Kızılırmak Nehrinin Doğduğu Yer doğal sit alanı kabul edilerek koruma altına alınmıştır [47].



Resim 3.1. İmranlı Baraj Gölü [48]

Yamula Barajı ise Kayseri ilinin en büyük barajı olup Kayseri şehir merkezine 30 km uzaklıkta Kocasinan İlçesinde Kızılırmak Nehri üzerinde bulunmaktadır. Yamula Barajı hidroelektrik enerji üretimi, kırsal yerleşim alanlarına tarımsal sulama, balık yetiştiricilik tesislerinin kurulması, çeşitli su sporlarının yapılması ve rekreasyon maksatlı alanları oluşturması neticesinde bölgeye ekonomik ve sosyal açıdan katkı sağlamaktadır [49].



Resim 3.2. Yamula Baraj Gölü [50]

Orta Kızılırmak Alt Havzası ise Yamula Baraj Gölü mansabından Delice Irmak Kızılırmak Nehri birleşimine kadar olan bölüm Orta Kızılırmak Alt Havzasını oluşturmaktadır. Alt havzanın alanı 37.889 km² dir. Alt Havzanın kuzey bölümünde kısmen Karadeniz ikliminin etkili olsa da havzada ağırlıklı olarak karasal iklim etkisini göstermektedir. Yıllık akış verilerine göre alt havzada yıllık akışların %20'si Nisan ayında, %15'i de Mart ayında ve %15'i de Mayıs ayındadır [44].

Çalışma bölgesinde yer alan Bayramhacılı ve Hirfanlı Baraj Gölleri Kızılırmak Havzası Orta Kızılırmak Alt Havzasında bulunmaktadır.

Bayramhacılı Barajı, Kızılırmak Nehri üzerinde Nevşehir İli Avanos ilçesinin kuzeydoğusunda Yamula Barajı'nın mansap tarafında kurulmuştur. Baraj Gölü Nevşehir İli ile Kayseri İl (Kocasinan İlçesi) sınırları arasında yer almaktadır [44].



Resim 3.3. Bayramhacılı Baraj Gölü [51]

Türkiye'nin en büyük barajlarından birisi olan Hirfanlı Baraj Gölü sulama ve hidroelektrik enerji üretimi maksadıyla Kızılırmak Nehri üzerine kurulmuştur. Baraj gölü içerisinde küçük adalar yer almaktadır. Ankara İli Şereflikoçhisar, Bala ve Evren ilçeleri, Kırşehir İli, Aksaray İli Sarıyahşi ilçelerinin baraj gölüne kıyısı bulunmaktadır [52].



Resim 3.4. Hirfanlı Baraj Gölü [53]

Aşağı Kızılırmak Alt Havzası, Delice Irmak ile Kızılırmak Nehri'nin birleştiği noktadan Karadeniz'e döküldüğü Bafra'ya kadar olan drenaj alanı Aşağı Kızılırmak Alt Havzasını oluşturmaktadır. Kızılırmak Nehrinin başlıca kollarından Devrez Çayı ve Gökırmak Aşağı Kızılırmak Alt Havzası içerisinde değerlendirilmektedir. Aşağı Kızılırmak Alt Havzasında Karadeniz iklimi etkilidir ve kışlar ılık, yazlar serin ve her mevsim yağış görülmektedir [44].

Çalışma bölgesinde yer alan Derbent Baraj Gölü Aşağı Kızılırmak Alt Havzasında bulunmaktadır.

Derbent Barajı Kızılırmak Havzasının mansabındaki son baraj gölüdür [44]. Derbent Baraj Gölü Samsun İli Kızılırmak Nehri üzerinde, Altınkaya baraj gölü mansabında yer almaktadır. Kızılırmak Deltası'nı besleyen kaynak durumunda olan Derbent baraj gölü 1990 yılında işletmeye alınmıştır. Kullanım amacı sulama ve hidroelektrik enerji üretimi olan baraj gölünde 1995'li yıllardan beri yapılmaya başlayan ağ kafeslerde alabalık yetiştiriciliği ciddi bir ekonomik kaynak durumuna gelmiştir [62].



Resim 3.5. Derbent Baraj Gölü [55]

3.2. Arazi Çalışmaları

Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından 2016-2018 yılları arasında yürütülen Durgun Sularda Su Kalitesinin ve Özümleme Kapasitesinin Belirlenmesi Projesi kapsamında 21.02.2015 tarih ve 29274 sayılı Yerüstü Suları Yeraltı Suları ve Sedimentten Numune Alma ve Biyolojik Örneklemeye Tebliğinin ilgili hükümleri doğrultusunda örneklemeye noktaları belirlenmiştir.

Bu hususlar;

- Örnek alınacak noktaların baraj göllerinin su kalite durumunu temsil etmesi,
- Söz konusu noktaların kirletici kaynaklarının olduğu yer ve/veya dolaylarında olması,
- Yüzey alanı 500 hektardan büyük olan baraj göllerinde en az üç noktadan örnek alınması,

olup çalışma alanını oluşturan her bir baraj gölünde tüm gölü temsil edecek şekilde üçer adet örneklemeye noktası belirlenmiştir. Örnek alma noktalarına ait koordinatlar Küresel Konum Belirleme Cihazı (GPS) kullanılarak tespit edilmiştir. Örnek alınan noktaların koordinatları Çizelge 3.2’de verilmektedir [56].

Çizelge 3.2. Örnek alma noktalarının konumları [56]

Baraj Adı	1.İstasyon Koordinatları	2.İstasyon Koordinatları	3. İstasyon Koordinatları	4. İstasyon Koordinatları	5. İstasyon Koordinatları	6. İstasyon Koordinatları
	Enlem Boylam	Enlem Boylam	Enlem Boylam	Enlem Boylam	Enlem Boylam	Enlem Boylam
İmranlı	39° 52' 06,4" 38° 13' 10,9"	39°52'24,0" 38°11'57,1"	39° 52' 50,5" 38° 10' 11,1"	-	-	-
Yamula	38° 57' 9,4 "35° 27' 15,3"	38°56'50,2" 35°23'30,3"	38°57' 20,9" 35° 19' 55,3"	-	-	-
Bayramhacılı	38° 46' 46,0" 34° 58' 01,7"	38°47'19,4" 34°58'24,4"	38°47' 35,5" 34° 59' 44,0"	-	-	-
Hirfanlı	39° 04' 35,4" 33° 45' 36,9"	39°06'07,8" 33°44'32,0"	39° 06' 50,5" 33° 42' 46,0"	39° 10' 23,9" 33° 38' 50,7"	39° 10' 59,7" 33° 36' 37,7"	39° 11' 58,4" 33. 35' 04,8"
Derbent	41°25'24,59" 35°50'12,18"	41°27'0,03" 35°51'1,61"	41°24'38,25" 35° 49' 6,67"	-	-	-

Çalışma alanında belirlenen numune alma noktalarından ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde iki kez, yaz ve kış dönemlerinde ise birer kez numune alınarak bir yıl boyunca toplam altı kez örnekleme yapılmıştır.

Su numunelerinin alınmasına Nisan 2017 tarihinde ilkbahar dönemi ile başlanılmış, Ocak 2018 tarihinde kış dönemi itibari ile çalışmalar tamamlanmıştır.

Ancak, bazı dönemlerde özellikle örneklemenin yapıldığı kış mevsiminde hava koşulları nedeni ile numune alınamayan göller bulunmaktadır, söz konusu dönemin telafi edilmesi için takip eden kış mevsimi döneminde numune alma çalışmaları yapılmıştır. Tekrarı yapılan izleme çalışmalarında kısmen çalışma yapılan durgun sulardan numune alınabilirken bazı noktalardan yine hava koşulları ile numune alınamamıştır.

Her bir baraj gölünden bir yıl boyunca mevsimsel olarak örneklemenin yapıldığı tarihler Çizelge 3.3'de verilmektedir [56].

Çizelge 3.3. Numune alma tarihleri [56]

Baraj Adı	1. Dönem (İlkbahar)		2.Dönem (Yaz)	3.Dönem (Sonbahar)	4. Dönem (Kış)	
İmranlı	08.04.2017	03.05.2017	07.07.2017	18.09.2017	04.11.2017	24.12.2017
Yamula	08.04.2017	15.05.2017	18.07.2017	19.09.2017	12.11.2017	23.12.2017
Bayramhacılı	08.04.2017	12.05.2017	14.07.2017	17.09.2017	11.11.2017	26.12.2017
Hirfanlı	02.04.2017	08.05.2017	10.07.2017	14.09.2017	07.11.2017	28.12.2017
Derbent	26.04.2017	22.05.2017	28.07.2017	19.09.2017	19.11.2017	02.01.2018

Baraj göllerinde numune alımı için 3,50 x 1,40 m ebadında tekne kullanılmıştır. Anılan Tebliğ doğrultusunda çalışma alanı olarak tanımlanan her bir baraj gölünün 10 metreden daha fazla derin olması nedeni ile 0,5 derinliğinde yüzey, orta ve dipten olacak şekilde üç ayrı derinlikten numune alınmıştır. Numune alımında farklı derinliklerden örnek alınması için niskin şişeleri kullanılmış, su numunelerin muhafaza, taşıma ve depolanması sırasında TS EN 5667-3 Su Numunelerinin, Muhafaza Taşıma ve Depolanması kılavuzuna göre yapılmıştır. Numunelerin taşınması ve muhafazası soğuk zincir (-20°C ve +4°C) özelliğine sahip mobil araçlarla yapılmış, arazi çalışmasında gerekli koruma önlemleri alınan örnekler laboratuvarda kayıtları yapıldıktan sonra analizlerinin yapılması için yetkili analiz personellerine teslim edilmiştir [56].

3.3. Laboratuvar Çalışmaları

Çalışma alanında belirlenen istasyonlardan alınan numunelerin analizleri Tarım ve Orman Bakanlığı adına yüklenici firma ALKA Çevre Laboratuvarları tarafından Çizelge 3.4’de belirtilen yöntem ve belirtilen cihazlar ile gerçekleştirilmiştir [56].

Çizelge 3.4. Analiz metot-yöntemleri ve kullanılan cihazlar [56]

Parametre Adı	Analiz Metodu	Analiz Yöntemi	Kullanılan Cihaz adı	Ölçüm limiti (LOD)	Ölçüm Aralığı
TP	SM 4500-P B SM 4500-P E	Digestion metodu Spektrofotometrik metot	UV spektrofotometre	0,0003	0,001-0,5
TN	TS EN 12260	Kimyasal ışın metodu	TOC-TN	0,0145	0,25-5
CHL A	TS 9092 ISO 10260	Spektrofotometrik metot	UV spektrofotometre	-	-
SD	EPA 841-B-97-003	Işık geçirgenlik metodu	Seki diski	-	-

Trofik durumun belirlenebilmesi maksadıyla toplam fosfor (TP), toplam azot (TN) ve klorofil-a parametrelerin analiz işlemlerine dair bilgiler aşağıda verilmektedir [56].

Toplam fosfor parametresinin analizi SM 4500-P B/SM 4500-P E uluslararası standardına göre yapılmıştır. 100 ml su numune örneğine 0.05 mL (1 damla) fenolfitalein indikatör çözeltisi ilave edilmiş, ilave çözelti sonrası kırmızı renk oluşması halinde ise renk giderilene kadar güçlü asit çözeltisi eklenmiştir. Ardından hazırlanan çözelti 30 dakika, 98-137 kilopascal otoklavda ısıtılmış, sodyum hidroksit çözeltisi ile nötralize edilmiş ve 100 ml'ye distile su ile tamamlanmıştır. Hidroliz basamağından geçmiş standartlardan kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Askorbik asit metodu kullanılarak, numunede reaktif fosfor (toplam polifosfatları ve ortofosfat) belirlenmiştir [56].

Toplam azot analizi TS EN 12260 uluslararası standardına göre yapılmıştır. Söz konusu standart doğrultusunda şahit çözeltiler ve numuneler eşit hacimlerde cihaza enjekte edilerek, her bir çözelti için elde edilen tepkimeler en az üç defa ölçülmüştür. En az iki enjeksiyondan elde edilen ortalama tepkime kullanılarak, numunedeki toplam bağlı azotun derişimini tayin etmek için kalibrasyon grafiğı kullanılmıştır [56].

Klorofil-a analizi TS 9092 ISO 10260 uluslararası standartına göre yapılmıştır. 100 mL numune fiberglas filtreden süzölmüş, üzerine 0,15 mL MgSO₄ eklenmiştir. Nemli filtre

alüminyum folyoya sarılarak -10°C 'de bekletildikten sonra dörde bölünerek 15 ml santrifüj tüpüne yerleştirilip üzerine 10 mL %90 saf aseton eklenmiştir. Buzdolabında 24 saat boyunca 4°C 'de bekletilmiş ve absorbanları ölçülmüştür. Blank (şahit) % 90 asetona karşı okutulmuştur. Sahada numune alındıktan sonra klorofil-a parametresi için özel vakum sistemi ile numuneler filtrede süzülme işlemi yapılmıştır. Daha sonra filtreler dondurucularda -18°C 'ye kadar soğutma işlemi uygulanmıştır [56].

Seki diski derinliği ölçümü ise saha çalışması sırasında örnekleme noktalarında 30 cm çapında siyah-beyaz metal bir disk şeklinde olan ölçüm aleti gözden kaybolana dek baraj göllerinde suyun içine indirilmiş, diskin gözden kaybolduğu nokta işaretlenerek uzunluğu veri formuna işlenmiştir [56].

3.4. Trofik Durumun Belirlenmesi

Trofik sınıflandırmaların tümü trofik sürecin bölünmesine başka bir deyişle besin elementi düzeylerine göre sınıflandırılmasına dayanmaktadır. Geleneksel sistemde bu sınıflandırma oligotrofik, mezotrofik ve ötrofik olarak sınıflandırılmaktadır. Fakat bu tür bir ayırım üzerinden sınıflandırma yaparken dikkat edilmesi gereken nokta bazı durgun sularda besin düzeyleri arasında geçişte dikkat çekici değişimlerin görülmemesidir. Besin düzeyinde herhangi bir değişime paralel olarak bentik fauna ya da fitoplankton florasında bir anda değişim gözlenmeyecektir. Durgun suların mevcut içinde bulunduğu durumu salt değerlendirmek yerine bir indeks kullanarak mevcut durumu ortaya koyarken aynı zamanda trofik düzey değişim yönünü tayin etmek bu suların yönetimi açısından da daha faydalı olacaktır. Diğer taraftan trofik durumu bir ya da iki parametre ile değerlendirmek mümkün olmadığı gibi çok parametrelili indekslerin kullanımı da zorunlu ölçülmesi gereken parametre sayısından ötürü kullanışlı olmamaktadır. Kullanımı kolay ve yaygın bir indeks olan Carlson Trofik Durum İndeksi kullanılarak baraj göllerinin trofik durumu belirlenmiştir [43].

Robert E. Carlson tarafından 1977 yılında CHL-A konsantrasyonu, SD ve TP konsantrasyonuna göre durgun suların trofik durumunu belirleyen bir indeks geliştirilmiştir. Söz konusu indeks geliştirilirken Kuzey Amerika'da yer alan göllerden elde edilen veriler kullanılmış, alg biyokütlesinin birincil göstergesi olan CHL-A

parametresi algal olmayan organik ve inorganik partikül maddelerin göllerde mevcudiyetinde dahi algal bolluğu ölçebildiği için indekste esas alınmıştır [43].

Trofik durumu tahmin edersek göle yapılan yükleme miktarını tahmin etmek için hesaplama yapılabilir ve alg yoğunluğunun etkisini öğrenebiliriz. Bu bakımdan trofik durum göl yönetiminde çok önemli bir parametre olarak gözükmemektedir.

Carlson trofik durum indeksi, trofik durum kavramını açıklamanın ve hesaplamasının en basit yöntemi olarak görülmektedir [43].

Carlson Trofik Durum İndeks Eşitlikleri (1977)

$$TSI(SD) = 60 - 14,41 \ln (SD) \quad (3.1)$$

$$TSI(CHL-A) = 9,81 \ln(CHL-A) + 30,6 \quad (3.2)$$

$$TSI(TP) = 14,42 \ln(TP) + 4,15 \quad (3.3)$$

$$TSI(ORT) = [TSI(SD) + TSI(CHL-A) + TSI(TP)] / 3. [57]. \quad (3.4)$$

İndekste kullanılan parametrelerin birimleri SD (m); TP (mikrogram/L) ve CHL-A (mikrogram/L) şeklindedir.

Hesaplanan bu eşitliklerin indeks olarak kabul edilmesinin nedeni ise fitoplankton biyoması hakkında ölçüm sonucu verememesidir. Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsa algal biyokütlenin hatasız ölçümünün yapılması oldukça zordur bu nedenle trofik durumu etkileyen parametrelere dayanarak oluşturan bir indekse gölün verimliliği hakkında yorum yapmak daha doğru olacaktır [43].

Carlson trofik durum indeksi sınıflandırması Çizelge 3.5’de verilmekte olup tabloya bakıldığında parametrelerin sınır değerlerine karşılık gelen göl trofik durum özellikleri de belirtilmiştir.

Söz konusu göl trofik durum özelliklerini nitelendirilmesi açısından bilgi vermesi açısından da önemlidir.

Çizelge 3.5. Carlson trofik durum sınıflandırması [31]

CTSI	CHL-A ($\mu\text{g/L}$)	SD (m)	TP ($\mu\text{g/L}$)	Durgun Su Özellikleri
< 30	< 0,95	> 8	< 8	Oligotrofik Durum: Berrak su, hipolimniyon tabakası bol oksijen içermektedir.
30-40	0,95-2,6	4-8	6-12	Sığ göllerde hipolimniyon tabakası bazen anoksik olabilmektedir.
40-50	2,6-7,3	2-4	12-24	Mezotrofik Durum: Orta berraklıkta, yaz aylarında hipolimniyon tabakasının anoksik olma olasılığı yüksektir.
50-60	7,3-20	1-2	24-48	Ötrofik Durum: Anoksik hipolimniyon tabakası ve aşırı makrofit çoğalması görülebilmektedir.
60-70	20-56	0,5-1	48-96	Siyanobakteriler baskın, alg patlaması ve makrofit aşırı çoğalması görülebilmektedir..
70-80	56-155	0,25-0,5	96-192	Hipertrofik Durum: Işık sınırlayıcıdır. Yoğun alg ve makrofit görülmektedir
> 80	> 155	< 0,25	192-384	Alg köpükleri fazla, çok az makrofit bulunmaktadır.

İndeks değerlerinde olası sapmalarının yorumları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.6. İndeks değerlerindeki sapmalar [57]

CTSI Değişkenleri Arasındaki İlişki	Koşullar
$TSI(CHL-A) = TSI(TP) = TSI(SD)$	Alg yoğunluğu ve ışık zayıflaması hakimdir.
$TSI(CHL-A) > TSI(SD)$	<i>Aphanizomenon</i> gibi büyük parçacıklar hakimdir.
$TSI(TP) = TSI(SD) > TSI(CHL-A)$	Alg olmayan partiküller veya renk, ışık zayıflamasında baskındır.
$TSI(SD) = TSI(CHL-A) > TSI(TP)$	Fosfor sınırlayıcı besin elementidir [TN / TP = 33: 1)
$TSI(TP) > TSI(CHL-A) = TSI(SD)$	Algal biyokütleyi azot ya da fosfor dışında farklı bir faktör sınırlamaktadır.

Durgun suların yönetilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan CTSI'da yer alan değişkenler ve birbirleri arasındaki ilişki değerlendirildiğinde durgun su kaynağının mevcut durumuna dair bilgi elde edilebilmektedir [58].

Değişkenlerin karşılaştırılması için indeks kullanımının en kolay yöntemi her bir parametre indeksinin mevsimsel eğilimini değerlendirmektir. Her değişkenin indeks değeri benzer ve

birbiri ile uyumlu ise muhtemeldir ki o durgun su fosfor tarafından sınırlanmaktadır. İndeks değerleri, bazı durgun sularda örnekleme yapılan mevsimler boyunca birbirleri ile uyumlu olmayabilir. Bu tür bir durum değişkenler arasındaki ilişkiyi etkileyen yanlış bir hesaplama ya da hatalı ölçüm yapılması gibi temel bir sorun olduğuna işaret etmektedir. Örneğin, seki diski derinliğinin yanlış ölçümü sistematik bir sapmaya neden olabilmektedir. Bu tip ölçüm kaynaklı hataların yanı sıra durgun suların kendi ekolojisi ile alakalı olarak da ölçüm sonuçlarında ve indeks hesaplamalarında uyumsuzluklar görülebilmektedir. Örneğin; zooplankton varlığına bağlı olarak seki diski derinliğinde artma görülürken, suda CHL-A konsantrasyonu seki derinliği ile ters orantılı olabilmekte ya da yapısal olarak kil içeriği yüksek olan bulanık durgun sularda kil kaynaklı olarak fosfor içeriği yüksek bulunurken, CHL-A konsantrasyonu daha düşük olmakta, ışık geçirgenliğinde azalmaya bağlı olarak algler mevcut fosforu kullanamamaktadır [31].

4. BULGULAR

Trofik durum gösterge parametreleri olarak yapılan çalışmalarda sıklıkla birlikte değerlendirilen TN, TP, CHL-A ve SD parametre ölçüm verileri her bir baraj gölünde üç istasyonda ve yüzey, orta ve dip olmak üzere farklı derinliklerde ölçüm yapılarak elde edilmiştir. Ölçüm sonuçlarının derinliğe göre değişimi trofik durumun belirlenmesi hususunda değerlendirmeye alınmamış, ölçüm yapılan döneme ait yüzey, orta ve dip ölçüm sonuçlarının ortalaması alınarak oluşturulan ilgili örnekleme dönemine ait ölçüm sonuçlarına ait değişimler ve ölçüm sonuçlarını etkileyen muhtemel baskı ve etkiler bu bölümde değerlendirilmiştir. Söz konusu ölçüm sonuçları Carlson Trofik Durum İndeks hesaplanmasında kullanılarak baraj göllerinin trofik durumu belirlenmiş, yaygın olarak kullanılan C:N:P-106:16:1 Redfield Oranı kullanılarak aylara göre TN:TP oranları değerlendirilerek baraj göllerinde sınırlayıcı baskın element tespit edilmiştir.

4.1. İmranlı Baraj Gölü Trofik Durum Değerlendirmesi

İmranlı Baraj Gölü'nden Nisan-Aralık 2017 tarihleri arasında yaz ve sonbahar dönemi olmak üzere üç istasyondan yüzey, orta ve dipten, ilkbahar ve kış döneminde ise mevsimsel koşullar nedeni ile üç istasyondan yüzey numunesi alınmıştır [56]. İmranlı Baraj Gölü çalışma alanında numune alma istasyonlarının konumları ve balık yetiştiriciliği tesisi Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. İmranlı Barajı uydu görüntüsü üzerinde örnek alma istasyonları

4.1.1. Baskılar ve etkiler

İmranlı Baraj Gölünde kirliliğe neden olan muhtemel kirletici unsurlar aşağıda verilmektedir.

Noktasal baskılar

- Su kütlesi drenaj alanı bazında baraja ulaşan noktasal TP yükü < 3 ton/yıl, TN yükü < 0,5 ton/yıl arasındır [34].
- Baraj gölü çevresinde rekreasyon alanı bulunmaktadır [59].
- Ağ kafeslerde 950 ton/yıl üretim yapan alabalık yetiştiriciliği tesisi bulunmaktadır [60].

Yayılı kaynaklar

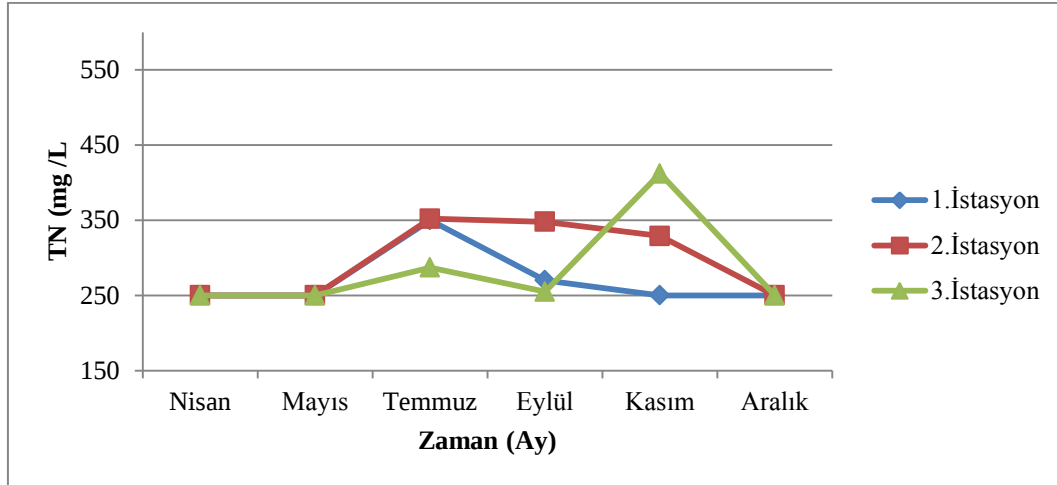
- İmranlı İlçesinde ağırlıklı olarak hayvancılıkla uğraşmakta olup hayvansal atıklar ve kimyasal gübre kullanımı baraj için potansiyel kirletici unsurlardır [59].
- Su kütlesi drenaj alanı bazında baraja ulaşan yayılı TP yükü (ton/yıl) 5-15, TN yükü 35-110 (ton/yıl) arasındır [34].
- Yapılan bir çalışmada ise Kızılırmak Nehrinin İmranlı İlçesi giriş ve çıkışından örnekleme yapıldığı ve İmranlı Barajında örnekleme yapılan noktaların bazı bölümlerinde yerleşim bölgelerinden kaynaklı kanalizasyon deşarjlarının olması nedeni ile ikinci sınıf su kalitesinde olduğu tespit edildiği belirtilmiştir [61].

4.1.2. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

Çalışma bölgesinde 2017-2018 yılları arasında bir yıl boyunca yapılan örneklemelemlerin mevsimsel açıdan temsil edici olması göz önünde bulundurularak Nisan, Mayıs, Temmuz Eylül, Kasım ve Aralık ayları olmak üzere toplam altı dönem izlemesi yapılan TN, TP, CHL-A ve SD parametrelerine ait ölçüm sonuçlarının örneklemelemlerin yapıldığı aylara göre değişimi grafik olarak aşağıda sunulmaktadır.

TN parametresi

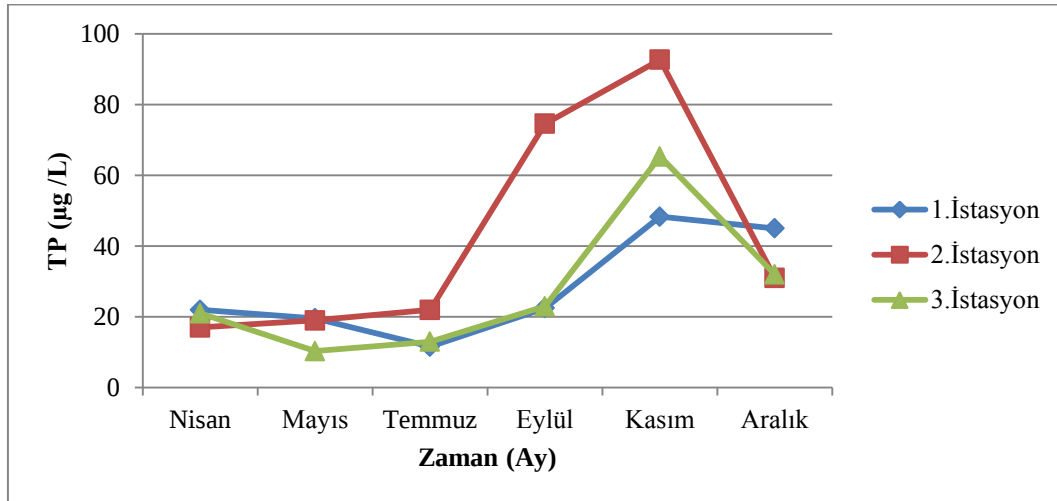
TN parametresinin en yüksek ölçüm değeri Kasım ayında 3. İstasyonda ölçülmüştür.



Şekil 4.2. TN parametresinin aylara göre değişimi

TP parametresi

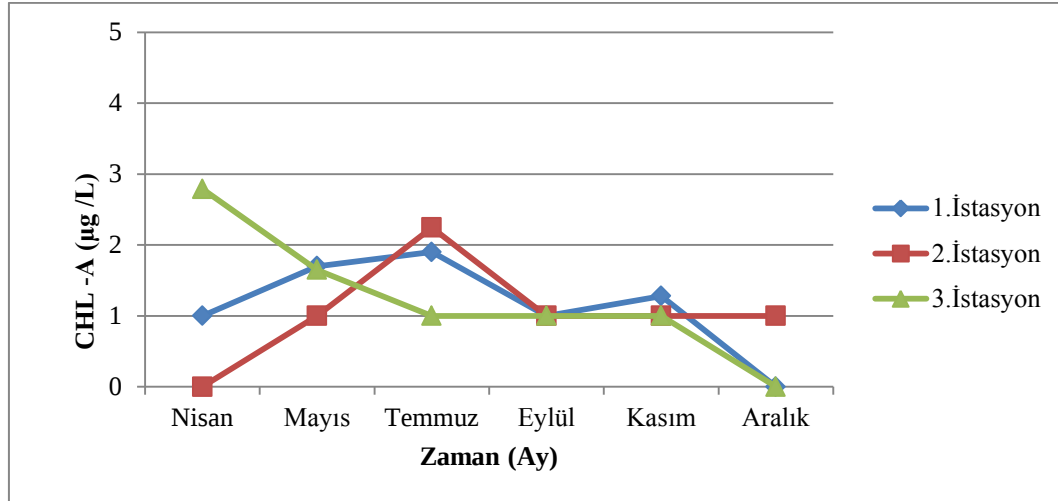
TP parametresi ölçüm değerleri üç istasyonda Temmuz-Kasım ayları arasında yükselmiştir. Göllerde tabakalaşmanın görülmediği ilkbahar aylarında ise en düşük TP ölçüm değerleri görülmüştür.



Şekil 4.3. TP parametresinin aylara göre değişimi

CHL-A parametresi

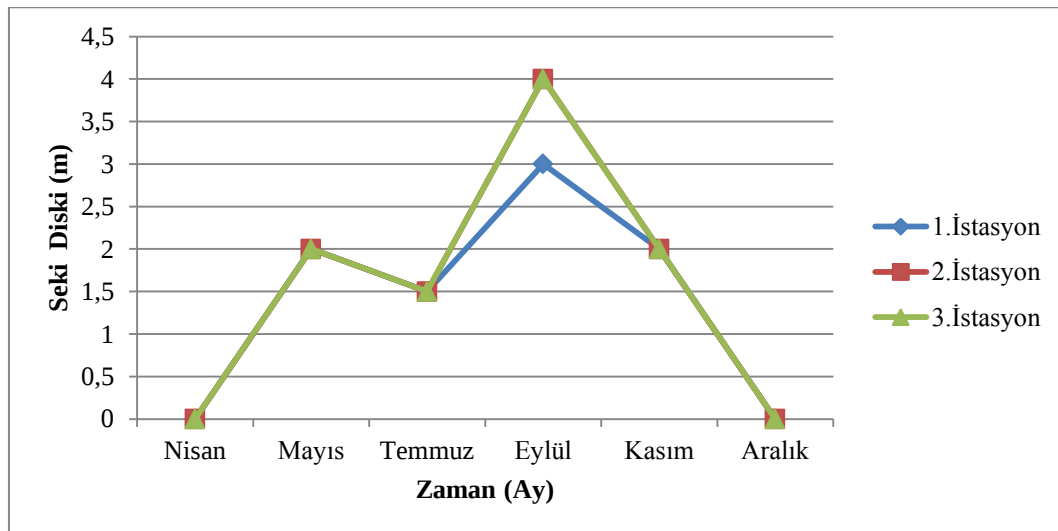
CHL-A en yüksek ölçüm değeri 3.istasyonda Nisan ayında görülürken 1. ve 2. İstasyonda Temmuz ayında en yüksek CHL-A ölçüm sonuçları elde edilmiştir. Aralık ayında mevsimsel koşullar nedeni ile CHL-A ölçümü gerçekleştirilememiştir.



Şekil 4.4. CHL-A parametresinin aylara göre değişimi

SD parametresi

3. istasyonda Eylül ayında en yüksek değere ulaşan SD parametre ölçüm değerinin bu aydan itibaren azalmaya başladığı görülmektedir. Tüm istasyonlarda Temmuz ayında SD değeri 1,5 m olarak ölçülmüş olup bu değer en düşük ölçüm sonucudur. Nisan ve Aralık ayında örnekleme noktasında ölçüm yapılamamıştır.



Şekil 4.5. SD parametresinin aylara göre değişimi

TN ve TP parametreleri bakımından en yüksek ölçüm değerleri 2. istasyonda görülmüştür. CHL-A ölçüm sonuçları her üç istasyonda da birbirine yakın değerlerde ölçülmüştür. Lokasyon olarak balık yetiştiricilik tesisinin bulunduğu 2. ve 3. istasyon baraj gölünün

memba tarafında kalmakta iken 1.istasyon barajın mansap kısmında yer almaktadır. Ölçüm sonuçlarını istasyonlara göre değerlendirdiğimizde; mansap bölümünde yer alan 1.istasyon ile memba tarafında yer alan 3.numaralı istasyona ait söz konusu parametrelerin ölçüm değerlerinin ortalamalarının birbirlerine yakın olduğu, en yüksek ölçüm değeri ortalamaları yine memba tarafında ve balık yetiştiricilik tesisinin faaliyet gösterdiği 2. numaralı istasyon olduğu görülmüştür.

4.1.3. Trofik durum değerlendirmesi

Carlson Trofik Durum İndeksine (1977) göre TP, CHL-A ve SD parametrelerinin trofik durumu aylık olarak hesaplanmış, parametre bazlı hesaplanan aylık trofik durum indeks değerlerinin ortalaması alınarak nihai trofik durum belirlenmiştir.

Yapılan trofik durum değerlendirmesi Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Trofik durum indeks değerlendirmesi

1.İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Aralık	Ortalama	Trofik Durum
TSI(TP)	48	47	39	49	60	59	48	Mezotrofik
TSI(CHL-A)	30	35	36	30	33	-	33	Oligotrofik
TSI(SD)	-	50	54	44	50	-	49	Mezotrofik
2.İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Aralık	Ortalama	Trofik Durum
TSI(TP)	45	46	48	66	69	53	54	Ötrofik
TSI(CHL-A)	-	30	38	30	30	30	32	Oligotrofik
TSI(SD)	-	50	54,	44	50	-	49	Mezotrofik
3.İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Aralık	Ortalama	Trofik Durum
TSI(TP)	48	37	41	49	64	53	48	Mezotrofik
TSI(CHL-A)	40	35	30	30	30	-	33	Oligotrofik
TSI(SD)	-	50	54	44	50	-	49	Mezotrofik

CTSI’ye göre TSI(CHL-A) değeri tüm istasyonlarda 6 dönem de oligotrofik, TSI(SD) tüm istasyonlarda mezotrofik durumdadır. TSI(TP) ise Kasım ve Aralık aylarında tüm istasyonlarda ötrofik, diğer dönemlerde ise mezotrofik durumdadır. Parametrelerin indeks

ortalamasına göre üç istasyon için sıralaması; $TSI(TP) > TSI(SD) > TSI(CHL-A)$ şeklindedir.

Sıralamanın bu şekilde olması sınırlayıcı besin elementinin TP dışında olabileceğini ve aynı zamanda $TSI(CHL-A)$ değerinin düşük olması fitoplankton gelişiminin baraj gölünde sınırlı olduğu, ulaşan muhtemel partikül maddelerin $TSI(TP)$ ve $TSI(SD)$ değerlerini etkilediğine ve bu partiküler kaynakların TP kaynağı olabileceğine işaret etmektedir[57].

Çizelge 4.2. TN:TP oranları

Ay	İstasyon	TN:TP	Sınırlayıcı Besin Element
Nisan	1.	11	Azot
	2.	14	Azot
	3.	11	Azot
Mayıs	1.	12	Azot
	2.	13	Azot
	3.	24	Fosfor
Temmuz	1.	30	Fosfor
	2.	16	Azot-Fosfor
	3.	22	Fosfor
Eylül	1.	12	Azot
	2.	4	Azot
	3.	11	Azot
Kasım	1.	5	Azot
	2.	3	Azot
	3.	6	Azot
Aralık	1.	5	Azot
	2.	8	Azot
	3.	7	Azot

Baraj gölünde aylara göre sınırlayıcı besin elementinin ağırlıklı olarak azot olduğu görülmektedir. Bahse konu olduğu üzere azot besin elementinin sınırlayıcı olması su kaynağına yüksek konsantrasyonlarda fosfor girdisine işaret etmektedir.

Carlson Trofik Durum İndeksine göre baraj gölünün $TSI(TP)$ bakımından mezotrofik sınıftan ötrofik sınıfa geçiş sürecinde olduğu görülmekte olup ötrofikasyon kontrolüne yönelik çalışmaların fosfora odaklanması önem arz etmektedir.

4.2. Yamula Baraj Gölü Trofik Durum Değerlendirmesi

Yamula Baraj Gölü'nden Nisan-Aralık 2017 tarihleri arasında ilkbahar, yaz ve sonbahar dönemi olmak üzere üç istasyondan yüzey, orta ve dipten, kış döneminde ise tekne indirilen istasyonlarda suların çekilmesinden dolayı tekne indirilememiş olup üç istasyondan yüzey numunesi alınmıştır [56]. Yamula Baraj Gölü çalışma alanında numune örnekleme istasyonlarının konumları Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Yamula Barajı uydu görüntüsü üzerinde örnek alma istasyonları

4.2.1. Baskılar ve etkiler

Yamula Baraj Gölünde kirliliğe neden olan potansiyel kirletici unsurlar aşağıda verilmektedir.

Noktasal baskılar

- Kayseri İli Kocasinan İlçesi baraj civarında yer alan Amarat, Yemliha ve Himmetdede yerleşim yerleri, Sarioğlan İlçesi Alamettin yerleşim yerinde arıtma tesisi bulunmamaktadır [34].
- Yamula Baraj Gölünü besleyen Kızılırmak Nehrine baraj gölünün memba kısmında yer alan Sivas ilinde merkez ve akarsu boyunca bulunan İmranlı, Zara, Hafik, Ulaş,

Şarkışla, Gemerek ilçeleri ile diğer küçük ölçekli yerleşim yerlerine ait atık sular nehre ve nehri besleyen akarsu kollarına arıtma yapılmadan deşarj edilmesi önemli bir kirletici baskı unsurudur [64].

- Baraj gölünde ağ kafeslerde 14 kadar 950 ton/yıl 3 adet 500 ton/yıl ve 300 ton/yıl alabalık tesisi bulunmaktadır [60].

Yayıllı kaynaklar

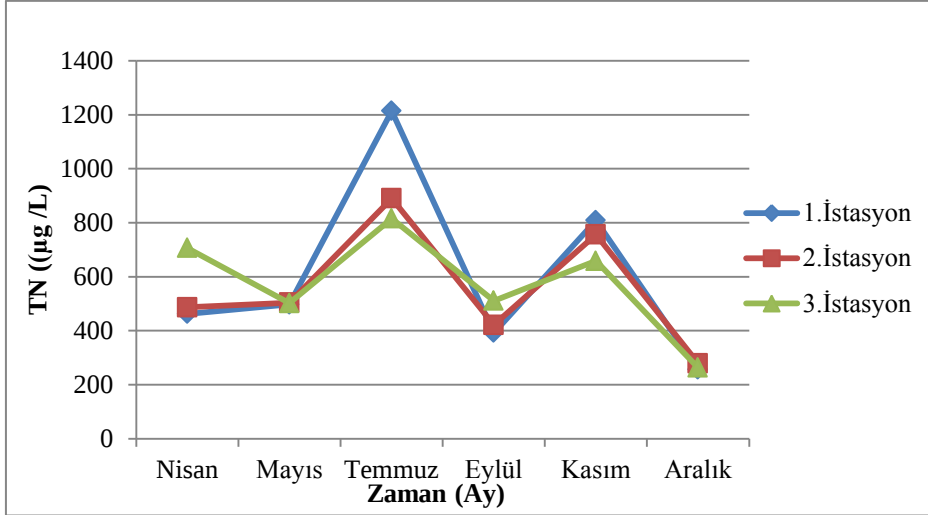
- Kayseri İli 2017 yılı azotlu gübre kullanımı 27.112 ton, fosforlu gübre kullanımı 21.765 tondur [64].
- Sivas İli 2017 ve 2018 yılı toplam azotlu gübre kullanımı 66.657,16 ton fosforlu gübre kullanımı ise 22.879,806 tondur [64].
- Su kütlesi drenaj alanı bazında baraja ulaşan yayıllı TP yükü 1-5(ton/yıl), TN yükü 8-35 arası (ton/yıl) , noktasal TP yükü < 0,5 (ton/yıl), TN yükü < 3 (ton/yıl) dır [34].

4.2.2. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

Çalışma bölgesinde 2017-2018 yılları arasında bir yıl boyunca yapılan örneklemelerin mevsimsel açıdan temsil edici olması göz önünde bulundurularak Nisan, Mayıs, Temmuz Eylül, Kasım ve Aralık ayları olmak üzere toplam altı dönem izlemesi yapılan TN, TP, CHL-A ve SD parametrelerine ait ölçüm sonuçlarının örneklemelerin yapıldığı aylara göre değişimi grafik olarak aşağıda sunulmaktadır.

TN parametresi

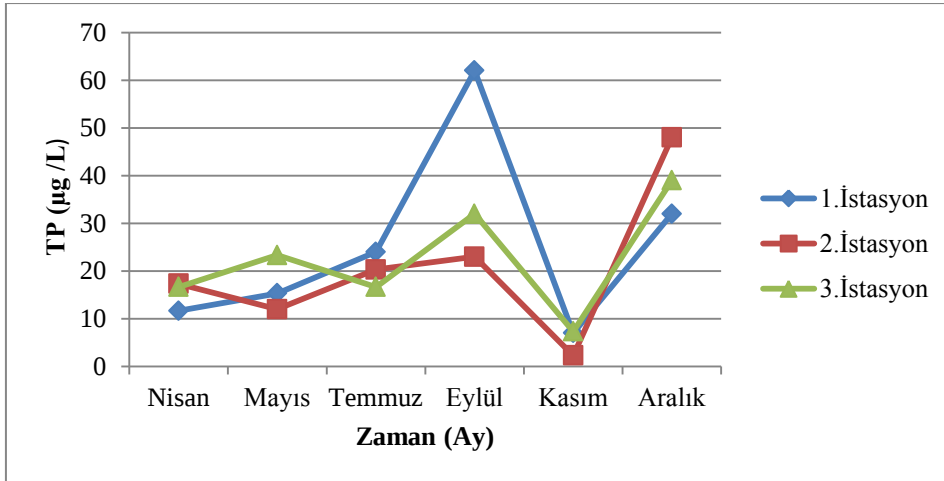
TN parametresinin üç istasyonda en yüksek olduğu ay Temmuz ayı iken en düşük olduğu ay aralık ayıdır. Temmuz ayı en yüksek TN ölçüm değeri 1. İstasyonda 1214,1 mg/L olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.7. TN parametresinin aylara göre değişimi

TP parametresi

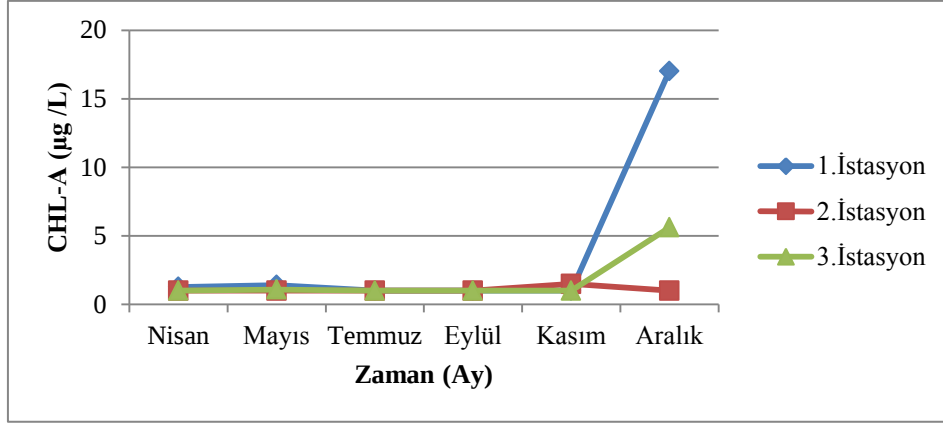
TP parametresi üç istasyonda Kasım ayında en düşük ölçüm değerine sahip iken, Temmuz ayında ölçüm değerleri nispeten düşük ve birbirine yakın olup Nisan, Mayıs ve Eylül aylarında istasyonlar arası ölçüm değerleri birbirinden farklılık göstermektedir.



Şekil 4.8. TP parametresinin aylara göre değişimi

CHL-A parametresi

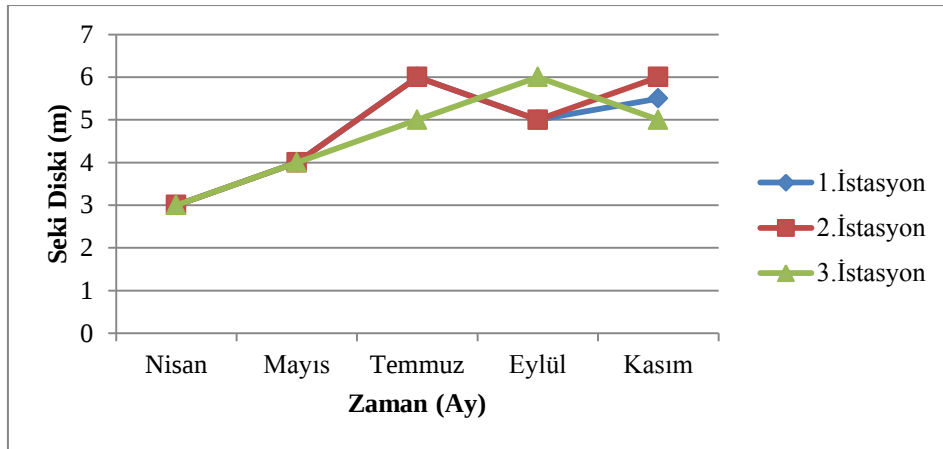
Nisan-Kasım ayları arasında CHL-A ölçüm değerleri düşük ve istasyonların ölçüm sonuçları birbirine yakındır. Kasım ayında 1. İstasyonda CHL-A değeri 17,024 (µg/L) olarak ölçülmüş ve bir önceki ay yapılan ölçüme göre 17 kat artmıştır.



Şekil 4.9. CHL-A parametresinin aylara göre değişimi

SD parametresi

SD parametre ölçüm değerleri tüm istasyonlarda Nisan ayında 3 m, Mayıs ayında ise 4 m olarak ölçülmüştür, Eylül-Kasım ayları yapılan ölçümlerde 5 ila 6 m arasında ölçüm sonuçları değişkenlik göstermektedir.



Şekil 4.10 SD parametresinin aylara göre değişimi

TN, TP, CHL-A parametrelerinde en yüksek ölçüm değerleri 1. istasyonda görülmüştür. Lokasyon olarak 1. istasyon diğer iki istasyona göre baraj gölünün memba tarafında kalmakta iken 2. ve 3. istasyonların bulunduğu mansap bölümünde ise balık yetiştiricilik tesisleri bulunmaktadır. Ölçüm sonuçları istasyonlara göre incelendiğinde; balık yetiştiricilik tesislerinin yoğun faaliyet gösterdiği 3. İstasyonda Aralık ayında TP ve CHL-A parametreleri artarken SD ölçümünün azalması fitonplanktonlara bağlı ışık geçirgenliği azalmasından ziyade noktada askıda katı madde artışı olduğuna işaret etmektedir. 1

numaralı istasyonda Eylül ayında TP en yüksek seviyeye ulaşırken CHL-A değeri ise düşük bir seviyede, SD parametresi ise nispeten yüksektir. Bu durum istasyona ulaşan fosfor yükünün suyun ışık geçirgenliğini partikül maddeler dolayısı ile azaltmadığı ancak Eylül döneminde mevcut fitoplankton popülasyonunun gereksiniminden daha fazla fosfor girdisinin baraj gölüne ulaşması muhtemel olarak değerlendirilmiştir. 2. istasyonda ise Aralık ayında hem CHL-A hem de SD parametresinin düşük seviyede olmasına rağmen aynı ay içerisinde en yüksek TP düzeyinin görülme nedeninin diğer kirleticilerle birlikte örnekleme noktası etrafında yer alan balık yetiştiriciliği tesisleri kaynaklı olarak değerlendirilmektedir.

4.2.3. Trofik durum değerlendirmesi

Carlson Trofik Durum İndeksine (1977) göre TP, CHL-A ve SD parametrelerinin trofik durumu aylık olarak hesaplanmış, parametre bazlı hesaplanan aylık trofik durum indeks değerlerinin ortalaması alınarak nihai trofik durum belirlenmiştir. Trofik durum değerlendirmesi Çizelge 4.3’de verilmektedir.

Çizelge 4.3. Trofik durum indeks değerlendirmesi

1.İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Aralık	Ortalama	Trofik Durum
TSI(TP)	39	43	49	63	32	54	47	Mezotrofik
TSI(CHL-A)	32	33	30	30	30	35	32	Oligotrofik
TSI(SD)	44	40	39	36	35	-	39	Oligotrofik
2.İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Aralık	Ortalama	Trofik Durum
TSI(TP)	45	39	47	49	16	59	42	Mezotrofik
TSI(CHL-A)	30	30	30	30	34	30	31	Oligotrofik
TSI(SD)	44	40	39	36	39	-	40	Mezotrofik
3.İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Aralık	Ortalama	Trofik Durum
TSI(TP)	44	49	44	54	32	56	47	Mezotrofik
TSI(CHL-A)	30	40	30	30	30	21	24	Oligotrofik
TSI(SD)	44	40	36	39	36	-	39	Oligotrofik

CTSI’ye göre TSI(TP) değeri 1.istasyonda Nisan ve Kasım aylarında oligotrofik, diğer aylarda ise mezotrofik durumdadır. 2. İstasyonda TSI(TP) değeri Mayıs ve Kasım oligotrofik, Nisan, Temmuz ve Eylül aylarında mezotrofik, Aralık ayında ötrofik

durumdur. Nisan-Temmuz ayları arasında 3. İstasyon mezotrofik, Kasım ayında oligotrofik ve Aralık ayında ise ötrofik durumdadır. TSI(CHL-A) değeri tüm istasyonlarda 6 dönem de oligotrofik durumdadır. TSI (SD) değeri üç istasyonda Nisan ve Mayıs aylarında mezotrofik iken diğer aylarda oligotrofikdir. TSI(CHL-A) değerinin TSI(SD) değerinden düşük olması suyun berraklığının fitoplankton kaynaklı olarak değişmediğini göstermektedir. Parametrelerin indeks ortalamasına göre üç izleme istasyon için sıralaması ise $TSI(TP) > TSI(SD) > TSI(CHL-A)$ şeklindedir.

Sıralamanın bu şekilde olması sınırlayıcı besin elementinin TP dışında olabileceğini gösterse de TSI(CHL-A) değerinin düşük olması fitoplankton gelişiminin baraj gölünde sınırlı olduğu, ulaşan muhtemel partiküllerin TSI(TP) ve TSI(SD) değerlerini etkilediğine işaret etmektedir. Balık yetiştiriciliğinin yapıldığı 1 ve 2 nolu istasyonlarda TSI(TP) mezotrofiktir.

Çizelge 4.4. TN:TP oranları

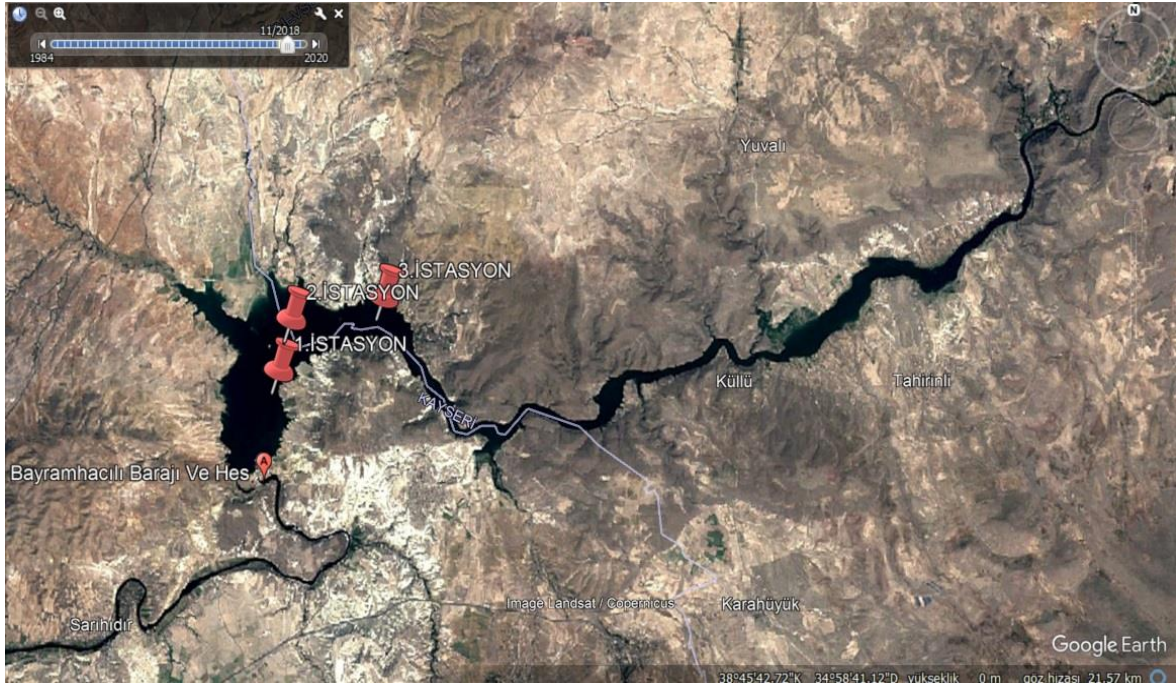
Ay	İstasyon	TN:TP	Sınırlayıcı Besin Element
Nisan	1.	39	Fosfor
	2.	28	Fosfor
	3.	42	Fosfor
Mayıs	1.	32	Fosfor
	2.	42	Fosfor
	3.	21	Fosfor
Temmuz	1.	60	Fosfor
	2.	44	Fosfor
	3.	49	Fosfor
Eylül	1.	6	Azot
	2.	18	Fosfor
	3.	16	Azot-Fosfor
Kasım	1.	115	Fosfor
	2.	324	Fosfor
	3.	90	Fosfor
Aralık	1.	8	Azot
	2.	5	Azot
	3.	6	Azot

Bayramhacılı Baraj Gölünde Eylül ve Aralık ayları hariç sınırlayıcı besin elementi fosfordur.

4.3. Bayramhacılı Baraj Gölünün Trofik Durum Değerlendirmesi

Bayramhacılı Baraj Gölü'nden Nisan-Aralık 2017 tarihleri arasında ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış dönemlerinde üç istasyondan yüzey, orta ve dipten numunesi alınmıştır [56].

Bayramhacılı Baraj Gölü çalışma alanında numune alma istasyonlarının konumları ve balık yetiştiriciliği tesisleri Şekil 4.11'de gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Bayramhacılı Barajı uydu görüntüsü üzerinde örnek alma istasyonları

4.3.1. Baskı ve etkiler

Baraj Gölünde kirliliğe neden olan kirletici unsurlar aşağıda verilmektedir.

Noktasal baskılar

- Su kütlesi drenaj alanı bazında baraja ulaşan noktasal TP yükü <0,5 ton/yıl, TN yükü < 3 ton/yıl arasındır [34].
- 528 ton/yıl kapasiteli iki balık yetiştiriciliği tesisi bulunmaktadır [60].

Yayılı baskılar

- Su kütlesi drenaj alanı bazında baraja ulaşan yayılı TP yükü 1-5 ton/yıl, TN yükü 8-35 ton/yıl arasındır [34].
- Nevşehir İlinde 2018 yılında bitki besin maddesi olarak (azot, fosfor ve potasyum) 142.309,8 ton gübre kullanılmıştır. Kayseri İlinde ise bu miktar 50.107 tondur [62, 63].

Baraj gölü bahse konu olduğu üzere Kayseri İlinde bulunan Yamula Baraj Gölü'nün mansabında bulunmakta olup söz konusu veriler değerlendirildiğinde en önemli baskı unsuru gübredir.

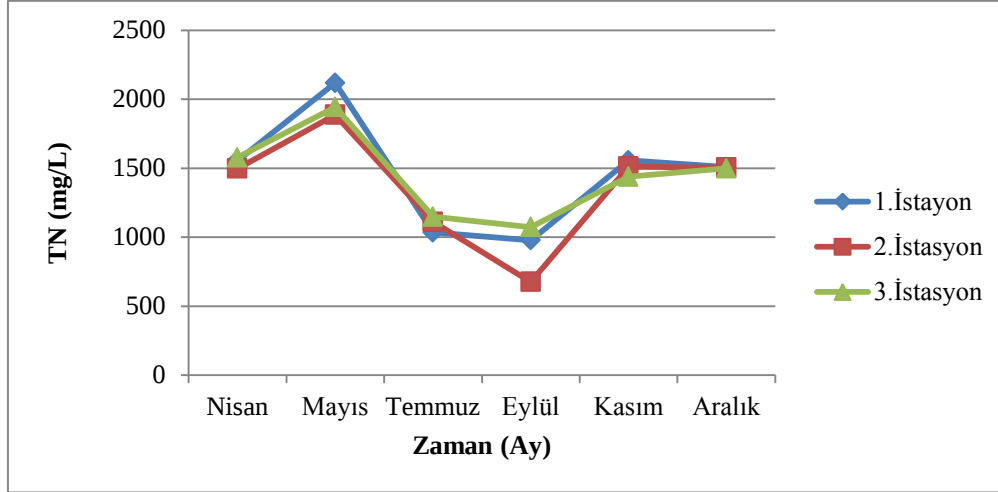
Haziran 2019 yılında baraj gölünde balık ölümleri görülmüştür [64]. Yaygın olarak Tilapia yetiştiriciliği yapılan Filipinler'de bulunan Taal Gölünde 1996 ve 2006 yılları arasında Bayramhacılı Baraj gölünde olduğu üzere balık ölümleri görülmüştür. Azot parametresi tarafından sınırlanan gölde yetiştiricilik faaliyetleri, evsel atıklar ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklı baskı unsurlarıdır [31].

4.3.2. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

Bayramhacılı Baraj Gölünde Nisan 2017-Aralık 2017 tarihleri arasında bir yıl boyunca yapılan örneklemelerin mevsimsel açıdan temsil edici olması göz önünde bulundurularak Nisan, Mayıs, Temmuz Eylül, Kasım ve Aralık ayları olmak üzere toplam altı dönem izlemesi yapılan TN, TP, CHL-A ve SD parametrelerine ait ölçüm sonuçlarının örneklemelerin yapıldığı aylara göre değişimi grafik olarak aşağıda sunulmaktadır.

TN parametresi

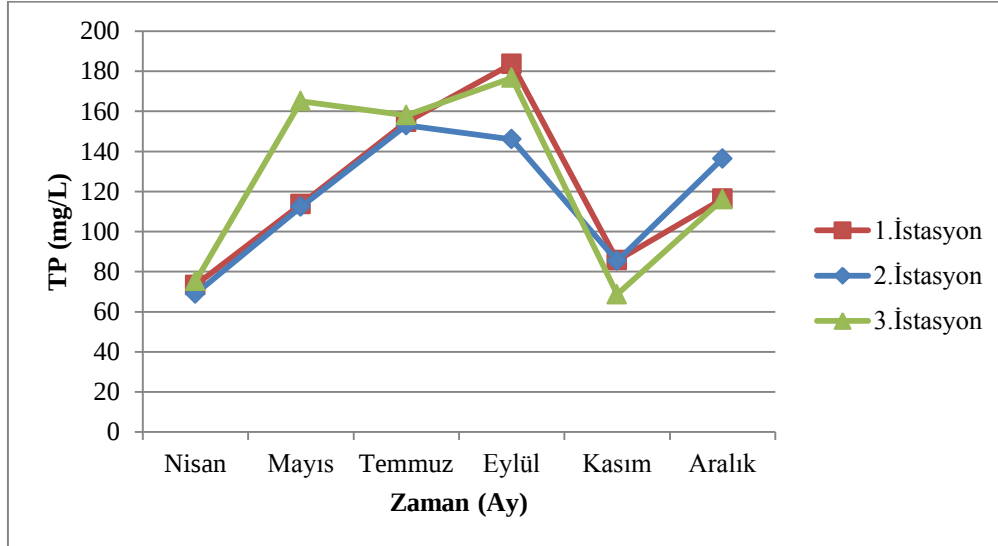
Bayramhacılı Baraj Gölü'nde örnekleme yapılan üç istasyona ait ölçüm sonuçları birbirlerine yakın olmakla beraber en düşük ölçüm değerleri Eylül ayında, en yüksek ölçüm değerleri Mayıs ayında görülmüştür.



Şekil 4.12. TN parametresinin aylara göre değişimi

TP parametresi

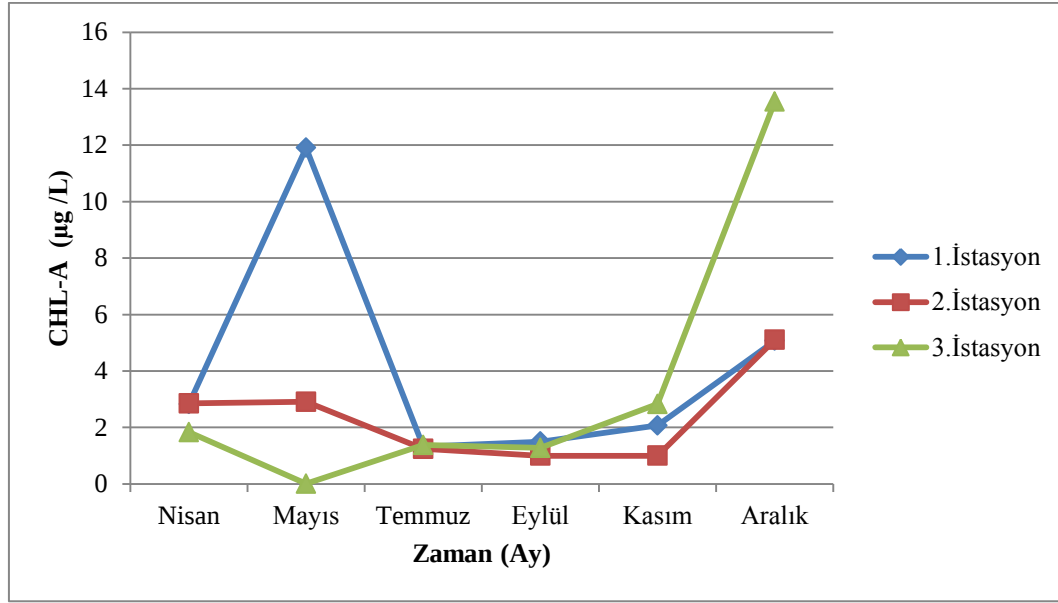
TP parametresi bakımından 2. İstasyona ait ölçüm değerleri 1 nolu ve 3 nolu istasyonlara kıyasla daha düşük ölçülmüştür. En yüksek ölçüm sonuçları Eylül ayında görülmüştür.



Şekil 4.13. TP parametresinin aylara göre değişimi

CHL-A parametresi

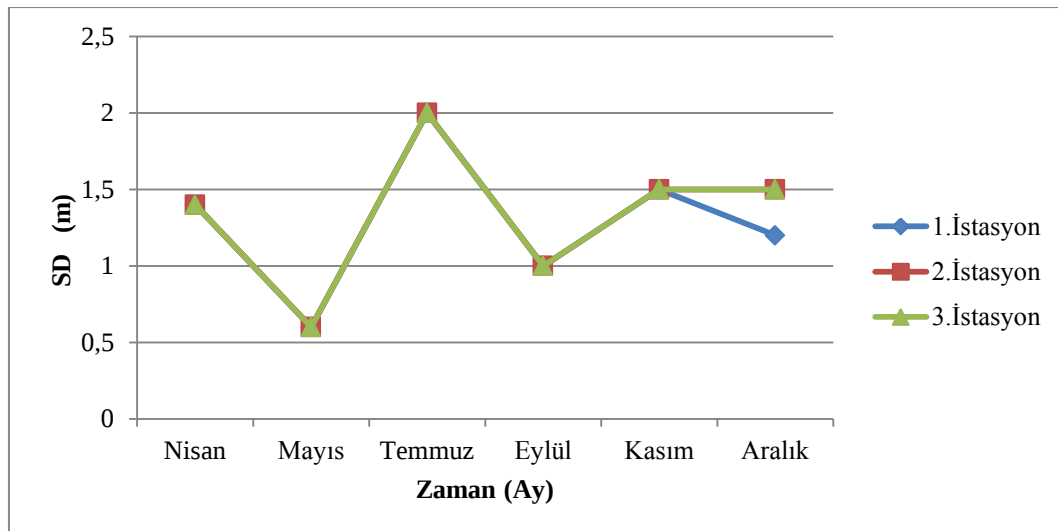
Klorofil a parametresi ölçüm değerleri Mayıs ayında 2 ve 3 nolu istasyonlarda gerilerken 1 nolu istasyonda, Aralık ayında ise 3. Nolu istasyonda en yüksek ölçüm değeri tespit edilmiştir.



Şekil 4.14. CHL-A parametresinin aylara göre değişimi

SD parametresi

Mayıs ayı baraj gölünde en düşük seki değerinin başka bir deyişle en az berraklığın olduğu ay olarak görülmektedir. Her üç istasyonda da seki diski ölçüm değerleri birbirleri ile doğru orantılıdır.



Şekil 4.15. SD parametresinin aylara göre değişimi

4.3.3. Trofik durum değerlendirmesi

Bayramhacılı Baraj Gölünde Carlson Trofik Durum İndeksine (1977) göre TP, CHL-A ve SD parametrelerinin trofik durumu aylık olarak hesaplanmış, parametre bazlı hesaplanan aylık trofik durum indeks değerlerinin ortalaması alınarak nihai trofik durum belirlenmiştir. Trofik durum değerlendirmesi Çizelge 4.5’de verilmektedir.

Bayramhacılı Baraj Gölü TSI(TP) bakımından ağırlıklı olarak hipertrofik, TSI(CHL-A) parametresi bakımından ağırlıklı olarak oligotrofik, TSI(SD) bakımından ise ağırlıklı olarak mezotrofik trofik duruma sahiptir. Parametrelerin indeks ortalamasına göre parametrelerin üç istasyon için sıralaması; $TSI(TP) > TSI(SD) > TSI(CHL-A)$ şeklindedir.

Sıralamanın bu şekilde olması sınırlayıcı besin elementinin TP dışında olabileceğini, TSI(CHL-A) değerinin düşük olması fitoplankton gelişiminin baraj gölünde sınırlı olduğu, ulaşan muhtemel partiküllerin TSI(TP) ve TSI(SD) değerlerini etkilediğini göstermektedir.

Çizelge 4.5. Trofik durum indeks değerlendirmesi

1.İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Aralık	Ortalama	Trofik Durum
TSI(TP)	66	72	76	79	68	72	72	Hipertrofik
TSI(CHL-A)	40,8	54	33	34	37	46	41	Mezotrofik
TSI(SD)	55	52	50	60	54	57	54	Ötrofik
2.İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Aralık	Ortalama	TSI
TSI(TP)	65	72	76	76	68	75	72	Hipertrofik
TSI(CHL-A)	40	41	32	30	30	46	37	Oligotrofik
TSI(SD)	55	52	50	60	54	54	54	Mezotrofik
3.İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Aralık	Ortalama	TSI
TSI(TP)	66	77	77	78	65	72	72	Hipertrofik
TSI(CHL-A-A)	36	-	33	32	40	29	34	Oligotrofik
TSI(SD)	55	52	50	60	54	54	54	Mezotrofik

Bayramhacılı Barajı TN:TP oranları Çizelge 4.6’da verilmektedir.

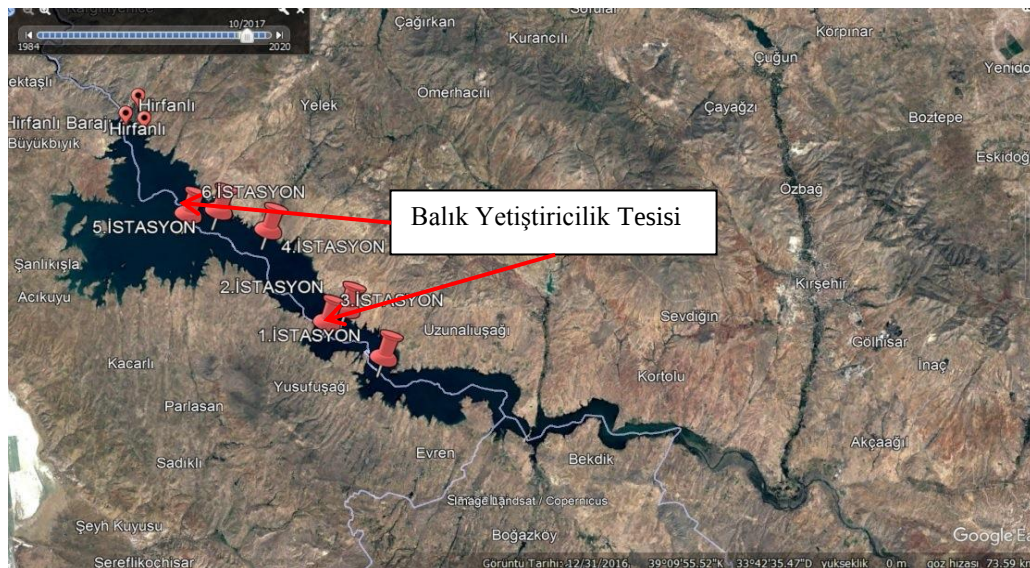
Çizelge 4.6. TN: TP oranları

Ay	İstasyon	TN:TP	Sınırlayıcı Besin Element
Nisan	1.	21	Fosfor
	2.	22	Fosfor
	3.	10	Azot
Mayıs	1.	19	Fosfor
	2.	16	Azot Fosfor
	3.	12	Azot
Temmuz	1.	7	Azot
	2.	7	Azot
	3.	6	Azot
Eylül	1.	5	Azot
	2.	5	Azot
	3.	16	Azot Fosfor
Kasım	1.	18	Fosfor
	2.	18	Fosfor
	3.	12	Azot
Aralık	1.	13	Azot
	2.	11	Azot
	3.	12	Azot

Bayramhacılı Baraj Gölünde Nisan, Mayıs ve Kasım Aylarında ağırlıklı olarak fosfor, diğer aylarda ise azot besin elementi sınırlayıcıdır.

4.4. Hirfanlı Baraj Gölünün Trofik Durum Değerlendirmesi

Hirfanlı Baraj Gölü'nden Nisan-Aralık 2017 tarihleri arasında ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış dönemlerinde 6 istasyondan yüzey, orta ve dipten numunesi alınmıştır [56]. Baraj Gölü çalışma alanında numune alma istasyonlarının konumları Şekil 4.16'da gösterilmektedir.



Şekil 4.16. Hirfanlı Barajı uydu görüntüsü üzerinde örnek alma istasyonları

4.4.1. Baskı ve etkiler

Hirfanlı Baraj Gölünde kirliliğe neden olan potansiyel kirletici unsurlar aşağıda verilmektedir.

Noktasal baskılar

- Su kütlesi drenaj alanı bazında baraja ulaşan noktasal TP yükü 3,5-12 ton/yıl, TN yükü 20-75 ton/yıl arasındır, baraj gölüne kentsel doğrudan deşarj yapılmaktadır [34].
- Baraj çevresinde tarımsal faaliyetler sürdürülmektedir [52].
- Hirfanlı Baraj Gölünde beş adet 499 ton/yıl alabalık yetiştiriciliği tesisi bulunmaktadır [60].

Yayılı baskılar

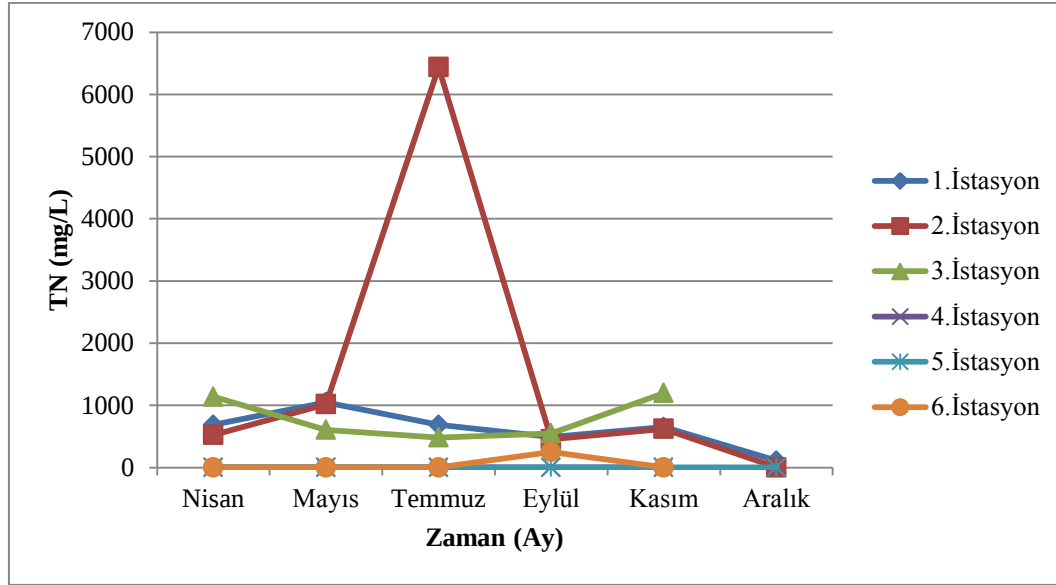
- Su kütlesi drenaj alanı bazında baraja ulaşan yayılı TP yükü 5-15 ton/yıl, TN yükü 35-110 ton/yıl arasındır [34].

4.4.2. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

Hirfanlı Baraj Gölünde Nisan 2017-Aralık 2017 yılları arasında bir yıl boyunca yapılan örneklemelerin mevsimsel açıdan temsil edici olması göz önünde bulundurularak Nisan, Mayıs, Temmuz Eylül, Kasım ve Aralık ayları olmak üzere toplam altı dönem izlemesi yapılan TN, TP, CHL-A ve SD parametrelerine ait ölçüm sonuçlarının örneklemelerin yapıldığı aylara göre değişimi grafik olarak aşağıda sunulmaktadır.

TN parametresi

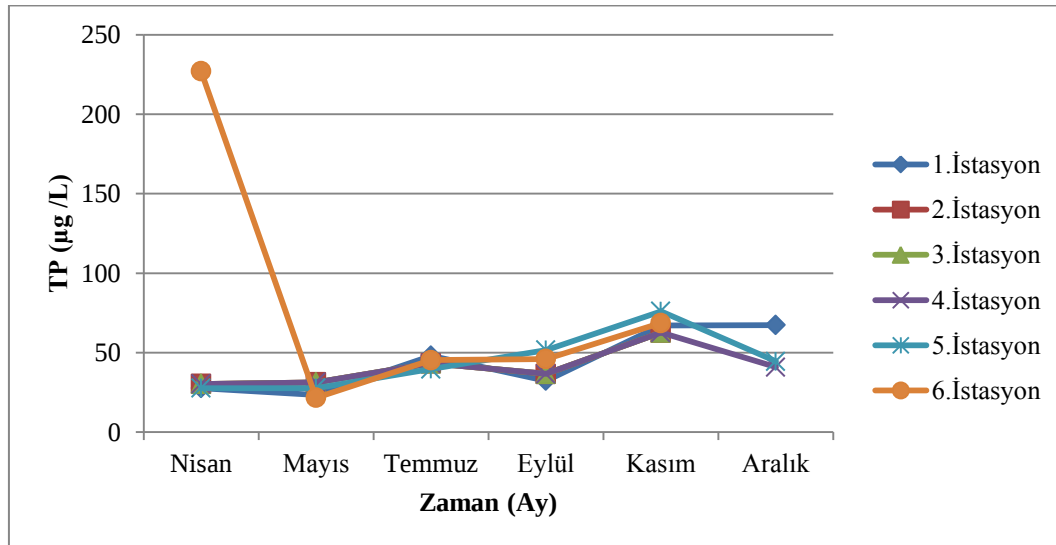
TN ölçüm değerleri örnekleme noktalarında ağırlıklı olarak Aralık ayında yükselmiştir.



Şekil 4.17. TN parametresinin aylara göre değişimi

TP parametresi

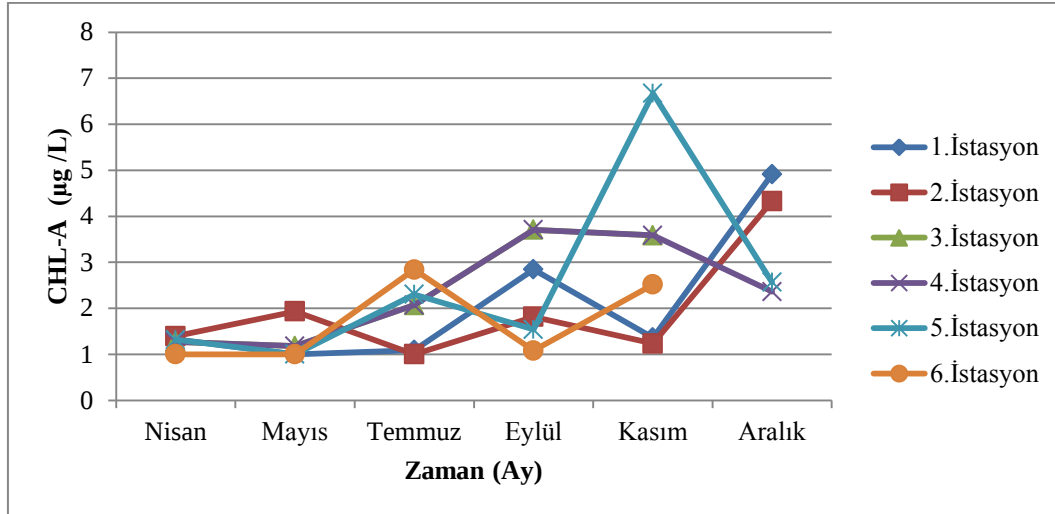
TP parametresi 1.istayonda diğer örnekleme noktalarında ise Aralık ayında yükselmiştir.



Şekil 4.18. TP parametresinin aylara göre değişimi

CHL-A parametresi

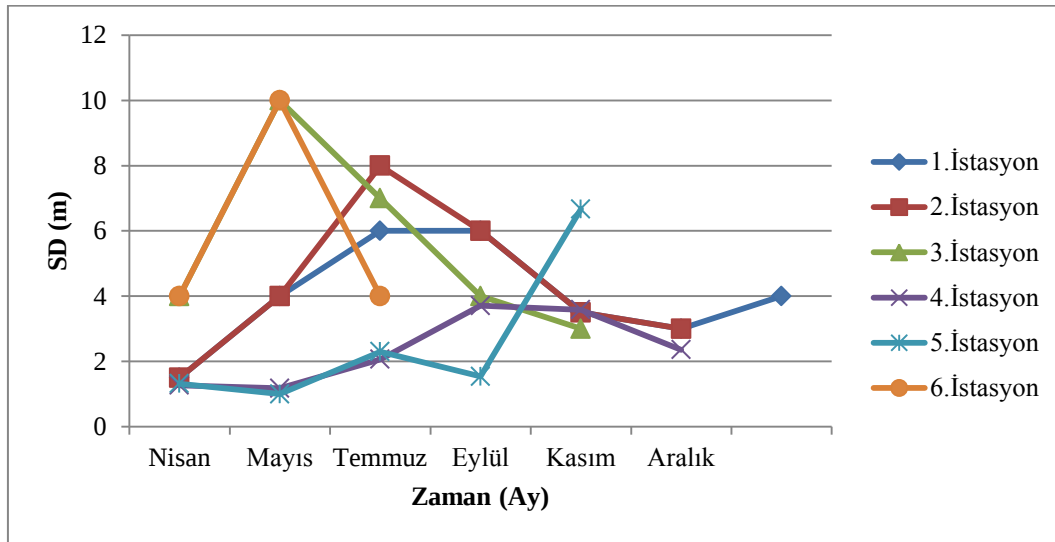
Örnekleme istasyonlarında CHL-A parametresi Eylül, Kasım ve Aralık aylarında yüksek değerler görülmüştür.



Şekil 4.19. CHL-A parametresinin aylara göre değişimi

SD parametresi

Örnekleme istasyonlarından 2 nolu istasyonda Nisan ayında en düşük SD değeri, diğer istasyonlarda ise ağırlıklı olarak Aralık ayında en düşük SD ölçüm değerleri görülmüştür.



Şekil 4.20. SD parametresinin aylara göre değişimi

4.4.3. Trofik Durum Değerlendirmesi

Hırfanlı Baraj Gölünde Carlson Trofik Durum İndeksine (1977) göre TP, CHL-A ve SD parametrelerinin trofik durumu aylara göre hesaplanmış, parametre bazlı hesaplanan aylık trofik durum indeks değerlerinin ortalaması alınarak nihai trofik durum belirlenmiştir.

Hirfanlı Baraj Gölü TSI(TP) bakımından ağırlıklı olarak ötrofik, TSI(CHL-A) parametresi bakımından ağırlıklı olarak oligotrofik, TSI(SD) bakımından ise ağırlıklı olarak mezotrofik trofik duruma sahiptir. Parametrelerin indeks ortalamasına göre üç istasyon için sıralaması;

TSI(TP) > TSI(SD) > TSI(CHL-A) şeklindedir.

Sıralamanın bu şekilde olması sınırlayıcı besin elementinin TP dışında olabileceğini, TSI(CHL-A) değerinin düşük olması fitoplankton gelişiminin baraj gölünde sınırlı olduğu, ulaşan muhtemel partikül maddelerin TSI(TP) ve TSI(SD) değerlerini etkilediğine işaret etmektedir.

Hirfanlı Baraj Gölü trofik durum değerlendirmesi Çizelge 4.7’de, TN:TP oranları ise Çizelge 4.8’de verilmektedir.

Çizelge 4.7. Trofik durum değerlendirmesi

1.İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Aralık	Ortalama	Trofik Durum
TSI(TP)	51	64	62	60	68	55	60	Ötrofik
TSI(CHL-A)	33	31	31	41	34	46	36	Oligotrofik
TSI(SD)	54	40	34	34	42	44	41	Mezotrofik
2.İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Aralık	Ortalama	Trofik Durum
TSI(TP)	52	50	60	54	65	65	57	Ötrofik
TSI(CHL-A)	34	37	31	36	33	45	36	Oligotrofik
TSI(SD)	54	40	30	34	42	44	40	Mezotrofik
3.İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Aralık	Ortalama	Trofik Durum
TSI(TP)	-	53	54	58	56	64	57	Ötrofik
TSI(CHL-A)	-	33	32	38	43	43	37	Oligotrofik
TSI(SD)	-	40	27	32	40	44	36	Oligotrofik
4.İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Aralık	Ortalama	Trofik Durum
TSI(TP)	-	45	54	58	56	64	55	Ötrofik
TSI(CHL-A)	-	33	32	38	43	43	37	Oligotrofik
TSI(SD)	-	40	27	32	40	44	36	Oligotrofik
5.İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Aralık	Ortalama	Trofik Durum
TSI(TP)	-	52	52	57	49	67	55	Ötrofik
TSI(CHL-A)	-	33	31	39	35	49	37	Oligotrofik
TSI(SD)	-	40	27	32	42	44	37	Oligotrofik
6.İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Aralık	Ortalama	Trofik Durum
TSI(TP)	-	78	47	56	56	62	59	Ötrofik
TSI(CHL-A)	-	31	31	34	34	34	32	Oligotrofik
TSI(SD)	-	40	27	32	-	44	35	Oligotrofik

Hirfanlı Baraj Gölünde ağırlıklı olarak sınırlayıcı besin elementi azottur. Bahse konu olduğu üzere azot besin elementinin sınırlayıcı olması su kaynağına yüksek konsantrasyonlarda fosfor girdisine işaret etmektedir.

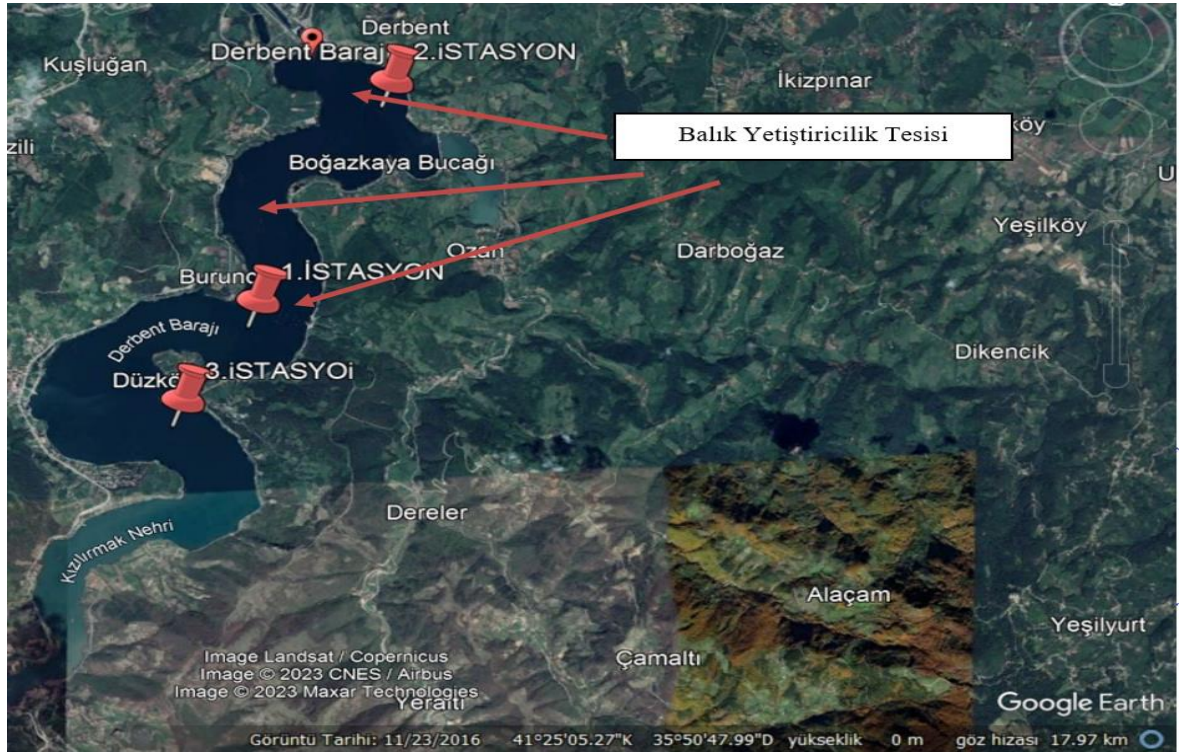
Bu kapsamda Hirfanlı Baraj Gölünde hem azot hem de fosfor girdisinin kontrolüne yönelik önlemlerin belirlenmesi ve uygulanmaya başlanması gerekmektedir. Alınacak önlemlerin uygulanması ile ötrofik olarak tespit edilen TP parametresinin su kalitesi ve sucul yaşama olan muhtemel olumsuz etkilerinin önüne geçilebilecektir.

Çizelge 4.8. TN:TP oranları

Ay	İstasyon	TN:TP	Sınırlayıcı Besin Elementi
Nisan	1.	26	Fosfor
	2.	19	Fosfor
	3.	-	-
	4.	-	-
	5.	-	-
	6.	-	-
Mayıs	1.	16	Azot Fosfor
	2.	44	Fosfor
	3.	36	Fosfor
	4.	3	Azot
	5.	3	Azot
	6.	3	Azot
Temmuz	1.	12	Azot
	2.	135	Fosfor
	3.	11	Fosfor
	4.	2	Azot
	5.	2	Azot
	6.	2	Azot
Eylül	1.	11	Azot
	2.	14	Azot
	3.	15	Azot
	4.	1	Azot
	5.	1	Azot
	6.	1	Azot
Kasım	1.	8	Azot
	2.	9	Azot
	3.	15	Azot
	4.	1	Azot
	5.	1	Azot
	6.	5	Azot
Aralık	1.	3	Azot
	2.	9	Azot
	3.	20	Fosfor
	4.	1	Azot
	5.	1	Azot
	6.	1	Azot

4.5. Derbent Baraj Gölünün Trofik Durum Değerlendirmesi

Derbent Baraj Gölü'nden Nisan 2017-Ocak 2018 tarihleri arasında ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış dönemlerinde 3 istasyondan yüzey, orta ve dipten numunesi alınmıştır [56]. Baraj Gölü çalışma alanında numune alma istasyonlarının konumları Şekil 4.21.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.21. Derbent Barajı uydu görüntüsü üzerinde örnek alma istasyonları

4.5.1 Baskı ve etkiler

Baraj Gölünde kirliliğe neden olan muhtemel kirletici unsurlar aşağıda verilmektedir.

Noktasal baskılar

- Su kütlesi drenaj alanı bazında baraja ulaşan noktasal TN yükü < 3 ton/yıl, TP yükü < 0,5 ton/yıl arasındır [34].

Yayılı baskılar

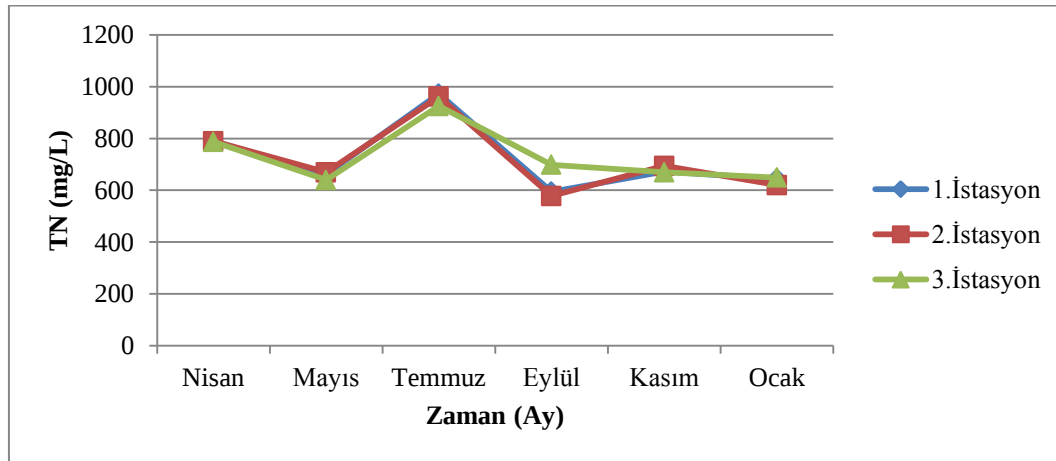
- Derbent Baraj Gölünde 13 kadar ağ kafeslerde alabalık yetiştiricilik tesisi bulunmaktadır. Su kütlesi drenaj alanı bazında baraja ulaşan yayılı TN yükü 110-350 ton/yıl, TP yükü 15-40 ton/yıl arasındadır [34].

4.5.2. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

Derbent Baraj Gölünde Nisan 2017-Ocak 2018 tarihleri arasında bir yıl boyunca yapılan örneklemelerin mevsimsel açıdan temsil edici olması göz önünde bulundurularak Nisan, Mayıs, Temmuz Eylül, Kasım ve Aralık ayları olmak üzere toplam altı dönem izlemesi yapılan TN, TP, CHL-A ve SD parametrelerine ait ölçüm sonuçlarının örneklemelerin yapıldığı aylara göre değişimi grafik olarak aşağıda sunulmaktadır.

TN parametresi

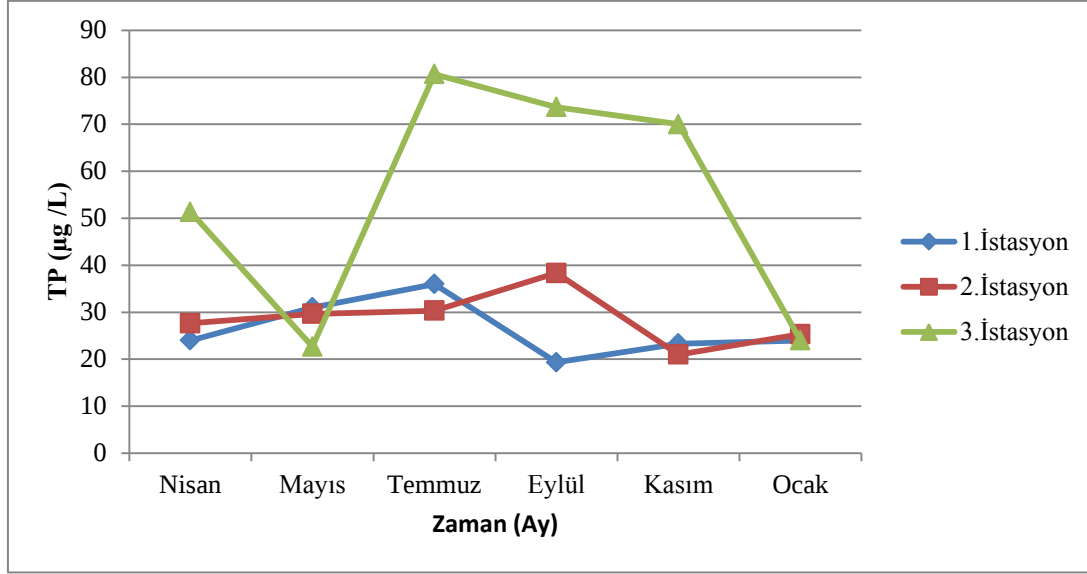
Temmuz ayında TN parametresi için en yüksek ölçüm değerleri görülmüştür.



Şekil 4.22. TN parametresinin aylara göre değişimi

TP parametresi

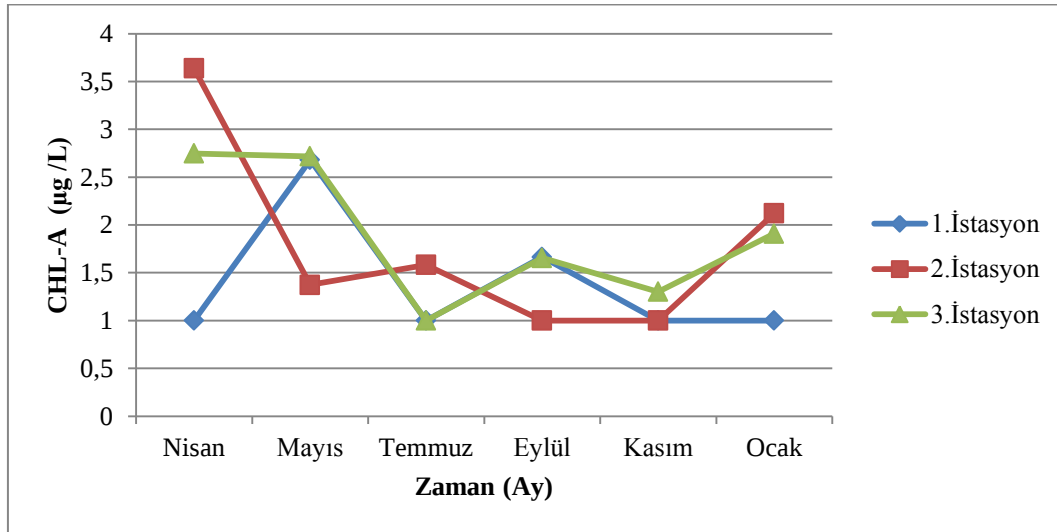
TP parametresi için üç örneklem istasyonu için farklı aylarda pik değerleri görülmüş, 1 nolu istasyonda Ocak ayı, 2 nolu istasyonda Eylül ayı 3.istasyonda ise Temmuz ayında en yüksek ölçüm sonuçları tespit edilmiştir.



Şekil 4.23. TP parametresinin aylara göre değişimi

CHL-A parametresi

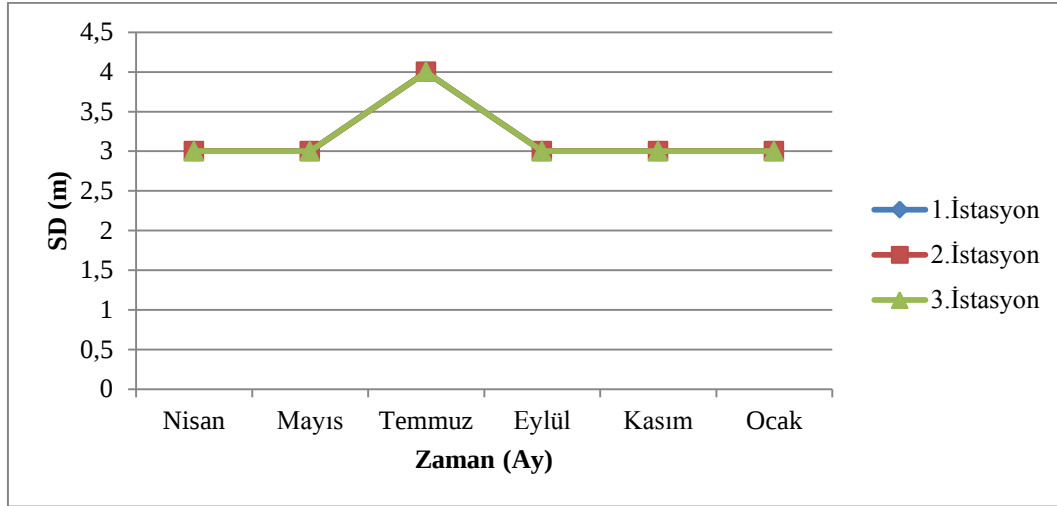
İlkbahar mevsiminde en yüksek CHL-A değerleri görülmüştür.



Şekil 4.24. CHL-A parametresinin aylara göre değişimi

SD parametresi

Örnekleme yapılan üç istasyonda aynı ölçüm değerleri elde edilmiş, baraj gölünde seki diski görünürlüğünün en az olduğu ay Temmuz ayı olmuştur.



Şekil 4.25. SD parametresinin aylara göre değişimi

4.5.3. Trofik durum değerlendirmesi

Derbent Baraj Gölünde Carlson Trofik Durum İndeksine (1977) göre TP, CHL-A ve SD parametrelerinin trofik durumu aylık olarak hesaplanmış, parametre bazlı hesaplanan aylık trofik durum indeks değerlerinin ortalaması alınarak nihai trofik durum belirlenmiştir. Yapılan trofik durum değerlendirmesi Çizelge 4.9’da verilmektedir.

Çizelge 4.9. Trofik durum değerlendirmesi

1. İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Ocak	Ortalama	Trofik Durum
TSI(TP)	50	54	56	47	50	50	51	Ötrofik
TSI(CHL-A)	31	40	31	36	31	31	33	Oligotrofik
TSI(SD)	44	44	40	44	44	44	43	Mezotrofik
2. İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Ocak	Ortalama	TSI
TSI(TP)	52	53	53	57	48	51	52	Ötrofik
TSI(CHL-A)	43	34	35	31	31	38	35	Oligotrofik
TSI(SD)	44	44	40	44	44	44	43	Mezotrofik
3. İstasyon								
TSI	Nisan	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım	Ocak	Ortalama	TSI
TSI(TP)	61	49	67	66	65	50	59	Ötrofik
TSI(CHL-A)	41	40	31	36	33	37	36	Oligotrofik
TSI(SD)	44	44	40	44	44	44	43	Mezotrofik

Derbent Gölü TSI(TP) bakımından ağırlıklı olarak ötrofik, TSI(CHL-A) parametresi bakımından ağırlıklı olarak oligotrofik, TSI(SD) bakımından ise ağırlıklı olarak mezotrofik karakterdedir. Parametrelerin indeks ortalamasına göre parametrelerin üç istasyon için sıralaması; TSI(TP) >TSI(SD) >TSI(CHL-A) şeklindedir.

Sıralamanın bu şekilde olması sınırlayıcı besin elementinin TP dışında olabileceğini, TSI(CHL-A) değerinin düşük olması fitoplankton gelişiminin baraj gölünde sınırlı olduğu, baraj gölüne ulaşan muhtemel partiküllerin TSI(TP) ve TSI(SD) değerlerini etkilediğine işaret etmektedir. Diğer taraftan yoğun balık yetiştiriciliği yapılan baraj gölünde TSI(TP) parametresi ötrofiktir.

Çizelge 4.10. TN:TP oranları

Ay	İstasyon	TN: TP	Sınırlayıcı Besin Element
Nisan	1.	32	Fosfor
	2.	28	Fosfor
	3.	15	Azot
Mayıs	1.	31	Fosfor
	2.	23	Fosfor
	3.	28	Fosfor
Temmuz	1.	27	Fosfor
	2.	32	Fosfor
	3.	11	Fosfor
Eylül	1.	31	Fosfor
	2.	15	Azot
	3.	9	Azot
Kasım	1.	29	Fosfor
	2.	33	Fosfor
	3.	10	Azot
Ocak	1.	27	Fosfor
	2.	24	Fosfor
	3.	27	Fosfor

Derbent Baraj Gölünde ağırlıklı olarak fosfor besin elementi sınırlayıcıdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile Kızılırmak Nehri üzerinde kurulmuş, ağ kafeslerde balık yetiştiriciliği yapılan İmranlı, Yamula, Bayramhacılı, Hirfanlı ve Derbent Baraj Göllerinde Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından mevsimsel olarak 2017-2018 yılları arasında izleme çalışması yapılmış trofik durum gösterge parametrelerine ait ölçüm sonuçları kullanılarak, bahse konu baraj göllerinin trofik durumunu ortaya koymak amaçlanmıştır.

Söz konusu baraj göllerinin trofik durumu klorofil-a toplam fosfor ve seki diski derinliği parametre ölçüm sonuçlarının değerlendirildiği Carlson Trofik Durum İndeksi (1977)'ne göre belirlenmiştir. Diğer taraftan, Carlson Trofik Durum İndeksi (1977) yer almayan toplam azot parametresinin ölçüm yapılan aylara göre değişimi klorofil-a, toplam fosfor ve seki diski derinliği parametreleri ile birlikte değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışmada Carlson Trofik Durum İndeksine göre Yamula Baraj Gölü oligotrofik olarak İmranlı, Hirfanlı ve Derbent Baraj Göllerinin trofik durumu mezotrofik olarak sınıflandırılmıştır. İmranlı, Hirfanlı ve Derbent Baraj Göllerinin trofik durumunun mezotrofik olarak kategorize edilmesinde bilhassa TSI(TP) ve TSI(SD) değerlerinin etkili olduğu görülmüştür. Bayramhacılı Baraj Gölünün ötrofik olarak belirlenmesinde TSI(TP) ve TSI(SD) değerlerinin etkili olduğu görülmektedir.

Carlson Trofik Durum İndeksi parametreleri arasındaki ilişki incelendiğinde en yüksek değere TSI(TP), daha düşük değer TSI(SD) ve en düşük değer klorofil indeksinde TSI(CHL-A) görülmüştür. İndikatör parametreler arasındaki bu ilişki suyun bulanıklaşarak berraklığının azalmasında partikül maddelerin yoğun olmasına ve durgun suyunun yapı bakımından yüksek kil ihtiva etmesine işaret etmektedir. Seki diski derinliği ölçüm değerinin düşük değere sahip olması başka bir deyişle çalışma bölgesinde yer alan baraj göllerinde berraklığının az olması genel olarak mezotrofik ve ötrofik olarak tespit edilen toplam fosforun alg popülasyonları tarafından kullanılmasını engellemektedir. Buna bağlı olarak Bayramhacılı Baraj Gölünde görülen ötrofik koşulların alg etkisinde olmadığından bahsetmek mümkündür.

Bu çerçevede, baraj göllerinde yaşanan bu durum diğer kirletici baskı unsurları ile birlikte durgun sularda yaygın olarak yapılan balık yetiştiriciliğinin kısa ya da uzun vadede ortaya

ıkan etkilerinden birisi olan azot ve fosfor besin elementlerince zenginleşmesi ve sucul ortamda askıda katı madde miktarını arttırarak ışık geçirgenliğini azaltması faktörü ile ilişkilidir.

Çalışma yapılan baraj göllerinden Yamula Baraj Gölünde balık yetiştiriciliği yapılan 2 ve 3 numaralı istasyonlardan örnek alınmış, ölçüm sonuçları CTSI'ya göre değerlendirildiğinde ise TSI(TP) açısından bu istasyonlar mezotrofik koşullar altında olduğu görülmüştür. Öte taraftan alabalık yetiştiriciliğinin yoğun yapıldığı Derbent Baraj Gölünde örnek alınan üç istasyon balık yetiştiriciliği baskısı altında olup TSI(TP) değerlendirmesi ötrofiktir. Bu iki baraj gölünün trofik durumu kıyaslandığında yetiştiricilik tesisi ile doğrudan ötrofik koşullar arasında bağlantı olduğuna dair kanıt bulunmamaktadır. Ancak, kısıtlı sayıda baraj gölü verisi ile baraj gölünün özellikleri ve göle ait iç ve dış faktörler hakkında yeterli veri seri seti olmadan değerlendirme yapmak doğru bir değerlendirme olmayacaktır.

Bu çalışma ışığında elde edilen bulgulara göre baraj göllerinin yönetiminde güncel verilerin derlenmesi ya da sistematik bir şekilde toplanması büyük önem arz etmektedir. Diğer taraftan, balık yetiştiriciliği faaliyeti yürütülsün ya da yürütülmesin baraj gölleri evsel atıklar, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin baskısı altındadır. Diğer baskı unsurlarına ek olarak balık yetiştiriciliği tesislerinin faaliyeti barajlarda azot ve fosfor yükü baskısı oluşturmaktadır. Bu kapsamda alınacak diğer baskı unsurları ile birlikte ağ kafeslerde balık yetiştiriciliği faaliyetinin devamlılığı ve baraj göllerinde ötrofikasyon kontrolü maksadıyla çevre dostu önlemler alınmalıdır. Elde edilen verilere göre yaygın olarak durgun sularda sınırlayıcı besin elementi kabul edilen fosfor elementinin yanısıra azot besin elementi çalışma alanında sınırlayıcı element olarak tespit edilmiş olup bu kapsamda hem azot hem de fosfor kontrolüne yönelik olarak yapılacak çalışmalar yürütülmelidir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Water pollution from agriculture: a global review - executive summary. (2017). URL: <https://www.fao.org/3/i7754e.pdf>. Son Erişim Tarihi:11.09.2023.
2. İnternet: Environmentally responsible aquaculture. (2007). URL: <https://www.researchgate.net/publication/226637784>, Son Erişim Tarihi:11.09.2023.
3. İnternet: Çevresel göstergeler. (2019). URL: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/gostergeler-2017-20190628084655.pdf>. Son Erişim Tarihi:12.09.2023
4. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), su ürünleri istatistikleri. (2022). URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Urunleri-2021-45745>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
5. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2014). *Durgun Yerüstü Kara İç Sularının Ötrofikasyona Karşı Korunmasına İlişkin Tebliğ*, 26 Şubat 2014 tarih ve 28925 sayı.
6. Tekinay A. A., Güroy, D. ve Çevik, N. (2006). Balık üretiminden kaynaklanan kirlilik ve çözüm yolları. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 23(1-2), 295– 298.
7. Eren, Z. (2021). The relationship of harmful algae bloom and mucilage outbreak in the sea of how to cite Marmara. *Journal of Environmental and Natural Studies*, 3(2), 203-213.
8. İnternet: European assessment of eutrophication abatement measures across land-based sources, inland, coastal and marine waters technical report. (2016). URL: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-icm/products/etc-icm-reports/european-assessment-of-eutrophication-abatement-measures-across-land-based-sources-inland-coastal-and-marine-waters>. Son Erişim Tarihi:01.01.2024.
9. İnternet: TEMA Vakfı ötrofikasyon. (2024). URL:<https://sutema.org/media/4din5jcj/otrofikasyon-pdf-formati.pdf>, Son Erişim Tarihi:10.01.2024.
10. Yağcı, M. A. (2010). Göllerde ötrofikasyon, kontrolü ve planktonik gösterge türleri. *Aquaculture Studies*, 10, 001-014.
11. İnternet: The Open University, eutrophication (2018). URL: <https://www.open.edu/openlearn/nature-environment/environmental>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
12. İnternet: Ankara Üniversitesi açık ders malzemeleri 13. hafta ders sunusu. (2021). URL:https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/84783/mod_resource/content/0/Limnoloji%2013.%20hafta.pdf. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
13. Yiğit, S. (2004). Göllerde ötrofikasyon problemleri ve çözüm yolları. *Mavi Gezegen Popüler Yerbilim Dergisi*, 9, 32-36.

14. Sağlamtimur, N., Sağlamtimur, B. (2018). Sucul ortamlarda ötrofikasyon durumu ve senaryoları. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 75-82.
15. Cirik, S., Cirik Ş. (2005). *Limnoloji*. İzmir: Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No:21, 107-109.
16. Çayır, M., Atılğan, A., Hasan, Ö. (2012). Büyükbaş hayvan barınaklarındaki gübrelilikler ve su kaynaklarına olan durumlarının incelenmesi. *Isparta Uygulamalı Bilim Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(2), 1-9.
17. İnternet: European Comission, environment, marine, GES, eutrophication. (2017). URL:https://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-5/index_en.htm. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
18. İnternet: On Dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ders sunusu. (2019). URL:<https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/npolat/108411/5.%20HAFTA.pptx>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
19. Smith, V.H., Tilman, G.D., and Nekola, J.C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental pollution*, 100(1-3), 179-96.
20. İnternet: Bitki besleme ve organik gübreleme ders notları. (2023). URL: <https://antalya.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Bitki%20Besleme%20ve%20Organik%20G%C3%BCbreleme%20Ders%20Notlar%C4%B1.pdf>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
21. İnternet: Phosphorus: a rate limiting nutrient in surface waters. (1999). URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10228963/> Phosphorus: A Rate Limiting Nutrient in Surface Waters. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
22. İnternet: Boğaziçi Üniversitesi İklim Değişikliği ve Politikaları Uygulama ve Araştırma Merkezi. Fosfor döngüsü. (2019). URL: <https://climatechange.boun.edu.tr/fosfordongusu/#:~:text=Fosfor%20d%C3%B6ng%C3%BCs%C3%BC%20di%C4%9Fer%20d%C3%B6ng%C3%BClere%20k%C4%B1ya%20sla%20tar%C4%B1msal%20g%C3%BCbrelerin%20ve%20deterjanlar%C4%B1n%20kullan%C4%B1mas%C4%B1d%C4%B1r>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
23. İnternet: Erciyes Üniversitesi ders notları. (2013). URL:<https://cevre.erciyes.edu.tr/upload/KLMJMW86-fosfor-2013.pdf>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
24. İnternet: Phosphorus: a rate limiting nutrient in surface waters. (1999). URL: <https://researchgate.net/publication/13069486>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
25. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2013). *Ermenek Baraj limnoloji raporu*. Ankara.
26. İnternet: Nitrogen. (2023). <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-nitrogen>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.

27. İnternet: Sığ göllerin ekolojik yapısının belirlenmesinde mikrobik çevrimin rolü. (2011). URL: <file:///C:/Users/tosh%C4%B1ba/Downloads/TVRFM01ESXk>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
28. İnternet: Control variables. (2019). URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/limiting-nutrient>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
29. Diktepe, E., Yıldız, F. (2022). Denizlerdeki aşırı alg çoğalmaları; müsilaj, deniz salyası, dünya denizlerinden örnekler, sorunlar ve fırsatlar. *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 34, 41-57.
30. Muslu, Y. (2001). *Göl ve haznelerde su kalitesi yönetimi ve alg kontrolü*, İSKİ. İstanbul.
31. Tokgöz, D. (2015). *Durgun sularda balık yetiştiriciliğinin besin elementleri açısından etkileri*. Uzmanlık Tezi, Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara.
32. Downing J. A., McCauley E. (1992). The nitrogen: phosphorus relationship in lakes. *Limnology and Oceanography*, 37(5), 936-945.
33. İnternet: Defining trophic state. (1996). URL:<https://www.nalms.org/secchidipin/monitoring-methods/defining-trophic-state/>. Son Erişim Tarihi:15.04.2023.
34. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2018). *Kentsel hassas eylem planları*. Ankara.
35. İnternet: Emprical and theoretical models of phosphorus loading. (1988). URL:[file:///C:/Users/tosh%C4%B1ba/Contacts/Downloads/AhlgrenFriskKamp-Nielsen1989%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/tosh%C4%B1ba/Contacts/Downloads/AhlgrenFriskKamp-Nielsen1989%20(1).pdf) Son Erişim Tarihi:11.02.2023.
36. İnternet: Water quality. (2016) URL:https://lake.wateratlas.usf.edu/library/learnmore/learnmore.aspx?toolsection=lm_tsi Son Erişim Tarihi:23.01.2023
37. İnternet: Trophic state. (2001). URL: <https://www.rmbel.info/primer/lake-trophic-states-2/rmbel>. Son Erişim Tarihi:20.02.2023.
38. İnternet: Water quality glossary. (2022). URL:<https://www.waikatoregion.govt.nz/environment/water/lakes/water-quality-glossary/#tropic>. Son Erişim Tarihi:22.03.2023.
39. Ksparzk, P. (2008). Chlorophyll a concentration across a trophic gradient of lakes: An estimator of phytoplankton biomass. *Limnologia*, 38, 327–338.
40. İnternet: Chlorophyll a. (2023). URL:<https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-chlorophyll>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
41. İnternet: Chlorophyll is not accurate measurement for algal biomass. (2013). URL: <https://it.science.cmu.ac.th/ejournal/>. Contributed Pape. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.

42. İnternet: Secchi disk. (2021). URL:<https://www.rmbel.info/training/how-to-use-a-secchidisk/#:~:text=Secchi%20disk%20depth%20is%20the,mark%20at%20six%20Dinch%20intervals>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
43. Carlson, R. E. (2007). Estimating trophic state. *LakeLine*, 27(1), 25-28.
44. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2019). *Kızılırmak Havzası taşkın yönetim planı*. Ankara.
45. İnternet: Nehir havzası yönetim planlarının hazırlanması için teknik yardım paydaş danışma toplantı sunumu. (2022). URL: <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/6%20HAVZADA%2017.03.2022/Havza%20Sunumu.pdf>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
46. İnternet: İmranlı Kızılırmak Barajı. (2022). URL: <https://www.imranli.bel.tr/blog/2020/04/30/imranli-kizilirmak-baraji/index.htm>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
47. İnternet: Sivas Baraj Gölü ve çevresi tescil ilanı. (2019). URL:<https://tvk.csb.gov.tr/sivas-imranli-baraj-golu-ve-cevresi-tescil-ilani-duyuru-396942>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
48. İnternet: Haber61. (2022). URL:<https://www.haber61.net/sehirler/sibirya-degil-sivas-h442510.html>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
49. Bektaş, İ. (2022). *The case of Kayseri Yamula Dam area*. II. International Congress on Art and Design Research, Kayseri, 302-326.
50. İnternet: Milliyet haber. (2020). URL:<https://www.milliyet.com.tr/ekonomi/kayseride-yamula-barajinda-1400-ton-somon-baligi-uretildi-6342206>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
51. İnternet: Bayramhacılı Barajı. (2021). URL: <https://www.lalehaber.com/bayramhacili-baraji-yok-mu-ediliyor-42929-haberi>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
52. İnternet: Hirfanlı Barajı. (2019). URL:<https://www.dogadernegi.org/hirfanli-baraji/>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
53. İnternet: Kesikköprü Barajı. (2023). URL: <https://www.ticarihayat.com/evrendoganin-ve-tarihin-kucaklastigi-bir-nokta>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
54. İnternet: Su ürünleri sektörünün mevcut durumu, sorunları ve çözüm önerileri. (2017). URL:https://samsun.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Yayinlar/Tarimsal_strateji/Su_Urunleri_Ekim_2017.pdf. Son Erişim Tarihi:11.10.2023.
55. İnternet: TRT haber. (2022). URL:<https://www.trthaber.com/haber/ekonomi/turk-somonunun-uretimi-anadoluda-basliyor-728352.html>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
56. T.C Tarım ve Orman Bakanlığı. (2018). *Durgun sularda özümlleme kapasitesinin ve su kalite hedeflerinin belirlenmesi projesi Kızılırmak Havza raporu*, Ankara.

57. Akyüz, D. E. (2016). Trofik durum indeksi ile anahtar sınırlayıcı parametrelerin değerlendirilmesi: Taihu Gölü örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 194-201.
58. İnternet: Eutrophication factor analysis using Carlson trophic state index towards non-algal impact reservoirs in Taiwan. (2022). URL: <https://sustainenvirones.biomedcentral.com/articles/10.1186/s42834-022-00142-x>. Son Erişim Tarihi:10.03.2023.
59. İnternet: Sivas il çevre durumu. (2018). URL:https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/s-vas_-cdr201720181225115412.pdf. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
60. İnternet: Su ürünleri istatistikleri. (2021). URL: <https://www.tarimorman.gov.tr/BSGM/Belgeler/Icerikler/Su%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Veri%20ve%20D%C3%B6k%C3%BCmanlar%C4%B1/Su-Urunleri-%C4%B0statistikleri>. Son Erişim Tarihi:05.01.2023.
61. İnternet: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi. (2018). URL: <https://www.cumhuriyet.edu.tr/haber/5624-kizilirmakin-suyu-uydu-goruntusuyle-siniflandirildi>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
62. İnternet: Nevşehir il çevre durumu. (2018). URL: https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/nevseh-r_-cdr2018-20191231115401.pdf. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
63. İnternet: Kayseri il çevre durumu. (2018). URL: https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/kayser-_cdr_2018_son20191028091140.pdf. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.
64. İnternet: Nevşehir İl Tarım ve Orman Müdürlüğü arşiv. Bayramhacılı Barajı ve Kızılırmaktaki Balık Ölümleri. (2019). URL: <https://nevsehir.tarimorman.gov.tr/Haber/689/Bayramhacili-Baraji-Ve-Kizilirmaktaki-Balik-Olumleri2>. Son Erişim Tarihi:11.04.2023.



Gazili olmak ayrıcalıktır