

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖMERLİ BARAJ GÖLÜNDE
TROFİK SEVİYENİN BELİRLENMESİ**

Çevre Mühendisi Kevser Pınar YETGİN

**FBE Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hürrem BAYHAN

İSTANBUL,2009

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖMERLİ BARAJ GÖLÜNDE
TROFİK SEVİYENİN BELİRLENMESİ**

Çevre Mühendisi Kevser Pınar YETGİN

**FBE Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hürrem BAYHAN

Hürrem Bayhan
Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK
Doç. Dr. Atilla Akgün

05.05.2009

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. GÖLLER.....	2
2.1 Su Kaynakları ve Göller.....	2
2.2 Göllerin Sınıflandırılması	2
2.2.1 Oligotrofik Göller	3
2.2.2 Mezotrofik Göller	3
2.2.3 Ötrofik Göller	3
2.2.4 Dystrofik Göller	3
2.2.5 Miksotrofik Göller	4
2.3 Bir Su Yatağının Trofik Seviyesini Belirlemede Kullanılabilecek İndikatörler	4
2.3.1 Fiziksel İndikatörler	4
2.3.2 Kimyasal İndikatörler	4
2.3.3 Biyolojik İndikatörler	5
2.3.4 Göl ve Rezervuarlardaki Tabakalaşma ve Karışım	6
3. ÖTROFİKASYON	8
3.1 Besi Maddesi Kaynakları	8
3.1.1 Nokta Kaynaklar.....	8
3.1.2 Dağınık Kaynaklar.....	8
3.2 Ötrofikasyon ve Alg Kontrolü.....	9
3.3 Ötrofikasyonu Belirleyen Parametreler	11
3.4 Ötrofikasyonu Etkileyen Faktörler	11
3.4.1 Fiziksel Faktörler	11
3.4.2 Kimyasal Faktörler	15
3.4.2.1 Çözünmüş Oksijen.....	15
3.4.2.2 İnorganik Karbon.....	16
3.4.2.3 Fosfor	18
3.4.2.4 Azot.....	22
3.4.2.4.1 Yüzeysel Sularda Azot Döngüsü.....	23
3.4.2.4.1.1 Moleküler Çözünmüş Azot	24
3.4.2.4.1.2 Amonyum Azotu	24
3.4.2.4.1.3 Nitrit Azotu	25

3.4.2.4.1.4 Nitrat Azotu.....	25
3.4.2.4.1.5 Organik Azot.....	26
3.4.2.5 Sülfür	27
3.4.2.6 Ağır Metaller.....	27
3.4.2.7 Organik Karbon.....	30
3.5 N/P Oranının Önemi.....	31
3.6 Trofik Durum İndeksi	32
3.6.1 İndeks Kullanımı	35
3.5 Ötrofikasyonun Olumsuz Etkileri.....	37
3.5.1 Ötrofikasyonun Ekolojik ve Ekonomik Açıdan Olumsuz Etkileri.....	37
3.5.2 Ötrofikasyonun İçme Suyu ve Halk Sağlığı Açısından Olumsuz Etkileri.....	40
4. ÖMERLİ HAVZASININ TANITIMI	41
4.1 Doğal Coğrafya	41
4.2 Jeolojik Yapı	42
4.3 Meteorolojik Özellikler.....	42
4.4 Sosyal ve Ekonomik Yapı.....	43
4.5 Su Kaynakları.....	43
4.6 Yerleşim ve Nüfus	44
4.7 Ömerli Barajına Akan Dereler ve Bağlı Olduğu Kollar	45
4.8 Tarım, Orman ve Hayvancılık.....	46
4.9 Sanayi ve Ticaret	47
4.10 Ömerli Havzası'nın Su Kalitesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar	49
5. GÖLE GELEN BESİ MADDESİ YÜKLERİNİN HESABI.....	51
5.1 Havzadaki Kirletici Kaynaklardan Gelen Yükler	51
5.1.1 Noktasal Olmayan Kaynaklardan Gelen Yükün Hesaplanması.....	51
5.1.1.1 Toplam Fosforun Hesaplanması.....	52
5.1.1.2 Toplam Azotun Hesaplanması	53
5.1.2 Noktasal Kaynaklardan Gelen Yük Hesabı	54
5.1.2.1 Toplam Fosforun Hesaplanması.....	54
5.1.2.2. Toplam Azotun Hesaplanması	55
5.1.2.1 Toplam Fosfor ve Azot Yükünün Hesaplanması	55
5.2 Göle Gelen Yükün Göl İçin İzin Verilen ve Fazla Yük ile Karşılaştırılması	56
6. ÖMERLİ BARAJ GÖLÜNÜN TROFİK DURUMUNUN ARAŞTIRILMASI ...	59
6.1 Göldeki Sınırlayıcı Elementin Belirlenmesi	59
6.2 Klorofil-a Değerlerinin Hesabı.....	65
6.3 Trofik Durum İndeksi (TSI) Değerlerinin Hesabı.....	71
6.3.1 OECD'ye Göre Trofik Seviyenin Belirlenmesi	74
6.4 Regresyon Analizi	78
6.4.1 Klorofil-a ve Toplam Fosfor Regresyonu.....	78
7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	82
KAYNAKLAR.....	84

EKLER.....	86
Ek 1	86
Ek 2	87
ÖZGEÇMİŞ	88

KISALTMA LİSTESİ

TSİ	Trofik durum indeksi
İSKİ	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
TÜBİTAK MAM	Türkiye Bilim Teknik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi
TP	Toplam fosfor
TN	Toplam azot

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Göllerde bölgelendirme	7
Şekil 2.2 Göllerde sıcaklık tabakalaşması	7
Şekil 3.1 Su ortamında fosfor	20
Şekil 3.2 Azofil nütrient yüklemesi, ortalama göl derinliği ve zenginleşme derecesi arasındaki ilişki.....	21
Şekil 3.3 Seki disk.....	34
Şekil 3.4 Seki Disk geçirgenliği ve yüzeysel klorofil-a konsantrasyonu arasındaki ilişki....	36
Şekil 3.5 Seki disk geçirgenliği ve yüzeysel klorofil-a konsantrasyonu arasındaki ilişkinin log-log formuna dönüşümü	36
Şekil 4.1 Ömerli baraj gölü ve havzası.....	41
Şekil 5.1 Fosfor yükünün ve z/r_w 'nin bir fonksiyonu olarak trofik durum	58
Şekil 6.1 Ömerli bağlı derelerin N/P oranları (2004–2007)	64
Şekil.6.2 08.06.2006 Tarihi trofik durum dağılımı	74
Şekil 6.3 08.06.2006 Tarihi trofik durum dağılımı	75
Şekil 6.4 08.06.2006 Tarihi trofik durum dağılımı	76
Şekil 6.5 Datafit programı sonucu Göçbeyli deresinde toplam fosfor-klorofil-a grafiği	79
Şekil 6.6 Datafit programı sonucu Hamsu deresinde toplam fosfor-klorofil-a grafiği.....	80

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Su kaynaklarının tipleri.....	2
Çizelge 3.1	Okyanuslarda ve tipik bir gölde fosfor bilançosu.....	21
Çizelge 3.2	Göl sınıflandırması	33
Çizelge 3.3	Trofik Sınıflandırma	35
Çizelge 3.4	Carlson Trofik İndeks değerleri.....	35
Çizelge 4.1	Ömerli barajının teknik özellikleri.....	44
Çizelge 4.2	Ömerli havzasının nüfus dağılımı.....	45
Çizelge 4.3	Ömerli barajının arazi dağılımı	46
Çizelge 4.4	Tarım arazilerinin bitki türlerine göre dağılımı.....	46
Çizelge 4.5	Ömerli su toplama havzasında bulunan tesislerin faaliyet alanları	48
Çizelge 5.1	Ömerli havzasındaki arazi kullanım alanları ve dağılımı	52
Çizelge 5.2	Göle gelen kirlетici yük hesabının yapıışında kullanılabilecek besin maddesi transport katsayıları.....	52
Çizelge 5.3	Derelerin yıllık ortalama debileri.....	52
Çizelge 5.4	Derelerin getirdiğı toplam fosfor konsantrasyonları.....	54
Çizelge 5.5	Derelerin getirdiğı azot (NH ₃ -N,NO ₃ -N) konsantrasyonları.....	54
Çizelge 5.6	2004–2006 Yılları arasındaki fosfor ve azot yükleri	56
Çizelge 6.1	Kömürlük deresinde N/P oranlarının yıllara göre değışimi	61
Çizelge 6.2	Göçbeyli deresinde N/P oranlarının yıllara göre değışimi.....	61
Çizelge 6.3	Göl içinde N/P oranlarının yıllara göre değışimi.....	62
Çizelge 6.4	Paşaköy arıtma tesisi giriş suyunda N/P oranlarının yıllara göre değışimi.....	62
Çizelge 6.5	Paşaköy arıtma tesisi çıkış suyunda N/P oranlarının yıllara göre değışimi	63
Çizelge 6.6	Topçayrlar deresinde N/P oranlarının yıllara göre değışimi	63
Çizelge 6.7	Balıca deresinde N/P oranlarının yıllara göre değışimi	64
Çizelge 6.8	Balçık deresinde N/P oranlarının yıllara göre değışimi.....	64
Çizelge 6.9	Kömürlük deresi klorofil-a değerleri	66
Çizelge 6.10	Göçbeyli deresi klorofil-a değerleri.....	67
Çizelge 6.11	Göl içi klorofil-a değerleri.....	68
Çizelge 6.12	Paşaköy arıtma tesisi girişinde klorofil-a değerleri	69
Çizelge 6.13	Paşaköy arıtma tesisi çıkışında klorofil-a değerleri.....	69
Çizelge 6.14	Topçayrlar deresinde klorofil-a değerleri	70
Çizelge 6.15	Balıca deresinde klorofil-a değerleri.....	70
Çizelge 6.16	Balçık deresinde klorofil-a değerleri	71
Çizelge 6.17	OECD’ye göre trofik seviye belirlemede kullanılan sınır değerler	71
Çizelge 6.18	Seki diski derinliğı, klorofil-a ve toplam fosfora bağı TSI değerleri	72
Çizelge 6.19	Göl içi TSI değerleri	73
Çizelge 6.20	TSI değerlerinin karşılaştırılması	73
Çizelge 6.21	2004-2007 Yılları arasında ortalama fosfor konsantrasyonuna göre trofik dağılım	76
Çizelge 6.22	2004-2007 Yılları arasında ortalama klorofil-a konsantrasyonuna göre trofik dağılım	77
Çizelge 6.23	2004-2007 Yılları arasında maksimum klorofil-a konsantrasyonuna göre trofik dağılım	77
Çizelge 6.24	Göçbeyli deresi klorofil-a ve toplam fosfor regresyonunda hesaplanan klorofil-a ve datafit sonuçları	79
Çizelge 6.25	Hamsu klorofil-a ve toplam fosfor regresyonunda hesaplanan klorofil-a ve datafit sonuçları.....	80

Güncelleme Tarihi: 07.03.2009

Güncelleme No: 3

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yapılması fikrinden gerçekleşmesine kadarki süreçte beni yönlendiren ve değerli görüş ve deneyimlerini benimle paylaşan hocalarım Doç.Dr.Sn. Atilla AKKOYUNLU ve tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Sn. Hürrem Bayhan'a;

Arkadaşlıkları, destekleri ve içten yardımları için Araştırma Görevlilerimiz Selami DEMİR, Tamer COŞKUN, Ebru AKKAYA, Neslihan MANAV, Fatih İLHAN ve Levent KUZU'ya;

İlgi ve veri destekleri için İSKİ Emirli Arıtma Tesisi'nden Sn. Halil İbrahim UZUN'a ve TÜBİTAK MAM'dan Sn. Vildan TÜFEKÇİ'ye;

Beni dünyaya henüz üniversite öğrencisiyken getiren ve ben dört yaşındayken tamamladığı bitirme tezinin teşekkür bölümünde “yaramazlık yapıp onu üzmayerek tezi bitirmesine yardımcı olduğum için” yer veren Sevgili Anneme... Sadece bu süreçte değil, hayatım boyunca bana verdiği destek ve dostluk için;

Her zaman yanımda olduğunu bildiğim ve hayatın zaman zaman karşıma çıkardığı her zorlukta güç aldığım Sevgili Babama,

Desteğini ve sevgisini hep hissettiğim, yüksek lisans eğitimime başladığımda henüz hayatıma girmemiş olan, ama her zaman “iyi ki” ile başlayan cümlelerimin öznesi, Sevgili Eşime;

Ve bu çalışmanın hazırlanması sürecinde, zaman ayırmamı sağlayan, işyerimdeki idareci ve arkadaşlarıma;

Teşekkürlerimi sunarım.

Güncelleme Tarihi: 07.03.2009

Güncelleme No: 3

ÖMERLİ BARAJ GÖLÜNDE TROFİK SEVİYENİN BELİRLENMESİ

Kevser Pınar YETGİN

Çevre Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Bu çalışmanın amacı, İstanbul Anadolu Yakasında bulunan Ömerli Baraj Gölünde İSKİ tarafından 2004–2007 yılları arasında yapılmış ölçüm sonuçlarından hareketle gölün trofik durumunu ortaya koymaktır.

Göldeki sınırlayıcı elementin belirlenebilmesi için analiz sonuçlarından hareketle azot ve fosfor değerleri oranlandı. Göle akan derelerin besiyükü hesapları yapılmış ve Vollenweider (1976) yaklaşımıyla göle besiyüklemeleri incelendi. Göl içi toplam fosfor, klorofil-a, toplam azot konsantrasyonu verileri değerlendirilerek toplam fosfor ve klorofil-a konsantrasyonları arasında DataFit 8.2. programı aracılığıyla regresyon analizleri gerçekleştirildi.

OECD yaklaşımıyla gölün trofik durumu incelenerek Carlson(1977)'ın trofik durum indeksi kullanıldı, gölün TSI değerleri bulundu.

Çalışma içerisinde yer alan toplam fosfor, klorofil-a, Z/r_w gibi değerler Vollenweider (1975) tarafından ve OECD (1982) yaklaşımıyla ortaya konan eğrilere işlenerek değerlendirildi.

Ötrofikasyon kontrol teknikleri araştırılarak mevcut duruma karşı alınabilecek önlemler için metotlar belirtildi.

Anahtar Kelimeler: Ötrofikasyon, Klorofil-a, Sınırlayıcı Element, Trofik Durum İndeksi (TSI)

Güncelleme Tarihi: 07.03.2009

Güncelleme No: 3

DETERMINATION OF THE TROPHIC STATE IN ÖMERLİ DAM RESERVOIR

Kevser Pınar YETGİN
Çevre Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi

The purpose of this study is to examine the Eutrophic situation of Ömerli Dam Reservoir, which is at the Anatolian side of Istanbul, using the pollutant parameter of water samples obtained from ISKI (Istanbul Water and Drainage Administration) between the years 2004 and 2007.

For could determine the restrictive element which found in the lake; the nitrogen and phosphorus values were compared with the aid of analysis results. The lake was examined in terms of nutrient loading originating from point and diffuses (non-point) sources. The loading was compared with the allowable and excessive loadings given by Vollenweider. By using the program DataFit 8.2., the regression analysis was studied between chlorophyll-a and the total phosphorus that were calculated to show the level of pollution.

The trophic status of the lake was examined with the OECD approach and by using Carlson's Trophic status Index, thus of lake TSI values were founded.

Founded in the study like total phosphorus, chlorophyll-a and Z/r_w values was evaluated with processing the curves which putted forth by Vollenweider (1975) and with an OECD approach (1982).

By investigating the eutrophication control techniques for could take measures towards current situation the methods have been presented.

Key Words: Eutrophication, Chlorophyll-a, The Limiting Element, Trophic State Index (TSI)

1. GİRİŞ

Birer içme suyu kaynağı olan göller ve rezervuarların kirlenmesi insan sağlığı açısından oldukça önemli bir problemdir. Su kirliliğine çözüm yolları için birçok strateji geliştirilmiştir, öncelikle kirleticiler faktörlerin neler oldukları ortaya çıkarılmıştır. Araştırmalar sonucunda su kaynaklarının yağmur suyu, yüzeysel sular, kayaların aşınması, atmosferden taşınma ve bitki polenleri gibi doğal etmenler dışında çoğunlukla evsel ve endüstriyel atıklar gibi insan aktiviteleri sonucu kirlendiği ortaya çıkmıştır. Gerek doğal gerekse insan faaliyetleri sonucu oluşan su kirliliği biçimlerinden biri de ötrofikasyondur (Kahraman, 2003).

İstanbul'a verilen suyun %32'si Ömerli Barajından sağlanmakta ve çevresindeki kaçak yerleşim nedeniyle göl, kirlilik problemleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Darlık Barajı'nın suları da Ömerli Barajına aktarılmakta olduğundan, oluşacak bir kirlilik İstanbul' sağlanan suyun %48,5'inde kirliliğe neden olacaktır. (Güvensel, 2006)

Bu çalışmada, içme suyu temini amacıyla kullanılan Ömerli Baraj Gölündeki 2004–2007 yılları arasındaki çeşitli tarihlerde İSKİ tarafından yapılan analizler ve 1977 yılında Carlson'ın ortaya koyduğu ifadeler kullanılarak göldeki sınırlayıcı element, trofik durum indeksi gibi parametreler ışığında gölün trofik durumunu ortaya koymak, bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

2. GÖLLER

2.1 Su Kaynakları ve Göller

Toplumun su ihtiyacını temin etmek için yapılacak çalışmalar su ihtiyacının belirlenmesi ve kaynak seçimi ile başlar. Su kaynağının seçiminde göz önünde bulundurulması gereken üç ana faktör:

- 1- Kalite
- 2- Miktar
- 3- Maliyet

tir. Seçilecek kaynakta su miktarının yeterli, su kalitesinin ise kabul edilebilir durumda olması gerekir. Çoğu kere civarda bulunan akarsu ve göller kaynak olarak seçilir. Bu tip kaynaklar istenilen miktarda suya sahip olmakla beraber su kalitesi yönünden doğrudan kullanılabilecek durumda değildir. Su temini için diğer kaynaklar, kuyu ve menba sularıdır. Bu kaynakların suları çok iyi kalitede olmalarına rağmen, çoğu zaman miktar bakımından yeterli değildir. Bunun için küçük yerleşim merkezleri dışındaki büyük şehirlerin su ihtiyacı genel olarak yüzeysel sulardan temin edilir. Su kaynakları toplu olarak aşağıdaki Çizelge 2.1'de verilmiştir (Özecik, 2006).

Çizelge 2.1 Su kaynaklarının tipleri (Özecik, 2006).

Su Kaynağının Tipi	Kaynak Cinsi
1) Yağmurlar	Doğrudan toplama(sarnıç)
2) Yüzey akış suları	Göller Akarsular
3) Yer altı suyu	Membalar Kuyular Sızdırma galerileri
4) Tuzlu sular	Deniz suları Acı- Tuzlu yer altı suları
5) Kullanılmış suların tekrar kullanılması	Ardışık kullanma Doğrudan

2.2 Göllerin Sınıflandırılması

“Trophy” kelimesi aynı zamanda bir göle organik maddelerin gelmesini ve buna bağlı olarak değişen ekolojik durumu açıklar. Bu yüzden 5 tip göl ayrımı yapılmıştır.

- a) Oligotrofik (az besinli)
- b) Mezotrofik (normal, orta besinli)
- c) Ötrofik (iyi besinli)
- d) Dystrofik (kötü besinli)
- e) Miksotrofik (dystrofik fakat üretici)

2.2.1 Oligotrofik Göller

Jeolojik olarak genç olan göllerdir. Genellikle derindirler. Suları temiz ve üretimleri de az miktardadır. Çözünmüş besin maddesi konsantrasyonu düşüktür. Fitoplanktonun üretimi düşük olup 7–75 gr C/m²-yıl ve günlük üretimi büyüme mevsiminde 0,03–0,1 gr C/m²-gün'dür. Türlerin çeşitliliği çok değişik ve fazladır. Su mavi renktedir ve ışık geçirgenliği fazladır. Alg patlaması yüzeyde görülmez, verimlilik düşüktür. C, P ve N bakımından fakirdirler. Elektrolitler az olup, askıda veya göl tabanındaki organik maddeler azdır. Hipolimnion tabakası oldukça geniş ve soğuktur. Oksijen bütün mevsimlerde ve derinliklerde çok miktarda bulunur. Hipolimnion tabakasında ise oksijen tüketim hızı azdır.

2.2.2 Mezotrofik Göller

Oligotrofik ve Ötrofik göl tipi arasındaki gölleri oluştururlar. Bu tip göllerde su bitkileri yavaş yavaş görünmeye başlar. Su yeşilimsi bir renk alır. Orta derecede balık üretimi olur.

2.2.3 Ötrofik Göller

Bu tip göller genellikle sığdırlar. Bitki temel besin maddeleri ve organik madde bakımından zengindirler. Çözünmüş besin maddesi konsantrasyonu yüksektir.

2.2.4 Dystrofik Göller

Bu tip göller genellikle yumuşak zeminli yağışlı yerlerde ve eskimiş dağlarda görülür. Su rengi kahverengidir. Üretim ve tüketim dengeli değildir. Fosfor, azot ve organik maddeler bakımından zengin olmalarına rağmen humik maddelerin fazlalığı dolayısıyla birçok organizmaların büyümeleri sınırlıdır. Alg patlamaları çok sık görülmez. Derin sularda oksijen bulunmayabilir. Bu tip göller genellikle sığlaşır ve sonunda bataklığa dönüşür daha sonra bitki ve orman örtüsü ile kaplanır (Özcek, 2006).

2.2.5 Miksotrofik Göller

Bazı göller humik maddeler bakımından zengindirler, fakat buna rağmen üreticidirler. Bu tip göllere miksotrofik göller denir. Besi maddeleri ve askıda organik maddeler bakımından çok zengin göllerdir (Özecik, 2006).

Ilıman zonda yer alan ve derinliği genel olarak 15 m den daha fazla olan göller iki ana tabakaya ayrılır. Güneşli havalarda suyun üst tabakası sıcak ve ışık nüfuzu nedeni ile aydınlıktır. Alt tabaka daha soğuk ve karanlıktır. Bu iki tabaka farklı yoğunlukları ile birbirinden ayrılır. Bu tabakalar arasında sınırlı bir kaynaşma söz konusudur. Üst tabakaya 'Epilimnion', ara tabakaya 'Termoklin', alt tabakaya ise, 'Hipolimnion' adı verilir (Ayberk, 2002).

Kış aylarında bazı göllerin yüzeyleri buz tutar. Buz tabakasının altında yüzeyle dip arasındaki kesitte suyun sıcaklığı 0-4°C arasındadır. İlkbaharın gelmesiyle buz tabakası erir ve yüzey suları ısınır. Ortalama sıcaklığı yaklaşık 4°C'ye ulaşan yüzey sularının yoğunluğu artar ve rüzgarın da etkisi ile alt tabaka suları ile bir karışım gerçekleşir. İlkbahar ve sonbaharda, yılda iki kez alt ve üst tabaka arasında bir karışma olayı görülür. Bu yolla dip tabakaların çözünmüş oksijen varlığı artar. Böylece serin suları tercih eden ancak yüksek oranda çözünmüş oksijene ihtiyaç duyan balıklar için gerekli doğal yaşam koşulları yaratılmış olur (Ayberk, 2002).

2.3 Bir Su Yatağının Trofik Seviyesini Belirlemede Kullanılabilecek İndikatörler

2.3.1 Fiziksel İndikatörler

Bir su yatağının trofik seviyesini belirlemede kullanılabilecek fiziksel indikatör olarak genellikle su yatağının **ışık geçirgenliği** kullanılmaktadır. Eğer su yatağı bulanıksa ışık alt tabakaya geçemeyeceğinden fotosentez sadece üst tabakada meydana gelecektir. Bu durumda alt tabakalardaki çözünmüş oksijen solunumda kullanılıp tüketileceğinden anaerobik ortam meydana gelecektir.

2.3.2 Kimyasal İndikatörler

- **Besi Maddesi (C, N, P). Konsantrasyonları:** Organik azot önce amonyuma, daha sonra oksijen ile birleşerek sırasıyla nitrit ve nitrata dönüşmektedir. Organik fosfor ise ortofosfata dönüşmektedir. Su ortamında inorganik formdaki nitrat ve ortofosfat konsantrasyonunun yüksek olması gölün oligotrofikten ötrofik hale geçmekte olduğunu göstermektedir.

- **Hipolimniyon Tabakası:** Hipolimniyon tabakası bir su yatağında su sıcaklığının mevsimlere bağlı olarak değişmediği alt kısmı ifade etmektedir. Hipolimniyon tabakasındaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu yüksekse göl oligotrofik, çok düşükse mezotrofik ve sıfırda ötrofiktir.
- **Toplam Organik Azot:** Eğer su ortamında toplam organik azot yüksekse uzun vadede su yatağının ötrofik hale gelme ihtimali çok yüksek demektir. Toplam organik azot düşük, nitrat yüksekse ötrofik hale gelme süresi çok kısa demektir. Eğer ortamda hem nitrit, hem de nitrat birlikte bulunuyorsa su ortamının kirlenmeye devam ettiği anlaşılmalıdır. Aerobik ortamda organik azot, amonyum veya nitritin bulunması taze kirlenmeyi göstermektedir. Buna karşılık sadece nitrat yüksekse kirlenme büyük ihtimalle eskiden kalmış demektir.
- **Toplam Fosfor:** Organik fosfor zaman içinde tamamen ortofosfata dönüşmektedir. Toplam fosforun yüksek olması su ortamının ötrofikleşme eğiliminde olduğunu gösterir.
- **Çözülmüş Tuzlar:** Su ortamında çözülmüş tuz konsantrasyonlarının yüksek olması o su yatağının hızla ötrofikleşme eğiliminde olduğunu gösterir.
- **Elektrolitler:** Eğer ortamda elektrolitler fazlaysa gölün hızla ötrofik hale geçme eğiliminde olduğu anlaşılır.
- **pH:** pH'ın 7'den küçük olması gölün ötrofikleşmeye başladığını gösterir. Ötrofik bir su yatağında pH çok düşüktür.
- **Kasyon Oranı:** $(Na+K)/(Ca+Mg)$ Formülü ile hesaplanır. Kasyon oranının yüksek olması ortamda fazla miktarda çözülmüş tuz olduğunu gösterir. Kasyon oranı yüksekse göl ötrofik hale gelebilir, değilse su serttir ve göl oligotrofikdir. (Kahraman,2003)

2.3.3 Biyolojik İndikatörler

- **İlk Üretim Hızı:** İlk üretim hızının yüksek olması (fitoplankton miktarının artması) su yatağının hızla ötrofik hale geçmekte olduğunu gösterir.
- **Tür Farklılığı İndeksi:** Tür farklılığı indeksi (KD) deşarj noktalarında büyükken daha ilerideki noktalarda küçüktür. Ötrofik göllerde yaklaşık olarak 5 "milyar ton/yıl" alg üremekte ve bunların tamamı göl tabanına çökmektedir. 1 kg ayrışırken 1.4 kg oksijen tüketmektedir. Bu durumda sadece alglerin ayrışması için gerekli yıllık oksijen miktarı 7 milyar tondur.

- **Alg Patlaması Frekansı:** Bir su ortamında sık sık alg patlaması meydana geliyorsa bu su ortamında ötrofikasyon başlıyor demektir. Özellikle ilkbahar aylarında Ömerli Baraj Gölünde alg patlaması meydana gelmesi bu rezervuar için tehlike çanlarının başladığını göstermektedir.
- **Kıyılardaki Bitki Örtüsü:** Ötrofikasyonun başlamasıyla kıyılardaki bitki örtüsünde aşırı derecede artma görülmektedir.
- **Fitoplankton ve Zooplankton Karakteristikleri:** Yüzeysel su yataklarının ötrofik hale gelmesi halinde birinci ve ikinci kademe üretici karakteristikleri değiştirmektedir.
- **Dip Faunası:** Ötrofik su ortamlarında dip faunasında değişimler gözlenmektedir.
- **Balık Sayısı ve Türleri:** Ötrofikasyonun başladığı sularda balık tür ve sayılarında azalma görülmektedir (Kahraman, 2003).

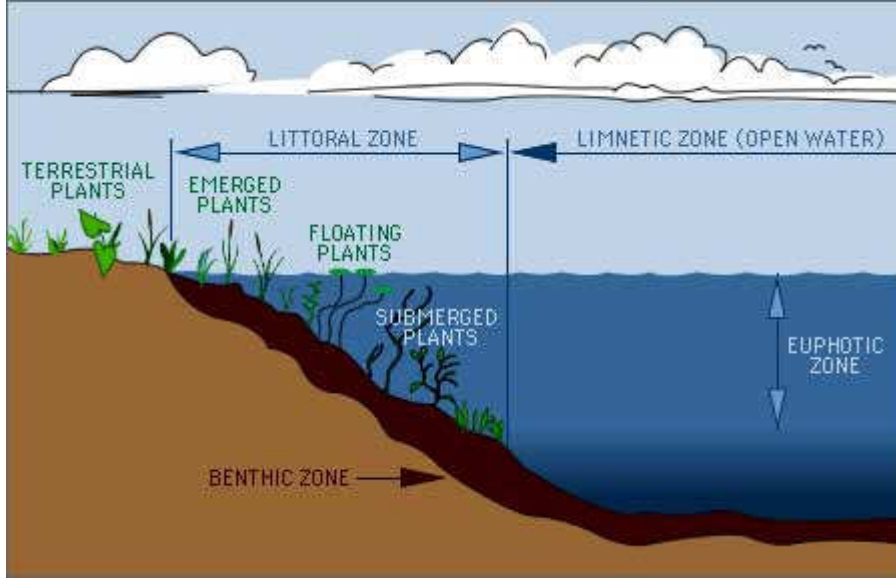
2.3.4 Göl ve Rezervuarlardaki Tabakalaşma ve Karışım

Göl ve rezervuarlara gelen ve buradan çıkan kirletici yüklerin oluşturacağı etki, uzun bir zaman dilimi içinde ortaya çıkmaktadır. Bu sistemlerdeki karışımı kontrol eden birincil faktörler arasında rüzgar ve sıcaklık gelmektedir.

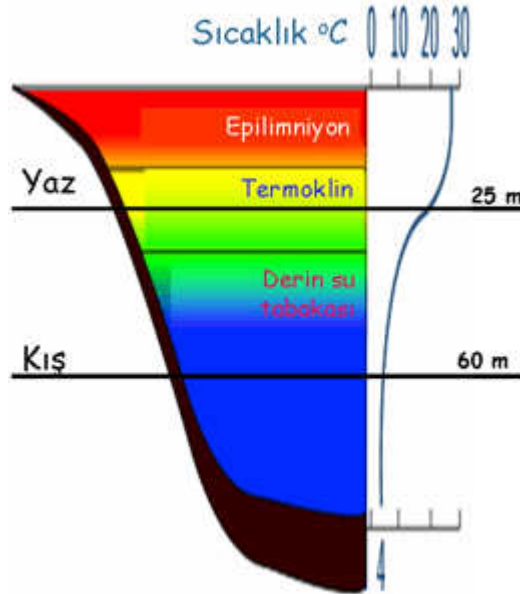
Göl ve rezervuarlarda ılıman havalarda, tam karışımın olduğu üst tabaka; epilimnion, karışımın zayıf olduğu alt tabaka; hipolimnion bu iki tabakayı ayıran ve sıcaklığın ani değişim gösterdiği ara tabaka; termoklin tabakası meydana gelmektedir.

Sonbaharda güneş ışığının azalması ve geceleri artan ısı kayıpları nedeniyle yüzeydeki su alttaki ılık sudan daha yoğun olduğundan aşağıdaki katmanlarla yer değiştirir. Bu, yüzeydeki su tabakasının en derindeki ile aynı sıcaklıkta olmasına kadar devam eder (4°C). Sonbaharda ters karışım olayından sonra yüzeyden dibe kadar su sütunu tamamen karışmış olur. Karışım, yüzey suyu donuncaya kadar devam eder. Soğuk rüzgârsız gecelerde sıcaklığın 0°C olmasıyla don olayı başlar.

Sığ göller ve rezervuarlarda tabakalaşma olduğu zaman, alg büyümeleri, bakteriyel aktiviteler ve dip çamurunun oksijen ihtiyacı gibi durumlardan dolayı sudaki oksijen seviyesi etkilenecektir (Güvensel, 2006).



Şekil 2.1 Göllerde bölgelendirme
http://pearl.maine.edu/windows/community/Water_Ed/Transparency/images/lakezones.jpg, Ağustos 2008).



Şekil 2.2 Göllerde sıcaklık tabakalaşması (<http://www.incikfali.net/termoklin.gif>, Ağustos, 2008).

3. ÖTROFİKASYON

Göl ve haznelerin, su hayatını besleyecek azot ve fosfor gibi elementlerle zenginleşerek kalitesinin bozulması olayına ötrofikasyon adı verilir. Bunun neticesinde su temini, rekreasyon, estetik v.s. maksatları için göl suları arzu edilmeyen bir karakter kazanır. Limnoloji (göl hidrolojisi) ilminde, göller biyolojik üretkenliklerine göre sınıflara ayrılırlar. Oligotrofik göller, besi maddeleri (nutrient) bakımından fakirdir, yani az beslenen su yataklarıdır. Bunların tipik örnekleri, suları soğuk ve berrak olup içinde pek az bitki ve balık yetişen dağ gölleridir. Pınarlarla beslenen kırsal tabanlı göller de bu sınıfa girer. Besi maddelerinde biraz artış, mezotrofik gölleri meydana getirir. Bunlar, orta derecede beslenen göllerdir. Burada su bitkileri görünmeye başlar. Su, yeşilimsi bir renk alır; orta derecede balık üretimi olur. Ötrofik göller ise besi elementleri bakımından zengindir (Çıplakoğlu, 2006).

3.1 Besi Maddesi Kaynakları

Organizmaların kullandıkları, bünyelerini yenilemek ve metabolizma faaliyetlerini sürdürebilmek için gerekli kimyasal maddelere “besi maddesi” denir. Besi maddeleri; azot, fosfor, karbon, hidrojen, oksijen, kükürt, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve eser elementlerdir.

Göle besi maddesinin girişi çeşitli kaynaklardan olur:

3.1.1 Nokta Kaynaklar

Besi maddesi miktarının doğrudan ölçülebildiği, kanalizasyon çıkışı gibi, kontrol edilebilen kaynaklardır (Belediye ve sanayi deşarjları).

3.1.2 Dağınık Kaynaklar

Besi maddesi miktarının doğrudan ölçülemediği, kontrol edilmesi zor olan tarım alanı, yüzey suları gibi kaynaklardır (Yağmur ve drenaj suları) (2006, Özecik).

Yüzey suları, yağmur ve rüzgar besi maddesinin taşıyıcı vektörleridir. Beslenme havzasının sızıntı ve yüzey suları, göllerdeki azot ve fosforun en önemli kaynağıdır. Suni gübreyle gübrelenmiş toprak, doğal bitki örtüsü altındaki topraktan gelen daha fazla besin maddesi potansiyeline sahiptir. Göl yüzeyine gelen, yağmur ve kar suları, çiçek tozları, endüstri tesislerinden gelen yollardan rüzgârla taşınan tozlar atmosferik yükü oluşturur.

Genellikle bir su kütlesine besi maddesi girişi; evsel atık sular, yüzeysel akışlar, atmosfer (yağmur) ve yer altı suyu (özellikle N) sızmaları sonucudur.

En önemli besi maddesi kaynağı evlerden ve bazı sanayi kuruluşlarından gelen kullanılmış sular ile meskûn ve tarım alanlarından gelen drenaj sularıdır. Besi maddelerinin dış kaynakları:

Başlıca dışarıdan gelen besi maddesi kaynakları;

- 1) Belediyeye ait atıklar
- 2) Endüstriye ait atıklar
- 3) Tarım bölgelerinden gelen yüzey akış suları
- 4) Ormanlık bölgelerden gelen yüzey akış suları
- 5) Şehirs el ve kırsal bölgelerden gelen yüzey akış suları
- 6) Atmosferik yağışlar (Özecik, 2006).

3.2 Ötrofikasyon ve Alg Kontrolü

Göl ve haznelerin, su hayatını besleyecek azot ve fosfor gibi elementlerle zenginleşerek kalitesinin bozulması olayına ötrofikasyon adı verilir. Bunun neticesinde su temini, rekreasyon, estetik v.s. maksatları için göl suları arzu edilmeyen bir karakter kazanır. Limnoloji (göl hidrolojisi) ilminde, göller biyolojik üretkenliklerine göre sınıflara ayrılırlar. Oligotrofik göller, besi maddeleri (nutrient) bakımından fakirdir, yani az beslenen su yataklarıdır. Bunların tipik örnekleri, suları soğuk ve berrak olup içinde pek az bitki ve balık yetişen dağ gölleridir. Pınarlarla beslenen kırsal tabanlı göller de bu sınıfa girer. Besi maddelerinde biraz artış, mezotrofik gölleri meydana getirir. Bunlar, orta derecede beslenen göllerdir. Burada su bitkileri görünmeye başlar. Su, yeşilimsi bir renk alır; orta derecede balık üretimi olur. Ötrofik göller ise besi elementleri bakımından zengindir. Mikroskopik alg, köklü su otları ve buna benzer bitkiler, dinlenme, yüzme ve su sporları gibi kullanma maksatları için, su özelliğini, arzu edilmeyen bir şekle sokar.

Ötrofikasyon olayı, sulardaki besin zincirleriyle alakalıdır. Alg yosunları, gelişmeleri ve üremeleri için, karbondioksit, inorganik azot, ortofosfat ve diğer besi elementlerine muhtaçtırlar. Bu bitkiler zooplankton denilen mikroskopik hayvanların besinlerini oluştururlar. Küçük balıklar zooplanktonlarla ve büyük balıklar, küçük balıklarla beslenirler. Sulardaki besin zincirleri ne kadar gelişmiş ve fazla üretken durumda ise, normal olarak sularda az miktarda bulunan azot ve fosfor elementlerinin miktarı da o kadar

fazla olur. Bitkisel üretim ve besin zincirlerinin tabii dengesi, besi elementlerinin miktarına bağlıdır. Bu maddelerin normalden fazla olması, dengeyi bozar ve zooplankton tarafından tüketilmesi kolay olmayan mavi - yeşil alglerin birden bire çok fazla miktarda üremesine yol açar. Dolayısıyla mavi yeşil alglerin ortamda gözükmesi ötrofikasyonun belirtisidir.

Ötrofikasyon sebebiyle sular bulanık bir hal alır. Suda yüzen alg kitleleri rüzgârlarla sahile vurur. Bunlar sahilde çürüyerek kötü kokular çıkmasına sebep olurlar. Çürüyen algler aynı zamanda çökelerек çözünmüş oksijenin azalmasına yol açarlar. Sahiller ve sığ körfezler, köklü su bitkilerinin çok fazla üremesi sonucu otlarla dolar. Sevilen kıymetli balıklar, bu elverişsiz şartlar altında artık daha fazla yaşayamazlar. Ötrofikasyon ilerlerken yerlerini daha dayanıklı, fakat istenmeyen türlere bırakırlar.

Fazla alg üremesi olmasa bile, gölün büyük yüzey alanı sebebiyle, rüzgar alan sahillerde fazla miktarlarda alg birikimi olur. Göl üzerini süpüren hafif bir meltem, alg yosunlarının balıksı kokularını sahile getirebilir. Güneş ışıklarının nüfuz ettiği epilimnion tabakasında gelişen algler, karanlık ve suları durgun olan hipolimnion tabakasında çökelişirler. Bu organizmaların ve organik taban çamurunun bakterilerle ayrıştırılması, taban bölgesinde çözünmüş oksijen miktarını azaltır. Bunun sonucunda bazı göllerde ticari balık üretimi engellenebilir. Ayrıca epilimnion da alg üremesi ve hipolimnion da anaerobik ayrışma olayı dolayısıyla meydana gelen tat ve koku, içme suyu arıtımını zorlaştırır. En kötüsü, göl bir defa ötrofik hale geldikten sonra, nokta kaynaklardan besi maddesi girişi azaltılsa dahi, artık uzun zaman, bu durumun devam etmesidir. Bazı nehir ağızları da göller gibi, besi maddesi girişlerine maruz kalarak ötrofik hale geçebilmektedir, ötrofik bir gölü besleyen kaynaklar, genellikle, göle dökülen atıksular ile, suni gübrelerin kullanıldığı arazilerden gelen yağış sulandır. Suları temiz ve berrak olan rezervuarlara besi elementlerinin girişi, aşırı miktarda bitki yetişmesine ve makbul olmayan balık türlerinin artmasına yol açar. Etrafı otların sarması, sığ sularda yüzmeyi ve su sporlarını engeller. Suları bulanık olan haznelerde ise durum farklıdır. Özellikle küçük haznelerde sular, kolaylıkla bulanık hale gelebileceğinden, suya ışık nüfuz edemez. Bu sebeple bitkisel üretim ve alg yetişmesi daha az olur. Besi maddeleri bol miktarda mevcut olsa bile, güneş ışığının eksikliği sebebiyle fotosentez yetersiz olur. Fakat bu halde de aşırı bulanıklılığın içme suyu temini ve balıkçılık için mahzurlu olduğunu belirtmek gerekir.

Mikroskopik alg, köklü su otları ve buna benzer bitkiler, dinlenme, yüzme ve su sporları gibi kullanma maksatları için, su özelliğini, arzu edilmeyen bir şekle sokar (Çıplakoğlu, 2006).

3.3 Ötrofikasyonu Belirleyen Parametreler

Epilimnion ve hipolimnion tabakasında ötrofikasyonu belirleyen parametreler bulunur:

a-) Epilimnion tabakasında;

- İlkbahar başlangıcındaki fosfor konsantrasyonu,
- Askıda organik madde ve askıdaki azot,
- Klorofil-a konsantrasyonu,
- Boyutlar ve fitoplankton yoğunluğu,
- Fitoplanktonun kütlesi,
- Sulardaki ışık yoğunluğu,
- Seki diski derinliği değeri,
- Birincil üretim seviyesi,
- Algin büyüme potansiyeli.

b-) Hipolimnion tabakasında;

- Durgun periyodun sonundaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu,
- Çözünmüş oksijenin üretimi,
- BOD₅ konsantrasyonu ve,
- N ve P konsantrasyonu

(Özecik, 2006).

3.4. Ötrofikasyonu Etkileyen Faktörler

3.4.1 Fiziksel Faktörler

- Işık: Diğer bütün fiziksel, kimyasal ve biyolojik şartlar hazır olsa bile ilk üretimin gerçekleşebilmesi için mutlaka ışığa ihtiyaç bulunmaktadır. Çünkü ilk üretimin temel mekanizması fotosentezdir.

Güneş ışığı, su ekosistemlerinde en önemli fiziksel ve biyokimyasal prosesler için bir motor ve bir hareket gücüdür.

Ekosistemdeki üretim ve solunum arasındaki biyolojik denge, oksijen temini ve oksijen tüketimi arasındaki dengeye bağlıdır. Tabakalaşmış göllerin derin kısımlarında, yüzücü su

bitkileri veya yoğun bir alg tabakası ile su yüzeyinin kaplandığı su yataklarında, gece saatlerinde veya yüzeyi buzla kaplı göllerde olduğu gibi ışığın olmadığı durumlarda sadece solunum söz konusudur. Bu durumda sadece oksijen tüketimi olacağından biyolojik denge bozulmaktadır.

Su yataklarındaki ışık sadece bitkiler açısından değil, hayvanlar açısından da önemlidir. Işık sayesinde zooplanktonların görme duyuları gelişmekte ve bu sayede besinlerini temin edebilmektedirler. Diğer taraftan gündüzleri tehlikeleri görerek kaçıp uzaklaşabilmektedirler.

Uzun dalga boyuna sahip ışınlar su kitlesinin en üstündeki 1 metrelik derinlikte absorbe edilmektedir. Alt tabakaların ısınması, esas itibarıyla, konveksiyon akımlarıyla gerçekleşmektedir.

Sulan temiz olan derin göllerde alt tabakalara sadece mavi yeşil ışık ulaşabildiğinden (diğerleri daha uzun dalga boyuna sahip olduklarından üst tabakalarda absorbe edilmektedirler.) derin noktadaki bütün objeler ve su mavi yeşil renklidir.

Bir su ortamının ışık geçirgenliği (light transperence) ışığın hangi derinliğe kadar nüfuz edebildiğini ifade eden bir kavramdır. Su en büyük ışık geçirgenliğine saf halde iken ulaşmaktadır. Saf sudan oluşan bir ortamda su yüzeyine gelen ışığın %50'si 17,75 metre derinliğe kadar ulaşmaktadır. Yine saf sudan oluşan bir ortamda 118 metre derinliğe ışığın ancak %1'i ulaşmaktadır. %1 ışık seviyesinde fotosentez hızı solunum hızına eşittir. Bu seviyeye ışık dengeleme seviyesi (light compensation level) adı verilmektedir. Bu seviyenin üstünde fotosentez hızı solunum hızından yüksek, altında ise düşüktür.

Üretim ve solunum arasındaki denge ortamdaki tüketime de bağlıdır. Bu denge ötrofik göllerin alt kısımlarında çözünmüş oksijen sıfıra düştüğünden bozulmaktadır. Ötrofik göllerin alt tabakalarında ve yüzeyi buzla kaplı su ortamlarında su bitkilerinin aşın derecede çoğalması ışığın suya nüfuziyetini azaltacağından fotosentezle kazanılan oksijenin solunumla tüketilen oksijeni karşılayamamasına yol açmaktadır. Suyun berrak olması bulanıklığın az olduğunu göstermekte olup gölün oligotrofik fazda olduğuna işaret etmektedir.

- **Sıcaklık:** Sıcaklık tüm biyolojik faaliyetleri etkileyen bir parametredir. Biyolojik faaliyetlerin hızı, 30°C'den sonra ise azalarak bir süre sonra tamamen durmaktadır. Su kütlelerinin ısınması üst tabakada tutulan uzun dalga boylu ışınların absorpsiyonu ile gerçekleşmektedir. Alt tabakaların ısınması ise karışımla (konveksiyonla) gerçekleşmektedir. Fotosentezin gerçekleşmesi için mutlak surette enerjiye ihtiyaç

bulunmaktadır, bu enerji ise güneş ışığından sağlanmaktadır. Özetle su kütlesi güneş ışığı ile ısınmakta, buharlaşma, ısı transferi, fotosentez ve soğuk suların karışımı ile soğumaktadır.

Sıcaklık arttıkça gaz ve tuzların sudaki çözünürlüğü artmakta, buna karşılık doygunluk değeri azalmaktadır. Dolayısıyla kirletici maddelerin konsantrasyonları da bir ölçüde sıcaklıktan etkilenmektedir. Difüzyon (maddenin ortamda moleküler kuvvetler ve/veya türbülans etkisiyle yayılması) sıcaklıkla artmaktadır. Sıcaklık arttıkça gazların atmosferden su ortamına geçme hızları azalmakta, su ortamından atmosfere gaz çıkışı hızlanmaktadır. Basınç arttıkça su ortamındaki çözünmüş gaz miktarı artmaktadır.

Dolayısıyla deniz seviyesine yakın göllerde gazların çözünürlüğü daha fazladır. Su ortamının tabanında bulunan organik maddelerin ayrışma hızı da sıcaklığa bağlıdır. Ayrışma hızı sıcaklıkla artmaktadır. Ayrışma sonucu ortaya çıkan gazlar sıcaklık arttıkça daha yüksek oranda yukarıya doğru yükselmektedir.(Haliç yüzeyinde yaz aylarında gaz kabarcıkları daha fazla görülmekte, koku daha fazla hissedilmektedir.) Derin su yataklarında (özellikle göllerde) sıcaklık tabakalaşması (stratification) meydana gelmektedir. Çünkü derin kısımlarda su sıcaklığı daha düşük olup yoğunluklar daha fazladır. Üst kısımlarda ise sıcaklık arttığından yoğunluk azalmakta, bu da üst ve alt tabakalardaki suyun karışmasını önlemektedir. Ancak ilk ve sonbahar aylarında yüzeydeki su sıcaklığı 4°C civarına gelince tabana doğru hareket ederek karışımı sağlayabilmektedir. Bunun doğal bir sonucu olarak bahar karışımlar esnasında besi maddeleri de gölün her tarafına yayılmakta ve özellikle ilkbahar aylarında alg patlamaları görülmektedir.

Sıcaklığın artışıyla yoğunluk azaldığı gibi kinematik viskozitede azalmaktadır.

Sıcaklık tabakalaşması su ortamındaki canlı hayatı önemli ölçüde etkilemektedir. Sıcaklık tabakalaşması meydana gelen tatlı su ortamlarında (göllerde) üç ayrı katman görülebilir. En üstte sıcaklığın mevsimsel olarak değiştiği Epilimnion Tabakası en altta ise sıcaklığın hemen her mevsim sabit ve 4°C civarında Hipolimnion (Durgunluk) tabakası bulunmaktadır. Mevsimlik su sirkülasyonu ve biyolojik faaliyetler Epilimnion tabakasında meydana gelmektedir. Epilimnion tabakasının kalınlığı 10–15 metre mertebesinde. Ototrofik göllerde Hipolimnion tabakası geniş ve daima aerobiktir. Eğer hipolimnion tabakası zamanla küçülürse su yatağı giderek bataklık haline gelmektedir. Bu iki tabaka arasında ise kalınlığı diğerlerinden daha az olan ve ani sıcaklık değişimi görülen Termoklin (Mezolimnion) Tabakası mevcuttur. Termoklin tabakasına Geçiş Tabakası da denilmektedir. Bu tabakada su sıcaklığı her metrede yaklaşık 1°C azalmaktadır.

- **Rüzgâr:** Su ortamının karışımını, dolayısıyla besin maddeleri ve oksijen her tarafa yayılımını sağlamaktadır. Ayrıca atmosferle su yatağı arasındaki gaz transferine de yardım etmektedir.
- **Su yatağının geometrisi (şekli):** Girinti çıkıntı arttıkça sahil uzamakta, bu da su yatağında daha fazla bentik bitki üremesine yol açmaktadır.
- **Coğrafi konum:** Fotosentez için radyasyon alma ve sıcaklık açısından önemlidir.
- **Sızma:** Besin maddelerinin su ortamından sızarak uzaklaşması bakımından önemlidir.
- **Buharlaşma:** Buharlaşmanın fazla olması su yatağından su kaybını arttırmakta, bu da daha hızlı bataklık haline gelmesine yol açmaktadır.
- **Epilimnion/Hipolimnion Oranı:** Bu oran derinlik veya hacim bazında belirlenebilir. Bu oran büyüdükçe su yatağının daha hızlı ötrofik hale gelme ihtimali artmaktadır.
- **Dipteki Sedimentin Fiziksel Özellikleri:** Besin maddelerini veya çökelen diğer kirleticileri tutabilme özellikleri açısından önemlidir.
- **Kıyıların Şekli ve Morfolojik Yapısı:** Kıyılarda girinti çıkıntının artması, sahillerdeki su derinliğinin nispeten sığ olması, kıyılarda köklü bitkiler yetişebilmesi, kıyılardan daha fazla allakton madde girmesi gibi etkenler ilk üretim hızına tesir etmektedir. Eğer su yatağı dairesel şekilli ise orta kısımlara kirleticinin ulaşması daha geç olacaktır, ayrıca su yatağı daha fazla güneşe maruz kalacaktır.
- **Türbülans:** Türbülansı fazla olan su yataklarında besin maddeleri daha hızlı ve homojen olarak karışır. Durgun ortamlarda ise lokal alg patlamaları daha fazla görülür.
- **Debi:** Su yatağına giren ve çıkan toplam su debisi fazlaysa ortam daha hızlı bir şekilde yenilebilecek demektir. Debinin fazla olması suyun hidrolik bekletme süresini arttırır. Su sirkülasyonunun az olması kirleticilerin su yatağında daha uzun süre kalmasına yol açmaktadır. Kirleticinin birikmesi giren suyun kalitesine de bağlıdır.
- **Akıntıların Mekanik Özellikleri:** Su ortamında sürüntü maddesi ile birlikte inorganik besin maddesi taşınması açısından önemlidir.
- **Tabandaki siltlerin su ortamına geçme oranı:** Şiltlerle birlikte su yatağındaki ilk üretimi hızlandıracak besin maddelerinin de su ortamına taşınması açısından önemlidir.
- **Taşma hacmi-Su yatağı hacmi oranı:** Bu oran ne kadar büyükse kirleticiler su ortamında o kadar uzun süre kalacaklar demektir.

- **Derinlik:** Tabakalaşmanın meydana gelmesi açısından önemlidir.
- **Bulanıklık:** Işık geçirgenliğini azalttığından fotosentez hızını olumsuz yönde etkilemektedir. Bulanıklığın en önemli sebepleri sürüntü maddeleri ile taşınan askıda ve su yatağında meydana gelen üretilerdir.
- **Tabakalaşma:** Derinlik, yoğunluk ve/veya sıcaklık tabakalaşması olması halinde tabana çökelen maddeler ayrışırken oksijeni kullanarak ortamı anaerobik yapmaktadırlar.
- **Rakım:** Işığın ve radyasyonun etkisi ile ilgilidir. Düşük rakımlı bölgelerde nem fazla olduğundan suya nüfuz eden ışık miktarı azalmakta su yüzeyinde tutulan veya yansıyan ışık miktarı artmaktadır. Radyasyon miktarı da rakıma bağlıdır. Sıcaklık da rakımla ilgilidir (Kahraman, 2003).

3.4.2 Kimyasal Faktörler

3.4.2.1 Çözünmüş Oksijen

Çözünmüş oksijen, çoğu aquatik organizmanın teneffüs metabolizması için gerekli bir ihtiyaçtır. Göllerdeki oksijen dağılımının dinamiği esas olarak atmosferden ve fotosentezden kazanılan oksijen ile kimyasal ve biyolojik oksidasyon proseslerinde kullanılan oksijen arasındaki denge ile sağlanır. Oksijen miktarı sadece organizmaların direk ihtiyacı olması açısından değil, birçok besin maddesinin elde edilebilirliği, çözünürlüğü ve dolayısıyla aquatik ekosistemin verimliliği açısından da önemlidir.

Oksijenin çözünürlüğü, sıcaklığın ve tuz miktarının artmasıyla ve yüksek bölgelerdeki düşük atmosferik basınç nedeniyle azalmaktadır.

Tabakalı göllerdeki oksijen konsantrasyonu, çözünürlük, hidrodinamik yapı, biyojenik girdiler ile kimyasal ve metabolik oksidasyon reaksiyonlarına bağlı olan kayıpların arasındaki etkileşimlerin sonucuna bağlı olarak değişiklik gösterir.

Üretimin olmadığı oligotrofik göllerde veya yaz aylarında katmanlaşma görülen minerallerce zengin asidik sularda, epilimnion tabakasındaki oksijen miktarı sıcaklığın artmasıyla bir azalma gösterir. Hipolimniondaki oksijen miktarı da epilimniondaki oksijen miktarından fazla olur.

- a) Aşırı oligotrofik göl suyu veya herhangi bir sebepten dolayı düşük üretim gösteren göllerdeki çözünmüş oksijen profili. Hipolimniondaki oksijen miktarı sıcaklığa bağlı olarak epilimniondakine göre fazlalık gösteriyor.
- b) Altında bir çıkış vanasına sahip olan rezervuarlar, hipolimnik oksijenlerini aittaki suyun uzaklaşmasıyla azaltırlar. Çoğu içme suyu rezervuarlarında hipolimnion tabakası en azından yaz mevsimindeki durgunlaşma periyodu esnasında komple bir değişime uğrar.
- c) Metalimnik olarak oksijene süper doymuş şekildeki oligotrofik ve mezotrofik göller. Metalimnion tabakası oksijen kaybı nedeniyle ani olarak ısınır. Geçirgen tektonik bölgedeki alglerden kalan biyogenik oksijen birikimi.
- d) Metalimnik oksijen miktarı minimum olan derin ötrofik göller.
- e) Tuzlu meromiktik göller. Uzun yıllar boyunca oksijen tüketimine bağlı olarak monimolimnion tabakası tamamıyla anoksik olmuş ve zehirleyici seviyede H_2S içermektedir.
- f) Otlarla karışık sığ göller. Su altındaki bitkiler gün boyunca pelajik bölgeye oksijen sağlamaktadırlar. Onların rizomları ışıklı ve oksijen noksanlığının bulunduğu bölgelere yerleşmiş ve arensimalarına bağlı olarak oksijen temin etmekte.

Özet olarak; ötrofikasyon ile oksijen miktarı arasında sabit bir ilişki vardır. Bu ilişkide faktörler, kanalizasyon atıklarından ve zirai uygulamalardan kaynaklanan dış kaynaklı olmasına veya suyun içinde meydana gelen iç proseslerden kaynaklanan iç kaynaklı olmasına bakılmaksızın, organik maddenin solunumu sonucu ortaya çıkan oksijen ihtiyaçlarından kaynaklanan faktörlerdir.

Çözünmüş oksijen miktarı 0.2 mg/L nin altına düşünce, demir iyonlarıyla bağlı bulunan fosfor, sülfür bağından daha stabil halde olan demir bağlan şeklinde çözeltiye karışır. Bu iç gübreleme şeklindeki reaksiyon, alglerin gelişmesini teşvik eder, bu da hipolimnik oksijenin kullanım hızını artırır (Kahraman, 2003).

3.4.2.2 İnorganik Karbon

Karbon, birçok değişik formda bulunabilmesine rağmen iç sularda karbon, karbonik asidin dengesi şeklinde, CO_2 , HCO_3^- ve CO_3^{2-} formlarında bulunur. Kireç-karbonat sistemi de en önemli tamponlama mekanizmasıdır. Nötral bölgede HCO_3^- , CO_3^{2-} iyonları şeklinde bulunan pH değeri, sisteme giren her H^+ ve OH^- iyonunu nötralize etme kabiliyetine sahiptir.

Eğer denge durumunda CO_2 , HCO_3^- ve CO_3^{2-} içeren kalsiyum bikarbonat çözeltisi, mesela alglerin özümlemesi sonucu CO_2 parçasını kaybederse, nispeten çözünmez durumda olan CaCO_3 çökelir ve denge durumu yeniden şu hale gelir.



Bu kalsit çökmesi daha sonraları sert sulara sahip olan göllerde ötrofikasyonun azalmasının en önemli düzenleyicisi olur. Durgun yaz döneminde CO_2 'nin fotosentetik olarak uzaklaştırılması epilimnion tabakasında bir yumuşama etkisi gösterir. Litoral bölgedeki bitkilerin üzeri bir kireç tabakası ile kaplanır. Ayrıca mavi-yeşil algler de kireç çökmesine neden olurlar. Epilimnion tabakasını alt kısımlarında yer alan kireç bir süre çok stabil bir durumda kalır. Bu durum eğer metabolik prosesler tarafından çökelmenin olmaması durumunda devam eder.

Kireç çökmesinin etkileri şunlardır:

- Yoğun kireç çökmesi periyodu, fitoplanktonların birincil üretimi üzerinde olumsuz etkiye sebep olur. Epilimniondaki kalsit konsantrasyonunun maksimum olması hipolimniondaki sedimantasyonunun da maksimum olmasına neden olur.
- Epilimniondaki kireç çökmesi, partikül haldeki fosforun azalmasına neden olur.
- Kalsit konsantrasyonunun artmasıyla, ötrofik bölgedeki geçirgenlik veya seki derinliği azalacağından, ışık, bir haftadan üç haftalık süreye kadar üretimi sınırlayıcı faktör haline gelir.
- Kireç çökmesi, birincil üretimi sınırlayıcı bir faktör olan çok düşük karbondioksit konsantrasyonu ile yalandan ilişkilidir. Bu etki daha az etkiye sahip olarak düşünülür. Çünkü sert suya sahip olan göllerde bikarbonat kaynağı her zaman mevcuttur.
- Sedimentteki değişik kireç miktarlarının, aynı zamanda besin maddesi bağlama ve tekrar çözülme işlemlerindeki farklılıklarla da ilişkisi vardır.

Politrofik ve hipertrofik göllerde çoğu zaman, alg patlaması ve diğer bitkilerin çok gelişmesi sonucunda pH miktarında da bir artma görülür. Bikarbonatın tamamen kullanılması sonucu, kalsiyum karbonat, kalsiyum bikarbonata ve kalsiyum hidroksite dönüşür. Bu da pH'ın 11'e kadar yükselmesine neden olur. Sonuçta balık ölümleri ve yeraltında bitkilerin zarar görmesi söz konusu olmaktadır. Ekolojik olumsuzlukların yanında bu olay balıkçılar için dinlenme amaçlı kullanımlar açısından su kullanılamaz hale gelir.

Karbondioksitin hipolimniondaki birikimi, biyolojik üretimin bir göstergesi olarak kullanılabilir.

Yumuşak suya sahip olan daha derin göllerde CO₂ benzer şekilde solunum sonucunda serbest hale geçer, ancak bu CO₂ kireç çökmesinde kullanılamaz. Bikarbonat iyonunun düşük konsantrasyonlarda bulunmasından dolayı, serbest CO₂'nin tamamı karbonik asit formuna dönüşür. Ötrofikasyonun artmasıyla, karbonik asit miktarı da artar. Bu da iletim borularının aşındırıcı etkilere karşı korunması için ilave kireç arıtma işlemlerini gerektirir.

Serbest sülfürik asit, pirit ve markazitin aşındırması sonucu ortaya çıkan mineral faaliyetleriyle oluşan genç su kütlelerinde üretilir. Bu olay pH'ın 4.0'ın altına düşmesine neden olur. Artık ortamda hidrojen karbonu kalmamıştır. Bu gibi durumlarda karbon gelişmeyi sınırlayıcı faktör olarak ortaya çıkar.

Bu durumda azot ve fosfor gibi maddelerin ortamda bulunması sonucu değiştirmez. Azot ve fosfor kullanılamayınca genel olarak birikmeye başlarlar. Kireç artması şeklinde herhangi bir ekoteknik işleme girişmeden önce esidotrofik gölün daha olumsuz bir şekilde ötrofik bir şekle girip girmeyeceğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Asidik sular banyo amaçlı kullanılması durumunda alkali sulara tercih edilirler.

Sonuç olarak ötrofikasyonla inorganik karbon arasındaki ilişkiyi şöyle özetleyebiliriz:

- Biyojenik kireç azalması, ötrofikasyonu sınırlayan doğal bir süreçtir.
- Göldeki kireç miktarı, su kalitesinin iyileştirilmesi için kullanılabilir.
- Aşırı bikarbonat özümlemesi, alkali reaksiyonlara ve balık ölümlerine neden olur.
- Hipolimnik CO₂ birikmesi, biyolojik üretimin bir göstergesidir.
- CO₂, HCO₃⁻ ve CO₃²⁻ bir tampon sistemi oluştururlar.
- Ayrıca yumuşak suya sahip göllerin sularının sertliğinin nasıl artabileceğini,
- Fotosentezin asidotrofik su bünyesinde inhibisyonunu,
- Karbonun gelişmeyi sınırlayıcı bir faktör olduğunu öğrenmiş bulunmaktayız (Kahraman, 2003).

3.4.2.3 Fosfor

Fosfor ana bitki besin elementleri grubuna dâhil olup, organizmaların tamamının metabolizmasında, gerek nükleik asitlerin bir bileşeni, gerek (ADP-ATP) enerji reaksiyonlarının bir elemanı, gerekse kemik yapısında yer alan bir bileşen olarak önemli bir

rol oynar. Birçok mineralin içinde bulunmasına rağmen az çözünür olması, makro besin elementleri arasında en düşük konsantrasyonlu olmasına ve çoğu zaman gelişmeyi sınırlayıcı faktör olmasına sebep olmuştur. Özellikle oligotrofik ve mezotrofik göllerde, fosfor biyolojik üretimin seviyesini belirleyen element olmuştur. Tipik bir gölde dışarıdan gelen fosfor girdileri fitoplanktonların ihtiyacının büyük bir kısmını karşılar. Ancak göl ortamında fosfor döngüleri yine de büyük önem taşır.

Fosfor tabii sularda fosfatlar halinde bulunur. Bunlar ortofosfatlar, kondanse fosfatlar ve organik fosfatlardır. Kondanse fosfatlar temizleme aracı olarak deterjanlardan; ortofosfatlar zirai amaçla kullanılır ve yağmur sularıyla taşınırlar; organik fosfatlar ise biyolojik faaliyetler sonucu oluşurlar. Bitkiler genellikle fosfatı ortofosfat şeklinde kullanırlar. Fosforun elde edilebilirliğini azaltan faktörlerden biri de onun kil mineralleri, kolloidler ve diğer karbon hidroksitler gibi özel maddelerin üzerinde anyon olarak adsorbe olmasıdır. Gelişme periyodu boyunca, fosforun büyük bir bölümü, organik fosfatlar ve organik kolloidler üzerinde adsorbe olmuş şekilde canlı ve ölü organizmaların hücrelerinin bileşeni olarak bulunurlar. Ötrofikasyonun artmasıyla birlikte, sedimentteki organik fosfor oram artmaktadır. Bu sebeple allaktonik fosfor girişi, biyolojik proseslerdeki elde edilebilirliğine bağlı olarak değişik ötrofikasyon eğilimleri göstermektedir.

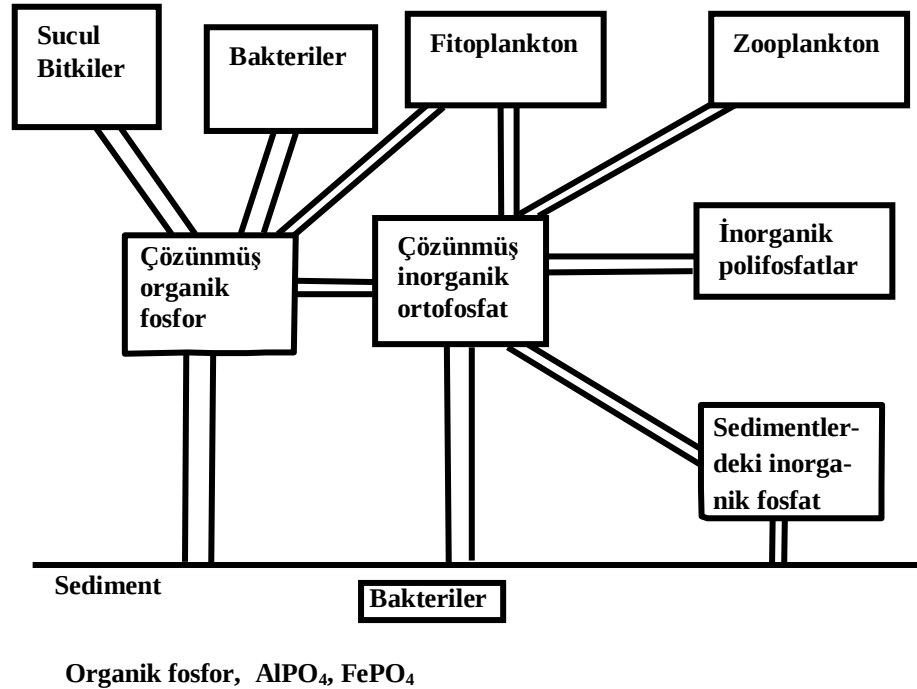
Fosfat taşınımı ve sucul ortamdaki döngüleri demir elementinin çevrimine bağlıdır ve suyun redoks potansiyelinin derinlikle değişiminden etkilenir. Derin su bölgelerindeki redoks yoğunluğu, oksijen transferine ve alt tabakalardaki sulara verilen parçalanabilir materyal miktarına bağlıdır. Yüksek redoks potansiyelinde Fe III, fosfatla kimyasal reaksiyona girerek çözünmeyen bileşikler oluşturur. Fe III fosforun derin sulardaki çökmesini sağlayan bir unsurdur. Düşük redoks potansiyelinde Fe III'ün Fe II'ye indirgenmesinden sonra bu elementler çözülebilir duruma dönerler. Fe III ile fosfatın kimyasal reaksiyonundan dolayı fosfor aerobik koşullarda daha verimli çöker.

Fosforun ılıman sıcaklıktaki göllerdeki davranışı onun konfigürasyonuna, gölün katmanlaşma durumuna ve gölün trofik seviyesine göre değişiklik gösterir. Soğuk mevsimlerde genellikle ışık, alg gelişmesini sınırlandıran faktördür. Bu sebeple besin maddeleri yeteri kadar organik madde üretemez.

Sonuç olarak kışın sonu ile bahar karışımının başlangıcı arasında en yüksek ortofosfat seviyesine ulaşılır. Bu olaya fosfor seviyesinin başlangıcı denir ve göllerin sınıflandırılmasında anahtar parametre budur. Sert suya sahip göllerde fosforun bir kısmı kalsitle beraber çökerek biyolojik üretimden uzaklaşmış olur.

Oligotrofik göllerde 1 mikrogram/L'den fazla, ortofosfat fosforu bulunmaktadır. Bahar mevsiminde sık sık görülen fitoplanktonların aşırı çoğalmaları, ortofosfat miktarının aniden düşmesine neden olur. Tabakalaşma görülen aerobik hipolimnion tabakasına sahip göllerde fosfat içeren biyokütle sedimentlere kadar iner. Anaerobik hipolimnion tabakasında ise dipteki suda fosfat konsantrasyonunda bir artış gözlenir. Bu artış çözünebilir fosfor fraksiyonundan kaynaklanır. Bu da çöken fitoplanktonların parçalanmasıyla ve sedimentlerin indirgenmesi sonucu fosfatın ortaya çıkmasıyla ilgilidir. Gölün alt-üst olması sırasında sedimentlerden gelen fosfor gölün her tarafına yayılır. Bununla beraber, epilimniondaki alg gelişmesi fosforun sınırlayıcı faktör olmasına kadar devam eder (Kahraman, 2003).

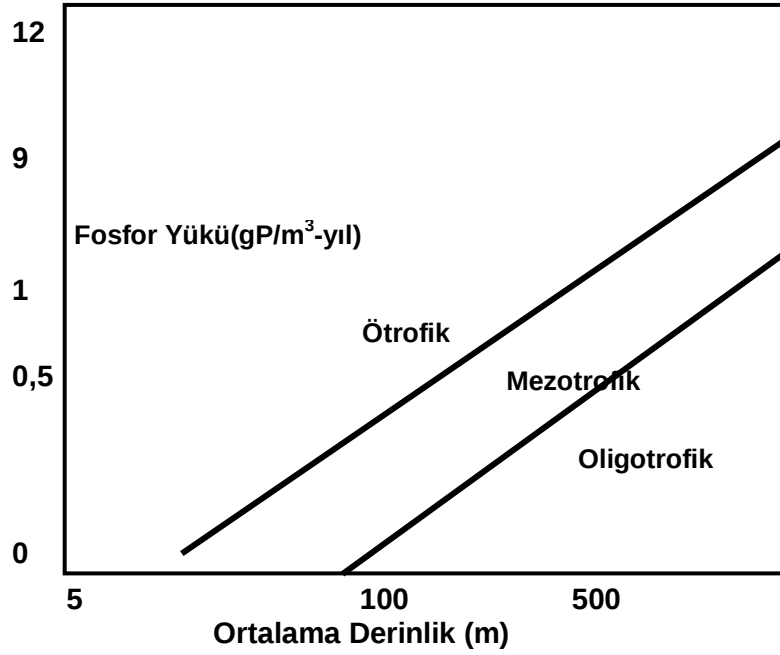
Sonbahar karışımı boyunca suyun hipolimnion yapısının tekrar karışması, ortofosfat için geçici bir yüksek konsantrasyona ulaşmaya sebep olur. Ferrous demiri okside olarak ferrik hidroksifosfat şeklinde çöker. Çoğu politrofik göllerde, sirkülasyonun yıl boyunca devam etmesi sonucu, yaz boyunca sedimentin üzerindeki su aerobik olsa bile sedimentten yoğun bir fosfor hareketliliği görülür (Kahraman, 2003).



Şekil 3.1 Su ortamında fosfor (Kahraman, 2003).

Çizelge 3.1 Okyanuslarda ve tipik bir gölde fosfor bilançosu (Kahraman, 2003).

	Okyanus g.P/L	Göl g.P/L
Toplam Fosfor	70	1000
Fitoplankton tarafından kullanılan miktar (yıllık)	0,77	1300
Akarsu, atık ve drenajın katkısı (yıllık)	0,008	730
Sedimentte kaybedilen (yıllık)	0,008	180
Çıkış suyunda kaybedilen (yıllık)		550



Şekil 3.2 Azofil nütrient yüklemesi, ortalama göl derinliği ve zenginleşme derecesi arasındaki ilişki (Kahraman, 2003).

Hiçbir kolektif parametre, tek başına yüzeysel sudaki nütrient yüklemesiyle bunun sonucu oluşacak zenginleşme süreci ilişkisini ortaya koyamaz, bu ilişki birçok faktörlerden etkilenir (Şekil 3.2). Özgül nütrient yüklemesiyle ($\text{g P/m}^2/\text{yıl}$), ortalama göl derinliği ve zenginleşme derecesi arasında çok kaba bir korelasyon yapmak mümkündür. Şekilde bu ilişki fosfor sınırlayıcı nütrient olarak düşünülerek noktalanmıştır.

Fosforun Sedimentlerle Değişimi: Fosfatın sedimentler ve üzerindeki su tabakası arasındaki dağılımı, alg üremesi açısından önemlidir. Yüzeysel suların sedimentlerinde, özellikle ötrofik göller ve körfezlerdeki sedimentlerde önemli miktarlarda fosfat bulunur. İnorganik katı fosfor türleri, ya doğrudan Ca, Al ve Fe bileşenleriyle çökelmelerden ya da sedimentler içindeki kimyasal reaksiyonlardan oluşur. Kil, fosfat için iyi bir süpürme maddesidir. Sedimentteki bağlı fosfor miktarı, kil miktarıyla orantılı olarak artar. Ötrofik

göllerden alınan örneklerde 0.08 ile 10.5 (g çözünebilir P/m³ başsu) arasında değerler ölçülmüştür. Daha az ötrofik karakter taşıyan göllerde bu derişimler, 0.06-0.15 g P/m³ mertebesinde olmaktadır. Oligotrofik göllerde başsuda bulunan çözünmüş fosfor, sedimentteki katı haldeki fosforla denge durumunda değildir (Kahraman, 2003).

Derin göllerde, sedimentlerden suya geçen ve epilimniona transfer olan fosfor, sığ göllerdeki miktarlarla kıyaslandığında, küçüktür. Vollenweider, takriben 50 m derinliğe sahip olan bir gölün gerçek fosfor yüklemesi, 500 mg P/m²/yıldan fazla ise bu gölü "ötrofik" olarak sınıflandırmıştır. Bu durum (1.4 mg P/m²-gün) üst limit değer olarak tahmin edilen, sedimentlerden üst sulara transfer olan fosfor hızı 0.53 mg P/m²/gün değeriyle kıyas edilebilir. Söz konusu değerler çok sığ olmayan göller için geçerlidir. Bundan ötürü, derinlik arttıkça sedimentlerden üst sulara gelen fosforun bağıl katkısı önemini kaybeder ve sedimentlerin yardımcı etkisi (sedimentler vasıtasıyla sudan net fosfor giderimi) daha önemli olur. Körfezlerde ve sığ sularda sık sık uygulanan kazma yoluyla dip sedimentlerinin uzaklaştırılması işlemi, göl restorasyonu açısından uygun değildir ve göle son derece zarar verir. (2003, Kahraman)

3.4.2.4 Azot

Azot bütün canlıların hücre protoplazmasının bir bileşenidir. Fosfordan sonra, azot bütün makrobesin elementleri içinde en önemli madde olup bazı durumlarda büyümeyi sınırlayıcı faktör olarak da rol oynar. Azot bileşikleri su kirliliği açısından çeşitli etkiler yaparlar. Bunların başlıcaları, ötrofikasyon, oksijen bilançosunun etkilenmesi ve içme sularındaki toksikolojik sorunlardır. Azot çevriminin ana elemanları 19'uncu yüzyılın ikinci yarısında belirginliğe kavuşmuştur. Bu çevrimdeki en önemli aşamalar moleküler azotun bağlanması amonyaklaşma, nitrifikasyon ve denitrifikasyondur. *Amonyaklaşma* olayı gerek anaerobik gerekse de aerobik ortamlarda gerçekleştirilebilir. Her iki halde de büyük protein molekülleri proteolitik ekoenzimler yardımı ile önce polipeptitler ve sonra peptidazlar sayesinde aminoasitlere parçalanırlar. Bu parçalanma sırasında aminoasitler NH₂ gruplarını amonyağa veya başka bileşiklere kaybedebilirler. Anaerobik koşullarda protein moleküllerinin ancak bir kısmı amonyağa dönüşür. Fosfor döngüsünün aksine azot döngüsü atmosfere açık bir döngüdür. Amonyaklaşma süreci içinde oluşan amonyum iyonları bir yandan bitki besi maddesi olarak tüketilirler. Öte yandan da oksijenli ve yeterli tampon kapasitesi olan ortamlarda belirli kemolitototrof organizmalar tarafından nitrit ve daha sonrada nitrate yükseltgenirler. Azot döngüsü sırasında bu nitrifikasyon reaksiyonları büyük önem taşır. Nitrifikasyon hem ototrof hem de heterotrof bakteriler tarafından

gerçekleştirilebilmektedir. Nitrit oluşumu sırasında oksitlenen her amonyum iyonu için 2 H^+ iyonu ortaya çıkar. Sucul sistemlerde bu, HCO_3^{2-} düzeyinin düşmesine ve dolayısıyla pH'nın azalmasına neden olur. Nitrifikasyon sadece çözülmüş oksijen varlığında gerçekleşebilmektedir. Anoksik koşullar altında, nötrale yakın pH değerlerinde ve organik hidrojen vericilerinin bulunması halinde ise denitrifikasyon mümkün olmaktadır. Denitrifikasyon sırasında nitrat, nitrite ve daha sonra azotoksitler sayesinde moleküler azota indirgenir. Bu olaya nitrat solunumu da denmektedir. Ancak bu dönüşüm belirli bir zaman gerektirmektedir. Bunun nedeni nitrat solunumunu gerçekleştirecek enzimlerin ancak oksijenin yok olması durumunda ortaya çıkmasıdır. Yine bazı ortamlar ve bazı bakteri türleri tarafından nitrat indirgenmesinin amonyuma kadar ilerlediği gözlenebilmiştir. Aquatik ekosistemlerdeki azot dengesi açısından en önemli girdiler şunlardır:

- Yüzey ve yeraltı sularından gelen azot
- Serbest suda ve sedimentlerde atmosferik azotun mikrobiyal fiksasyonu
- Atmosferden yaş ve kuru bir şekilde su yüzeyine çökelen azot
- Göllerden dışarıya akış şeklindeki kayıplar
- Atmosferdeki azot gazının azalmasıyla mikrobiyolojik azot redüksiyonu
- Azot içeren partiküllerin çökmesi ve sedimentte fiksasyonu (Kahraman, 2003).

3.4.2.4.1 Yüzeysel Sularda Azot Döngüsü:

Global azot çevrimi daha küçük ölçekte yüzeysel sularda gerçekleşir. Ancak bu küçük ölçekli çevrimde bazı ufak değişiklikler söz konusu olur.

Yüzeysel su ortamlarında önemli ölçüde moleküler azot bağlanması söz konusu olur (Örneğin azot bağlayabilen mavi algler yardımıyla). Bu suların dip çökeltlerinde anaerobik olarak yaşayabilen Clostridium türleri de moleküler azotu bağlayabilirler.

Yüzeysel sulardaki azot çevrimini karmaşıklaştıran etkenlerden biri de dip çökeltileri ile su sütunu arasındaki karşılıklı ilişkileridir. Çökeltilerdeki anaerobik koşullar altında azot reaksiyonları su sütunundaki aerobik koşullardakine kıyasla daha değişik yollar izlerler. Ötrofik su ortamlarında su sütununun içindeki ayrı bölgeler (epilimnion, metalimnion, hipolimnion) değişik azot reaksiyonlarının yer aldığı ortamlardır. Özellikle stabil yaz tabakalaşmasının mevcut olduğu durumlarda epilimnion bölgesi nitrifikasyon süreçleri için çok uygun bir ortam oluştururken, hipolimnionda denitrifikasyon süreçleri yer alır.

Yüzeysel sulardaki azot değişim süreçleri yukarıda açıklanan mikrobiyolojik olayların yanı sıra bir dizi abiyotik faktörlerce de etkilenir. Bunların en önemlileri; su sıcaklığı, pH değeri, alkalinite, oksijen değişimi ile amonyumun; amonyak, nitrit ve biyolojik olarak ayrışabilir organik maddeye oranıdır. Bunların yanı sıra kemolitotrof nitrifikasyon bakterilerinin mineral ve iz element (anorganik karbon, fosfat, kalsiyum, magnezyum, molibden) gereksinimleri de önemli rol oynar. Öte yandan bu ortamlarda bazı organik kükürt bileşikler, aminler, fenoller, nitrifikasyonu engelleyici maddelerdir.

Liebig'in minimum yasasına göre bir ortamdaki büyüme hızı, bu ortamda bulunan nütrientler içinde en kısıtlı olan nütrient tarafından belirlenir. Yüzeysel su ortamlarında birincil üretiminin sınırlayabileceği faktörler azot ve fosfor olmaktadır. Bu nütrientler kullanılmış sularda önemli ölçülerde bulunabildikleri için birincil üretimi hızlandırmakta, böylece ötrofikasyona neden olmaktadır. Ortalama atık su kompozisyonları incelendiğinde, ötrofikasyon açısından yukarıda sözü geçen büyüme minimumunu, azottan çok fosforun etkiyebileceği ortaya çıkmaktadır. Böylece azota ötrofikasyon açısından anahtar görevi düşmemekle beraber, akarsu ve göllerdeki primer metabolizmanın dinamiği açısından yine de incelenmesi gerekmektedir (Kahraman, 2003).

3.4.2.4.1.1 Moleküler Çözünmüş Azot

Tabakalı göllerde, epilimnion tabakasının azot miktarı, ısının yükselmesiyle birlikte azalma gösterir. Buna karşılık, hipolimnion tabakasında denitrifikasyon işlemi sonucunda bu miktarın arttığını görürüz. Sulardaki azot miktarı ölçümün zor olması nedeniyle nadiren belirtilir. Alg beslenmesi için gereken azot bileşiklerinin azalması durumunda heterosist-bearing mavi yeşil algler, nitrojenaz kullanarak atmosferden azot fikse edilebilirler.

Mutlak azot, toplam azot miktarının küçük bir miktarını oluştursa da atmosferden kazanılan azot miktarı, göl yönetimi açısından azot limitlerinin aşılması olayında önemli bir rol oynar (Kahraman, 2003).

3.4.2.4.1.2 Amonyum Azotu

Amonyum bileşikler genel olarak proteinlerin ve diğer organik maddelerin bozunmasının bir sonucu olarak ortaya çıkar. Bu şekilde NH_4 formundaki azot, trofojenik bölge tarafından kolayca asimile edilebilir.

Aerobik su kütlelerindeki $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları, ötrofik bölgede bitkiler tarafından kullanıma bağlı olarak genellikle düşüktür. Ayrıca, düşük seviyede bir organik kirliliğin

görüldüğü sularda NH_4^+ 'ün NO_2 ve NO_3^{2-} şekillerine okside edilmesine göre bakteriyel nitrifikasyon görülür. Bu işte çalışanlar, nitrifikasyon (Nitrosomonas tarafından) ve denitrifikasyon (Nitrobakter)'un etkilerini oksijen miktarı bakımından göz önünde bulundurmalarıdır.

1 mol NH_4^+ 'un tam nitrifikasyonu için 2 mol oksijen veya 4.6 mg O_2 /mg $\text{NH}_4\text{-N}$ gereklidir.

Günümüzde atık su arıtma uygulamaları, ana olarak BOI_5 olarak verilen, karbonlu maddelerin tamamen bozulması esasına göre boyutlandırılmaktadırlar. Bununla beraber su kalitesini koruma açısından aşırı derecede bir nitrifikasyon gerektirmektedir. Eğer bu kendi kendine arınmaya bırakılırsa, artık karbon bileşiklerinin bozunmasından daha fazla oksijen gerektirecektir (Kahraman, 2003).

3.4.2.4.1.3 Nitrit Azotu

Nitrit, nitrifikasyon ve denitrifikasyon olaylarının bir ara ürünüdür. Bu iki olayın yoğun olarak cereyan ettiği durumlarda metalimniondaki nitrit konsantrasyonu ancak litrede miligram seviyesine ulaşabilir. Bir rezervuarın hipolimnion tabakasındaki nitrat asimilasyonunun ölçülmesi esnasında kısa bir süre için nitrit konsantrasyonu 14 mg/L olarak kaydedilmiştir.

İstisnalar hariç, nitrit bir göldeki toplam azot miktarı üzerinde çok küçük bir etkiye bulunmaktadır ve konsantrasyonu genel olarak 100 mikrogram/litreden az olmaktadır (Kahraman, 2003).

3.4.2.4.1.4 Nitrat Azotu

Nitrat az kirlenmiş sulardaki inorganik azotun en genel bulunan formudur. Göllere yüzey akışları, yeraltı suyu ve yağışlar vasıtasıyla girmektedir.

Atmosferdeki azotun kimyasal olarak endüstriyel ölçekte fikse edilmesinin mümkün olmasıyla birlikte, suni gübrelerin kullanılmaya başlanmasıyla doğal sulardaki azot miktarlarında önemli artışlar görünmeye başlanmıştır. Nitrat, yüksek çözünübilirlik ve düşük sorpsiyon kapasitesine sahip olduğundan dolayı, kolayca kök bölgesinin altına sızabilmekte ve bitki verimliliği açısından hiçbir etkisi kalmamaktadır. Fosforun aşırı derece sınırlı olduğu sularda, nitratın artan miktarları, algler tarafından besin kaynağı olarak sadece çok küçük miktarlarda kullanılmaktadır. Nitrat günümüzde suları kirleten birinci dereceden kirletici olmaktadır.

Ötrofik göllerde ve başlangıçta kirli su kütlelerinde, nitrat oksijen rejimini düzenleyici bir role sahip bulunmaktadır. Bir suda nitrat bulunduğu müddetçe, pis kokulu bir çürüme olayı meydana gelmez. Ekoteknolojide, nitrat, hidrojen sülfürün oluşumunun engellenmesinde kimyasal oksijen kaynağı için bir araç olarak kullanılır. Sedimentlerin üst kısmındaki nitrat, fosforun remobilizasyonunu da engelleyebilir (Kahraman, 2003).

3.4.2.4.1.5 Organik Azot

Çözünmüş organik azot, genellikle iç sularda toplam çözünmüş azotun %50'sine karşılık gelmektedir. Nehir ve göllerde çözünmüş organik azotun partiküller organik azota oranı 5:1 ve 10:1 arasındadır. Bu oran gölün ötrofik olmasıyla birlikte düşer (Kahraman, 2003).

Doğal sularda meydana gelen ötrofikasyon olaylarında azot ve fosfor farklı rollere sahiptirler. Oligotrofik göller ve rezervuarlarda birincil üretim devamlı surette fosfor tarafından sınırlandırılır. Nitrat konsantrasyonu ise düşük fosfor miktarından dolayı kullanılamaz bir durumda bulunur.

Fosfor ve azot, biyokütlelerde bulunan orana göre 1:7 oranında kullanılmaktadır. Sedimentteki biyokütlenin ayrışmasında, besin maddeleri tekrar açığa çıkar. Fosfor hipolimnion tabakasının aerobik olması durumunda sedimentte çözünmez halde bulunurken, inorganik azot bileşikleri serbest halde su fazına geçer. Kanalizasyonlardan kaynaklanan ötrofikasyon, özellikle azottan ziyade yüksek seviyedeki fosfor miktarından kaynaklanmaktadır. Fosfor ve azot kaynaklarının dengede olduğu mezotrofik göllerde herhangi bir besin maddesi girişine karşı hemen cevap verilir. Bu gibi durumlarda fosfor ve azotun kullanımları hemen hemen aynı oranlarda olmaktadır. Yüksek seviyedeki fosfor kaynağı azot fiksasyonu için gerekli bir şart olduğu için atmosferden azot kazanımı nispeten önemsiz kalmaktadır.

İleri derecede ötrofikasyonda hipolimnion dolayısıyla sediment-su bölgesi anaerobik hale gelir. Fosfat serbest halde su ortamına geçer ve aşırı ötrofikasyona yol açar. Buna karşılık nitrat denitrifiye olarak N_2 gazına dönüşerek atmosfere geri döner. Ötrofik göller genelde azot sınırlamalıdır veya yıl boyunca fosfor ile azot sınırlaması arasında düzenli bir değişimin görüldüğü göllerdir. Moleküler azot ortamdaki uzaklaşırken, sedimentten uzaklaşan fosfor yaz boyunca ekosistemde kalmaktadır.

Bununla beraber birincil üretim, denitrifikasyonla kaybolan azotu, ters bir fiksasyon olayı ile tutabilen mavi-yeşil algler tarafından devam ettirilir.

Politrofik göllerde ise, fosfor ve azot, ciddi organik kirliliğinin bulunması sonucu nitrifikasyonun engellenmesine bağlı olarak yıl boyunca aşın miktarda ortamda bulunabilir, inorganik azotun amonyum iyonları şeklinde kaldığı durumlarda, N_2 kayıplarına bağlı nitrat respirasyonları artık devam etmez (Kahraman, 2003).

3.4.2.5 Sülfür

Ötrofikasyonun tarihine bakılacak olursa indirgenmiş sülfürün öneminin ötrofikasyon açısından büyük olduğu görülür. Azot gibi sülfürün de mikrobiyolojik aktivite ile yükseltgenmiş formdan indirgenmiş forma veya tersine dönebileceği görülür.

Sülfür okside etmiş bakterilerden bazıları, aerobik ortamlarda kemoototrofik olarak yaşarlar. Anaerobik ortamlarda ise kendisini oluşturan sülfür bileşiklerine dönerler. Element halindeki sülfür geçici olarak hücre içinde depolanır ve enerji kaynağı olarak kullanılır. Bu esnada renksiz sülfür bakterileri beyaza dönüşür. Siyah çürümüş çamurun beyaz film tabakası ile kaplandığı yerlerde, anaerobik alt tabaka ile aerobik üst tabaka arasında bir sınır oluşmaktadır. Diğer bir grup bakteri de ışığın olması durumunda hidrojen sülfürün oksidasyonunu sağlar. Bunlar ototrof bakteriler olup, su içinde H_2S ihtiva eden ortamlarda sülfat, sülfid, thiosülfat ve sülfür, Desulfovibrio bakterileri tarafından indirgenmektedir. Bunun için gereken enerji ötrofikasyon sonucu oluşan organik maddelerden sağlanır. H_2S balıklar ve balıklara yem olan organizmaların epilimnion tabakasında yaşayamadığı göllerde hipolimnion tabakasında oluşmaktadır. H_2S 'in hipolimnionda birikmesi tabakalı göllerde sonbahar karışımının meydana gelmesiyle balık ölümlerine yol açan oksijen eksikliklerine sebep olmaktadır. Sedimentte demir, sülfürle birleşince, demir fosfattaki fosfat serbest hale geçer. Bu da ötrofikasyonu hızlandırır (Kahraman, 2003).

3.4.2.6 Ağır Metaller

Ağır metallerin bir kısmı esas besin maddeleri, diğer bir kısmı ise enzimatik reaksiyonlarda iz maddesi olarak ötrofikasyonda önemlidir. Serbest iyonlar halinde bulunan çoğu metaller, belirli konsantrasyonlardan sonra zehirleyicidirler. Bununla ilgili özellikleri, birleşik oluşturma ve oksidasyon durumu ile metalin miktarıdır. Göllerdeki farklı işlemler metallerin partiküllere bağlanmasına yol açar. Katı partikül adsorpsiyonu kimyasal çökelti oluşur ve metallerin yerini değiştirmeye yardımcı olur.

Su içindeki ağır metaller;

- Serbest iyonlar şeklinde (Fe),
- İnorganik veya organik kompleksler şeklinde (Şelatlar),
- Polimerlerle birleşmiş halde,
- Kolloidal halde,
- Mineral birikintisi şeklinde,
- Biyokütle içinde partikül halinde bulunur.

Doğal sularda en fazla bulunan ağır metaller demir ve mangandır. Bunlar fosforu bağlarlar. Fe, balıklar için önemli zehirleyicidir. Aerobik bölgede, demirin temel formu, demirhidroksitlerdir. Organik kompleks formundaki demir ortamda hakimse, göl suları kahverengi renk almaktadır.

Sedimentlerde demir esas olarak aerobik su kütlesi ile temasta bulunan birkaç mm kalınlığındaki çamurdan kaynaklanan Fe^{3+} bileşikleri şeklinde bulunmaktadır. Baraj göllerinde su seviyesinin düşmesiyle, sedimentte balıkları öldürecek miktarda metal çözeltileri suya geçer.

2 değerlikli demirin 3 değerlikli demire dönüşmesi, okside olması için büyük miktarda enerjiye ihtiyaç gösteren organik maddeler ortamda bulunduğu sürece engellenir. Kemootrofik özelliklerinden başka pratik olarak bütün demir bakterileri heterotrofik yapıya sahip olabilmektedir.

Derin göller ve rezervuarlar, yeraltı suyunda olduğu gibi eğer ortam aerobik ise ve metaller sedimentten suya geçiyorsa, yüksek seviyelerde demir ve mangan içerirler. İçme sularında demir ve mangan giderimi için ilave işlemler gerekmektedir. Eğer tabakalaşma varsa, gölü karıştırmak, demir ve mangan giderimi için uygun olabilir.

Toksik iz elementlerin çoğu demir ve mangan bileşikleriyle birlikte hareket eder. Bu tip zehirli maddelerin esas taşınımı $Fe(OH)_2$ üzerinde adsorbe olması ve bunların çökmesi şeklindedir. Sedimentlerin hepsinde ağır metal bulunur. Önemli olan bunların serbest hale geçmesini önlemektir. Organik maddeler oksijeni kullandıkça ağır metaller suya karışır.

Birçok ağır metal asit yağmuru çevirimine girebilmektedir. Su toplama havzasına giren hidrojen iyonu zemindeki katyon değişiminin sonucu olarak hareket halindeki metallerle yer değiştirir. Bunun sonucunda göle giren sular, çok miktarda ağır metal (Al, Mn, Ca, Mg, K gibi) ihtiva eder. Göllerde partikül ve çözünmüş haldeki Na, K, Ca, Mg ve Ba dağılımı bu elementlerin redoks döngüleriyle dolaylı olarak ilgilidir. Bu elementlerin davranışları

kendi bünyelerinde redoks kimyası olmadığını göstermiştir. Alkali ve toprak alkali metallerin konsantrasyonu, Fe ve Mn'in redoks döngülerinin gelişiminde dolaylı olarak etkilidir.

Anoksik hipolimnionda, çözünmüş alkali ve toprak alkali metallerin yüksek konsantrasyonlarda olması beş olası işleminden dolayıdır.

Bunlar;

- 1- Yüksek konsantrasyonun nedeni suni tabakalaşma olabilir. Bunun anlamı yıl boyunca yüzeysel akışların olması yaz zamanı termal tabakalaşmaya sebep olur. Anaerobik ortamda Fe, Mn, Si, P ve HCO_3^{1-} da geniş artış yüzey sularında görülmüştür. Buna rağmen önemli katyonlar K, Mg, Ca ölçülememiştir.
- 2- Epilimniondaki fitoplanktonlar organik maddelerle beraber tortulara geçiş yapar ve hipolimniona salınır. Göllerde bu olay olmasına rağmen alkali ve toprak alkali metaller epilimnionda ve termoklin tabakasında organik maddeye hızlı bir şekilde döngü yapar.
- 3- İyon geçiş reaksiyonlarında alkali ve toprak alkali elementleri salınabilir. Bu duruma bağlı olarak anoksik durumlarda büyük oranda amonyak, katyon değişiminde etkili olabilir. Katyon değişim reaksiyonları K, Mg, Ca ve Ba'un yüksek konsantrasyonuna sebep olabilir.
- 4- Anoksik Göllerde bu elementlerin mevsimsel döngüleri olarak açıklanabilir. Bu durumda demiroksitler adsorber olabilir.
- 5- Yüzey sedimentlerindeki mineral çözünürlüğü alkali ve toprak alkali metallerin yüksek akıcılığından sorumlu olabilir. Organik maddelerin bozulmasıyla oluşan karbonat minerallerinin çözünürlüğü Ca, Mg, Fe'in salınımında sorumludur.

Arsenik doğada sülfür ve oksit halinde bulunur. Arsenit ve arsenat arseniğin anyonik bileşiğidir. Ağır bir metal olmasına rağmen suda anyonik haldedir. Arsenik doğal sularda ender olarak bulunur. Arseniğin yarı ömrü 10 saat ile 1-2 gün arasındadır. Eğer suda 0.05 mg/L arsenik bulunursa arsenik elementlerinin kimyasal yapısı ve valansının saptanması önerilmektedir. İçme suyu ve su ürünleri açısından önemli olan arsenik arıtımı için bir çok yöntem kullanılmaktadır. Oldukça ekonomik ve basit olan kireçle yumuşatma yöntemi bile %95 oranında arsenik arıtımı sağlamaktadır.

Bakır ve bileşikleri, çevrede dolayısıyla yüzeysel sularda bulunabilirler. Sudaki bakır, suyun pH'ı ve karbonat konsantrasyonu ve diğer anyonlarla ilgilidir. Musluk suyunda bulunan bakır miktarı ham su kaynağında ve arıtılmış suda bulunan bakır miktarından

fazla olabilir. Çünkü bakır tuzları dağıtım sistemlerindeki çamur kontrolü ve manganezin yükseltgenmesini katalizleme yönünden, depolardaki bakteri büyümelerinin kontrolünde kullanılır. Suda bulunan bakır zararlı değildir. Ancak alüminyum, çinko gibi boruların korozyonunu arttırır. Suda litrede 1 mg'dan fazla bakır çamaşırlarda leke yapar. Bu değerin 5 mg/lt olması halinde bakır suya belirgin bir şekilde acı tat verir.

Yüzeysel sularda cıva, genellikle cıva hidroksit ve cıva klorür olarak bulunur. Bunlarda 0.001 mg/L'yi geçmez. Kirli sularda ve göllerde bu oran 0.03 mg/L olabilir. Eğer bir cıva kirlenmesi yoksa taze sularda cıva oranı 0.0002 mg/L'den daha azdır. Esasen suların arıtımı işlemleri sırasında bu oran çok daha düşecektir. Bu nedenle içme suyu ile günlük olarak alınan miktar normal olarak 0.1 mikrogramı geçmez.

Çinkonun en çok bulunan minerali ZnS'dir. Bu bileşik Pb, Cu, Cd ve FeS ile birlikte dir. ZnS ve oksit ve karbonatları yüksek klorürlü suda çözünürler. Çinko sülfat tuzları çinko hidroksit ve çinko karbonat şeklinde hidrolize olmaya meyillidir. Doğal sularda çinko bulunur. Adsorbsiyonla çözünmüş çinkonun miktarı düşer. Musluk suyunda çinko miktarı, galvanizli pirinç borular ve diğer çinkolu yapılardan gelen çinko nedeniyle yüzey sularından daha fazladır. Musluk suyunda çinko miktarı 0.01-1.0 mg/L arasında genel olarak değişiklik gösterir. Çinko zehirli değildir, insanlarda çinko zehirlenmesinin belirtisi kusma, su eksikliği, elektrolit dengesizliği, karın ağrısı, bulantı, uyuşukluk gibidir. Çinko suya arzu edilmeyen ilaç tadı verir. 5 mg/L'den fazla çinko opelans görünüşe neden olur. Kaynama esnasında yağlı bir görünüşe neden olur.

Dünya üzerinde göl ve nehirlerin kurşun içeriği 1-10 mikrogram/L'dir. Sularda bu değer nadir olmakla beraber endüstriyel kirlenme sonucu daha da yüksek olabilir. Su dağıtımında kurşun boruların kullanımı bu değeri arttırmaktadır. Birçok ülkede çeşme suyunda Pb seviyesi ortalama 10–20 mikrogram/lt'dir.

Nikel tuzlarının pek çoğu suda eriyebilir, bu nedenle bulaşma kolay olur. Yüzey sularında 1 mg/L olarak bildirilmiştir. Normalde bu oran 5–20 mikrogram düzeyindedir. İşlenmiş sularda daha az nikel bulunmaktadır. Günde 2 litre su içildiğinde alınabilecek miktar 10–20 mikrogram kadardır. Nikel toksik olmayan bir bileşiktir (Kahraman, 2003).

3.4.2.7 Organik Karbon

Aquatik ortamlarda karbon çevrimi ihtiva eden bütün proseslerin merkezinde organik karbon yer almaktadır.

Temiz sulara sahip göllerdeki organik maddelerin çoğu, pelajik bölgedeki fitoplanktonların birincil üretimi ile litoral bölgedeki makrofitlerden kaynaklanmaktadır. Kapalı bir devrede bakteriler tarafından fotosentetik olarak birleşmiş olan karbonun % 30-50'si besin zincirine taşınmaktadır. Degradatif kapasitelerden dolayı, bakteriler çözünmüş organik karbon havuzlarının (DOC) büyüklüğünü ve kompozisyonunu kontrol ederler (Kahraman, 2003).

Kapalı bir ortamda bakterilerin ayrışması ortamın stabilitesini sağlar. Fitoplanktonlarda $C/N/P = 106/16/1$ 'dir.

Metan da ötrofikasyonun ilerlemesinde önemli bir karbon bileşiğidir. Anaerobik ortamlarda CH_4 , organik maddelerden enerjinin kullanımı sonucu ortaya çıkmaktadır. CH_4 , sedimentten çıktıktan sonra aerobik bölgeye gelerek burayı olumsuz şekilde etkiler (Kahraman, 2003).

3.5 N/P Oranının Önemi

Bitkilerin gelişmesi için bol miktarda bulunması gerekli besi elementleri, karbondioksit, inorganik azot ve fosfat bileşikleridir. Demir gibi birçok iz elementleri de büyüme için gereklidir. Göl ötrofikasyonunun kontrolünde, besi elementlerinin miktarının sınırlandırılması anahtar bir faktördür. Tabii sulara aşırı üretkenlik için lüzumlu karbondioksit, bikarbonat alkaliliği halinde zaten mevcuttur. Ötrofikasyonda esas sınırlandırıcı faktörün fosfor veya azot olduğu anlaşılmıştır. Araştırmacıların çoğu, bir göl, gittikçe daha ötrofik hale gelirken, gelişmeyi sınırlandıran esas faktörün fosfor olduğuna inanmaktadır. Mavi - yeşil alglerin atmosfer azotunu tespit edebilmesi de bu kanaati doğrulamaktadır. Bundan dolayı göle giren azot miktarını sınırlandırarak besin kaynaklarının kontrolü şüpheli bir işlemdir. Bugünkü durumda göllerde bitki üremesinin kontrolü için fosfor girişinin azaltılması üzerinde durulmaktadır (Çıplakoğlu, 2006).

Basit bir zirai ekonomide, yüzeysel sularla pek az miktarda azot ve fosfor taşınır. Gelişmiş ziraat ve endüstri ülkelerinde ise, yeraltındaki fosfat kayaları gübre, deterjan, hayvan yemi ve diğer kimyevi maddeler haline getirilmektedir. Ziraat arazisinden gelen yağış suları da, hayvan dışkıları ile ve çürüyen bitkilerle gelen fosfata ilaveten, önemli bir miktarda insan yapısı fosfatı yüzeysel sulara taşımaktadır. Evsel atıksulardaki fosforun takriben % 60'ı, sentetik deterjanlardan kaynaklanmaktadır. Böylece eskiden yeraltında bulunan fosfor, yüksek hayat standardının bir sonucu olarak, yüzeysel sulara taşınmış durumdadır. Alg ve köklü su bitkilerinin fazla miktarda yetişmesi için gerekli inorganik azot ve fosfor miktarı pek fazla değildir. Alg bakımından bir problemi olmayan göller için genel olarak kabul

edilen üst sınır, 0,3 mg/lt amonyak ve nitrat azotu ile 0,02 mg/lt ortofosfat fosforudur (İlkbahar karışımı zamanında). Senelik ortalama olarak, toplam 0,8 mg/lt N ve 0,1 mg/lt P den daha büyük konsantrasyonlara sahip göller, gelişme mevsiminin çoğunda alg problemine sebep olurlar.

Bitki biyokütlesi suda mevcut azot ve fosfor miktarı kullanıldıkça artmaktadır. Bu besi elementleri noktasal olan ve olmayan kaynaklardan sulara karışır. Suyu verilen bu besi maddelerinin miktarları azalırsa, suda bitkinin kullanımına hazır besi elementi miktarı, dolayısıyla, bitki biyokütlesi de azalacaktır (Özecik, 2006).

3.6 Trofik Durum İndeksi

Trofik durum, göllerin trofik sınıflamasına yeni bir yaklaşım getirmektedir. Bu yeni yaklaşım, göllerin o andaki mevcut doğasını, bir uygulama sonrasında meydana gelebilecek durumu hakkında bilgi verir. Bu da Trofik Durum İndeksi (TDI) olarak isimlendirilir. İndeks kullanılarak trofik durumun tanımlanmasında ve göllerin bu durumunun belirlenmesinde kolaylık sağlanır.

Trofik durum; sudaki besinlerle göllerin zenginleşme miktarını ifade eder. Trofik durum belirlenmesinde besin yüklemesi, besin konsantrasyonu, verimliliği, fitoplanktonun tür bileşimi, fauna ve flora miktarı ve niteliği bakımından çok sayıda ölçüt kullanılır.

Trofik duruma bakılırken ya besin ya da organik madde kaynağına bakılabilir. Ama bu tek ölçüte bağlı indeks yanıltıcı olabilir. Birçok parametrenin (besin konsantrasyonu, alg kütlesi vs.) birlikte değerlendirilmesi gerekir (Carlson, 1977).

Trofik durumdan yararlanılarak göller üç sınıfa ayrılır. Oligotrofik, Mezotrofik ve Ötrofik. Bu bölümlerin kesin bir nitelendirilmesi yoktur (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Göl sınıflandırması (OECD, 2004).

Göl Tipi	Trofik Durum
Oligotrofik	Minimum biyolojik aktivite, göl dibi boyunca az miktarda organik madde ve sediment, dipte çözünmüş oksijen yüksek, besin ve üretkenlik düşük, yüksek geçirgenlik, klorofil-a ve fosfor değerleri düşük, fitoplankton miktarca az, su temiz
Mezotrofik	Daha çok besin ve bu nedenle daha çok biyolojik aktivite
Ötrofik	Sular besince zengin, yüksek biyolojik üretkenliğe sahip, göl dibindeki suda çözünmüş oksijen düşük ve organik madde birikimine sahip, sedimentte organik madde mevcut, sular yoğun fitoplankton büyümelerinden dolayı bulanıktır

Trofik durumu belirlemede esas alınan faktörlerin her birine ayrı ayrı bakılmalı; doğru bir yorum yapabilmek için analiz sonuçları birlikte değerlendirilmelidir. Bazı göller bu ölçüte göre oligotrofik bir diğerine göre ötrofik kabul edilir. Bu sorun bazen mezotrofik göl sınıfına dahil edilerek çözülür. Trofik durum indeksi, tek bir parametre varmış gibi kolay, birçok parametre varmış gibi yoğun trofik durum görüşüne sahip olmalıdır (Carlson, 1977).

Trofik durum indeksi, göl yönetimi için değerli bir araç olabilir. Göl ekosisteminin ve bileşenlerinin birbirleriyle nasıl ilişkili olduğunun tam ve canlı ifadesidir. Zaman içerisinde trofik durumda değişimleri değerlendirmek ve bölge içinde gölleri karşılaştırmak için yararlanılır (<http://www.mashpeemec.us>).

Trofik durum indeksini belirlemek için, üç indeks değişkeni (seki diski derinliği, klorofil-a ve toplam fosfor) arasındaki ilişkiler kullanılır.

Seki Diski Derinliği; göl sularında geçirgenliğin bir ölçümüdür (Şekil 3.3). Örnekleme periyodları sırasında çoğunlukla seki derinlik, fitoplankton konsantrasyonuna göre değişir. Genelde besin düzeylerinde artış su geçirgenliğini azaltır. Suyun rengi ve askıdaki maddeler geçirgenliği etkileyen diğer faktörlerdir. Seki disk, ucuz olması, gönüllü izleme programları içinde olması gibi nedenlerle tercih edilen bir parametredir. Seki derinlik, su çevresinden beyaz diskin ayırt edilemediği ya da siyah ve beyaz bir diskin siyah-beyaz

eyreklerinin disk su içine indirildiğinde birbirinden ayırt edilemediğı derinlik olarak belirlenir .



Şekil 3.3 Seki disk (<http://www.pca.state.mn.us/water/lakeacro.html>).

Toplam Fosfor; alg gelişimi için sınırlayıcı bir faktördür. Toplam fosfor miktarı gölde ötrofikasyon ve üretkenlik düzeyini tahmin etmek için kullanılır. Zamanla fosfordaki artış, gölde besin zenginleşmesinin bir göstereimidir. Seki derinlik en düşük olduğunda toplam fosforun en yüksek miktarı bulunur. Göllerde sınırlayıcı besin olduğu için genellikle çoklu göl analizlerinde klorofil ile ilişkilidir. Bununla beraber fosfor optik aletlerle doğrudan ölçülemez.

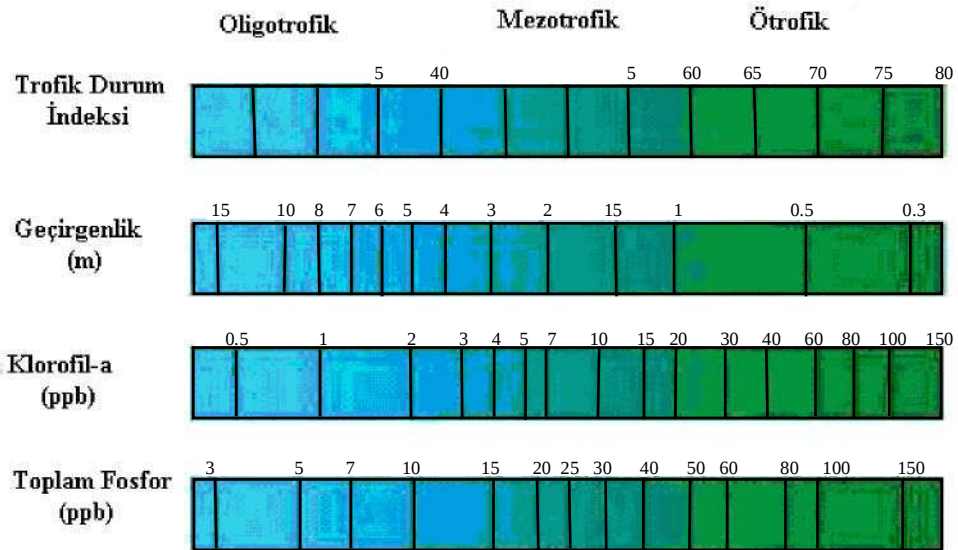
Klorofil-a; tüm yeşil bitkilerde mevcut bir pigmenttir ve alg yoğunluğunu ölçmek için kullanılır. Yüksek klorofil-a değerleri suda aşırı besinlerden oluşan yüksek planktonik alg yoğunluğunu gösterir. Bu da suyun rengini azaltır, suda yeşil görünüm oluşturur, yüzeyde köpüklenme yapabilir, çözünmüş oksijen seviyesini azaltabilir, pH seviyesini değiştirebilir ve hoş olmayan tat ve koku oluşturur. Toplam fosfor ve klorofil arasında logaritmik ilişki vardır.

Seki derinlik, toplam fosfor ve klorofil-a parametrelerine göre tanımlanan trofik durum indeksi Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Yüzeysel fosfor ve yüzeysel klorofil miktarı arttıkça seki diskin görüldüğü derinlik azalmaktadır. Buna bağlı olarak TSI değerleri de artmaktadır.

Çizelge 3.3 Trofik Sınıflandırma (<http://www.epa.gov/bioindicators/aquatic/carlson.html>).

Trofik Durum	TSI	Seki disk (m)	Toplam Fosfor (mg/m ³)	Klorofil-a (mg/m ³)
Oligotrofik	0-40	>4	<12	<2,6
Mezotrofik	40-50	2-4	12-24	2,6-6,4
Ötrofik	> 50	<2	>24	>6,4

Trofik indeks (TSI), en alt ve en üst sınırlara teorik olarak sahip olmamasına rağmen indeks 0–100 aralığındadır. Üç indeks değişkeni; lineer regresyon modelleriyle ilişkilidir ve değişken değerlerini veren bir bileşim için benzer indeks değeri oluşturulmalıdır (Çizelge 3.3) (Carlson, 1977).

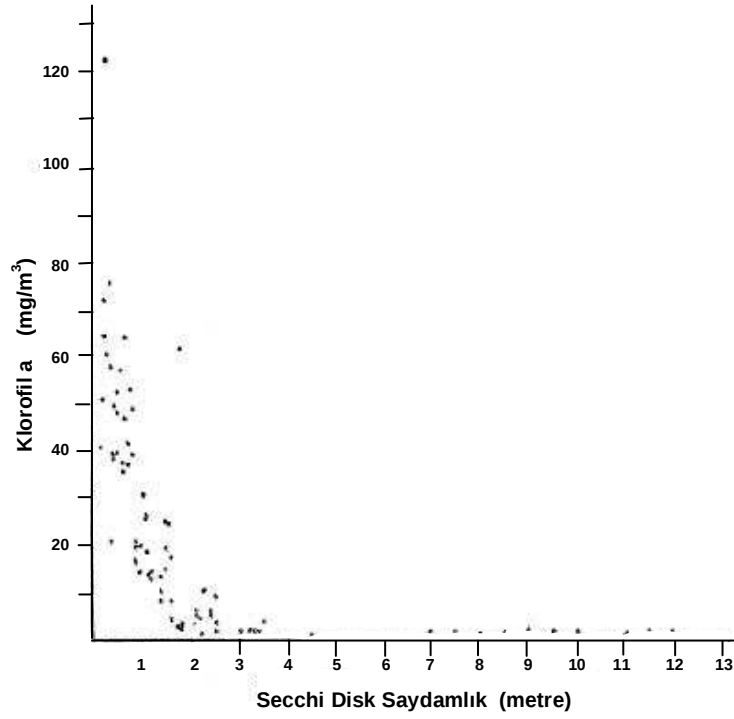
Çizelge 3.4 Carlson Trofik İndeks değerleri (www.mashpeemec.us).

3.6.1 İndeks Kullanımı

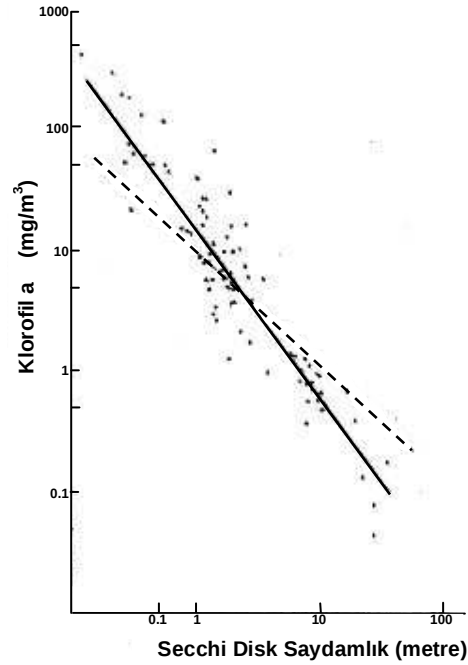
Seki disk değerlerini $\log_2$ baz alarak tasarlanınca 1m, 2m, 4m, 8m vb. değerlerde araştırmalar yapılmıştır. Hutchinson (1957) tarafından rapor edilen en büyük değer 41,6 m ile Japonya'daki Masyuko gölüdür. Bunun bir üst tamsayı değeri 64m'dir. Bu nedenle TSI (Carlson, 1977);

$$TSI = 10 \times (6 - \log_2 SD) \quad (3.1)$$

olarak ifade edilir.



Şekil 3.4 Seki Disk geçirgenliği ve yüzeysel klorofil-a konsantrasyonu arasındaki ilişki (Carlson,1977).



Şekil 3.5 Seki disk geçirgenliği ve yüzeysel klorofil-a konsantrasyonu arasındaki ilişkinin log-log* formuna dönüşümü (Carlson,1977).

* Bağımsız ve bağımlı değişkenlerin ikisinin de asıl değerlerin logaritmik değerleri biçiminde ifade edildiği fonksiyonel denklem.

Gölleri sınıflamada indeks kullanımı, gölün trofik durumunu yansıtan genelleştirilmiş tek sayı gerektirir. Üretilen sayının gölün trofik durumunun sadece bir indeksi olduğu ve trofik durumu tanımlamadığı vurgulanmalıdır. Diğer bir deyişle klorofil veya toplam fosfor, trofik durum tanımlama esası olarak değil sadece daha genel tanımlama kavramı göstergesi olarak kabul edilir. Trofik durumun en iyi göstergesi gölden göle ve hatta mevsimden mevsime değişir.

Trofik durum indeksi kullanımı sayesinde indeks göl yönetim programlarında tahmin aracı olarak kullanılabilir. Eğer besin artışına bağlı olarak toplam fosfor değeri de bulunursa TSI kolaylıkla hesaplanır. Böylece trofik şartlara ulaşmak için ne kadar besin azalması gerektiği bulunur.

İndeks, akarsu ve nehirleri kapsayan tüm yüzey sularının bölgesel hesaplamalarında kullanılabilir. Suyun herhangi bir bölümü, potansiyel algal biokütle için önemli belirleyici olan toplam fosfor indeksi kullanılarak sınıflanabilir.

Trofik durum kategorileri (oligotrofik, mezotrofik, ötrofik) iyi ya da kirli su kalitesini doğrudan tanımlamaz fakat su yapısında besin düzeylerinin dolaylı gösterimi ve üretkenliğin genel bir gösterimini verir. Trofik durum indeksi, su kalitesi belirleme indeksi değildir. Kalite terimi, trofik durum kavramından ayrıdır. Trofik durum indeksi su kalitesinin çeşitli değerlendirilmelerinin yapıldığı çerçeve olarak değerlendirilebilir.

Tüm göl ekosisteminin ve bileşenlerinin birbiriyle nasıl ilişkide olduğunun tam ve canlı ifadesidir (Carlson, 1977).

3.5 Ötrofikasyonun Olumsuz Etkileri

3.5.1 Ötrofikasyonun Ekolojik ve Ekonomik Açıdan Olumsuz Etkileri

- Her su yatağına özgü farklı canlı türleri mevcuttur. Ekosistem elemanları arasındaki ilişkinin iyi bilinmesi gerekir.
- Su havzalarına içme ve kullanma yönünde olumsuz etki yapar. Su kullanılamaz hale gelebilir (Ceyhan, 1999).

Su yataklarının ötrofik hale gelmesiyle bazı planktonik su altı ve su üstü bitkileri aşırı derecede çoğalmaktadır. Bunun sonucunda bazı türler, aşırı derecede artmakta, ekolojik denge bozulmakta, bazı türler yok olmakta ve besin zinciri yoluyla bundan tüm doğal hayat zarar görmektedir.

- Ötrofik seviyenin artmasıyla balıkların beslendikleri organizmalar ve balık türleri azalmaktadır. Bu olumsuz etki ötrofikasyonun düşük seviyede olması durumunda görülür. İleri derece ötrofik hale gelmiş su yataklarında balıklarda yaşayamamaktadır.
- Su yataklarının tabanında dip sedimentlerinin (taban çamurunun) birikmesi sonucu zamanla su ortamında canlılara olumsuz etki yapabilecek kirleticiler (mesela ağır metaller) aşırı derecede çoğalmaktadır.
- Bakteri sayısı anormal derecede artmaktadır.
- Su yatağının dip ve yan taraflarında geçirimsizlik azalmaktadır. Geçirimsizliğin azalması sonucunda planktonik alg üremesi ile birlikte suyun yer altına sızması ve yeraltı su yataklarının beslenmesi de azalmaktadır (Kahraman, 2003).
- Ötrofikasyon dolayısıyla suyun berraklığı azalacağı için güneş ışığının göl içindeki alg büyümesinde etkili olduğu tabaka kalınlığı azalacaktır (Ceyhan, 1999).
- Aşırı derecede çoğalan canlı organizmaların ayrışması sırasında su yataklarının alt tabakalarında aşırı oksijen tüketimi meydana gelmekte ve anaerobik bir ortam oluşmaktadır.
- Özellikle sahil kesimlerindeki bitkiler, çamur oluşumunun hızlanması sonucu yok olmaktadır. Besi maddelerine bağlı olarak büyüyecek bitkiler suyun renk ve tadında olumsuz değişikliklere yol açar.
- Aerobik şartlarda fosfatı tutma kapasitesine sahip olan sedimentler (taban çamurları) anaerobik şartlarda azotu taşıyıcı duruma gelmektedir. Bunun sonucunda taban çamurunda birikmiş olan ve anaerobik şartların oluşmasıyla serbest kalan fosfat tekrar su ortamına geçmekte, neticede alg üretimi anormal bir hızla artarak ekolojik denge altüst olmaktadır.
- Su yüzeyi canlılara zehirleyici etki yapan mavi-yeşil alglerle kaplanmaktadır (Kahraman, 2003).
- Alg orijinli kompleks bileşikler ise sulama ve drenaj kanallarını alglerle tıkayabilir (Ceyhan, 1999).
- Aşırı derecede çoğalmış alglerin dalgaları kırması sonucu su yatağının atmosferden oksijen kazanımı azaltmaktadır (Kahraman, 2003).
- Estetik görünüm bozulur.
- Tarıma dayalı endüstrilerde istenilen su kalitesi sağlanamaz.

- Böylece bu su kaynağı o yöre için potansiyel su kullanım amacına hizmet etme noktasından uzaklaşır (Ceyhan, 1999).

Ötrofikasyonun ekonomik açıdan olumsuz etkileri ise;

- Arıtma tesislerindeki filtreler alglerden dolayı çabuk tıkanır. Ham atık suda ortaya çıkan alglerin temizlenmesi için ilave arıtma gerekmektedir. Ötrofikasyonun başlangıcından itibaren suyun koku ve tadı zamanla bozulmakta, bulanıklık artmaktadır. Bunun sonucunda ilave renk, tat ve koku giderme ihtiyaçları ortaya çıkmakta, kimyasal madde sarfiyatına paralel olarak arıtma masrafları da artmaktadır.
- Alg ve diğer planktonikler sebebiyle su arıtma tesislerindeki filtreler sık sık tıkanmaktadır. Bunun sonucunda daha fazla geri yıkama yapılmasını gerektirmekte, sonuçta enerji maliyeti ve kum kaybı artmakta, arıtma tesisinin verimi düşmektedir.
- Bazı zehirli alg türlerinin sağlığa zararlı olabilecek konsantrasyonlara ulaşması sonucu sular hayvan ve bitki sulamasında kullanılamamaktadır.
- Endüstriyel su ihtiyaçlarının karşılanmasında teknik zorluklarla karşılaşmakta, su temini daha pahalı hale gelmekte ve soğutma sularında alg birikmesi sonucu maliyet artışları görülmektedir.
- Ticari değeri olan balıkların kalitesi bozulmakta ve miktarları azalmaktadır.
- Su kaynağının alglerden temizlenmesi ilave masraflar gerektirmektedir.
- Su kaynağındaki besi maddelerinin özellikle fosforun azaltılması ilave masraflar gerektirmektedir.
- Hidroelektrik santrallerinin türbinleri alglerden zarar görmektedir.

Göllerin kaçınılmaz evrimleşme sürecinin bir sonu olarak ötrofikasyonu geciktirmek için bazı önlemler alınabilir.

- Göl çevresinde bulunan kuruluşların endüstriyel atıkları ile evsel atıkların (kanalizasyon, mutfak, banyo vb.) arıtıldıktan sonra göle deşarjı yapılmalı,
- Yoğun hayvan çiftliklerinde atıkların kontrolü yapılmalı,
- Tarım arazilerinde gübre uygulamalarının metot, periyot ve dozunun kontrolü yapılmalı,
- Göl çevresindeki tarım arazilerinde kullanılan tarım ilaçları ve kimyasal maddeler yağmur suları ile göle sızacağından göl yakınlarında bu tip ilaçlar kullanılmamalı,

- Ormanlık alanlardan akışların ve erozyonun kontrolü yapılmalıdır.
- Göl suyunun sertliğini gidermek amacıyla suya karıştırılan fosfat, ötrofikasyonun hızlanmasına neden olur (Tülek, 2006).

3.5.2 Ötrofikasyonun İçme Suyu ve Halk Sağlığı Açısından Olumsuz Etkileri

- Sıcaklık tabakalaşması olan göllerin alt kısımlarında anaerobik ortamlar oluşmakta ve sudan CH_3 , H_2S gibi anaerobik ayrışma ürünü gazlar çıkmaktadır. H_2S çürük yumurta kokusunda olup çevreyi rahatsız etmektedir.
- Aerobik derin su yataklarının tabanlarında biriken mineralize olmamış maddeler zamanla anaerobik ortamın oluşmasıyla serbest hale geçmekte ve su kalitesini bozmaktadır.
- Ötrofik seviye ilerledikçe su kaynağındaki amonyum iyonu artmakta, bu da zehirlenme ve guatr hastalıklarına yol açmaktadır.
- Elektron alışverişi sonucu nitrat ve sülfat iyonları indirgenmektedir. Bu maddelerin indirgenmiş durumları birçok hastalığa yol açmaktadırlar.
- Demir ve mangan konsantrasyonu artarak suyun renk ve tadını bozmaktadır.
- Su iletim hatlarında CO_2 dolayısıyla korozyon meydana gelmektedir.
- Kanser ve ülser hastalıklarında artış görülmektedir.
- Alerjik hastalıklar artmaktadır.
- Ortaya çıkan parazitler yeni hastalıklara yol açmaktadır (Kahraman, 2003).

4. ÖMERLİ HAVZASININ TANITIMI

4.1 Doğal Coğrafya

Ömerli Barajının üzerinde yer aldığı Riva deresi, 895 km²'lik drenaj alanıyla Anadolu yakasında İstanbul'a en yakın olan ve Karadeniz'e açılan en büyük havzaya sahiptir. Ömerli Barajının drenaj alanı ise yaklaşık 621 km²'dir. Bu alana yüzey alanı yaklaşık 23 km² olan baraj gölü de dahildir. Baraj ile drenaj havzası sonu arasında yaklaşık 33 km'lik bir uzaklık vardır.

Bölgenin topografyası, erozyon-birikim dönüşümleri sonucu oluşan genellikle hafif kıvrımlar şeklinde ve seyrekte olsa görülen orta büyüklükteki birikim tepeleri olarak görülmektedir. Baraj yerinin yakınlarındaki yamaçların basık, üst kısımlarının kotları genellikle 80 metre civarındadır. Büyük olasılıkla Riva deresi ve kollarının, dere yatakları bu üst yüzeylerin aşınması ile oluşmuşlardır.

Baraj yerinin hemen menba tarafında 2 dere ayağı birleşmektedir. Sol ayak, esas dereden mansap kısmında ince bir yamaçla ayrılmıştır. Baraj ekseninin 1 km mansabında dere, kendi üstüne, sağa doğru ters bir dönüş yaparak sola dönmeden önce eksenin yanından akmaktadır. Oldukça ince iki yamaç bu kıvrımı eksenin mansap kısmında birbirinden ayırmaktadır.



Şekil 4.1. Ömerli baraj gölü ve havzası.

4.2 Jeolojik Yapı

Havza esas olarak griden koyu griye değişen çimentolaşmış, çok ince taneli kumtaşı, kumlu silt taşı, kil taşı ve yaklaşık olarak üçte biri de kireç taşından oluşmuştur. Esas olarak geçirimsiz olarak kabul edilebilir.

Barajın yapıldığı yerin yakınlarında oluşan teras birikintilerinin ve baraj gölünün oluştuğu vadinin en belirgin özelliği ince kum ve killi kumlardan oluşan alüvyon birikintilerinden meydana gelmesidir. Havzadaki dik yamaçlı bölgelerin ve bu bölgelerdeki erozyon nedeniyle oluşan aşınmanın getirdiği birikintiler baraj gölünün aktif hacmi üzerinde etkili olmaktadır.

Riva Nehrinin su toplama havzası, kalınlığı yaklaşık 200 metreyi bulan şist, grovak ve kireç taşından oluşan alt Devonien tabakalar üzerine yerleşmiştir. Bu Devonien tabakanın altında arkoz, şist, kil taşı ve kuarsitlerden oluşan üst Silurien kayaçları yer almaktadır. Kireç taşı ve killi şistlerden oluşan orta ve üst Devonien tabakalar daha üstte görülürler. Paleozoik kayaların üzerleri ise yer yer Neojen kum ve killi ile kaplanmıştır.

Havzanın yaklaşık olarak üçte biri kireçtaşından oluşmaktadır. Kireçtaşlarının az da olsa karstik bir yapıda olmalarına rağmen, DSİ jeologlarınca yapılan araştırmalarda yeraltı boşlukları ile arasında bir ilişki bulunamamıştır. Havza, geçirimsiz olarak kabul edilebilir (İzmiroğulları, 2004).

4.3 Meteorolojik Özellikler

Riva deresi havzası Marmara ikliminin etkisi altındadır. Havzanın Karadeniz'e yakın oluşu yaz aylarının kurak ve sıcak geçmesini engellemektedir. En yağışlı devre kış mevsimi olmakla birlikte sonbahar mevsimi de yağışlı geçmektedir. Yağışların bu iki mevsimde yoğunlaşmasının nedeni bölgenin Balkanlar'dan ve Karadeniz'den gelen cephesel yağışların etkisi altında oluşudur. Rüzgar ikinci derecede ise Güney-Batı yönünde esmektedir. Bölgedeki egemen rüzgar yönü Kuzey-Doğu yönündedir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait Ömerli de bulunan gözlem istasyonundan elde edilen 1952- 1970 yılları arasında yapılan 18 yıllık gözlem sonuçlarına göre, en sıcak aylar 21,6°C ile Temmuz ve Ağustos ayları, en soğuk ay ise 3,9°C ile Ocak ayıdır. Yıllık ortalama sıcaklık ise 13,2°C'dir (İzmiroğulları, 2004).

Yine Ömerli Barajı su toplama havzası içindeki DSİ Genel Müdürlüğüne ait 2014 No'lu Kargılı meteoroloji gözlem istasyonunda elde edilen 1975–1981 yıllarına ait gözlemlere göre, yıllık ortalama yağış 800 mm olarak saptanmıştır. Ayrıca 1993'te COWI Consult vd.

tarafından yapılmış bir çalışmada yıllık ortalama yağışın 880 mm olduğu ve bu değerinin hemen hemen buharlaşmaya eşit olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle de yaz aylarında derelerin çoğu kurur (Akkaya, 2003).

4.4 Sosyal ve Ekonomik Yapı

Riva Dere havzası idari açıdan İstanbul ve Kocaeli il sınırları içerisinde kalmaktadır. Bölgede İstanbul'un Beykoz, Kartal, Üsküdar ve Şile ilçelerine bağlı toplam 15 köy, Kocaeli'nin Gebze ilçesine bağlı olarak da 6 köy yerleşim yeri bulunmaktadır.

Ömerli Barajının güneyinden geçen İstanbul-İzmit otoyolu bölgedeki nüfus hareketlerini etkilemektedir. Yeni yerleşim yerlerinin ortaya çıkmasıyla nüfus artışı büyük bir hız kazanmıştır (Akkaya, 2003).

4.5 Su Kaynakları

Ömerli barajının üzerinde yapıldığı Riva Nehrinin su toplama havzası 895 km²'dir. Baraj akısının bulunduğu yerde ise, su toplama havzası 621 km²'dir. Buna yüzey alanı yaklaşık 23 km² olan baraj gölü de dâhildir. (Güvensel,2006)

Çizelge 4.1'de teknik özellikleri verilen Ömerli Barajını besleyen iki ana su kaynağı vardır. Bunlar, Göçbeyli ve Ozan deresidir. Diğer dereler; Kömürlük, Topçayırılar, Köy dere, Uzun dere, Ayazma, Paşaköy, Recepağa, Palamut, Bıçkı dere, Muslu Yatak deresi, Sarıkız deresi, Büyük dere, Söğüt geçidi dere, Karandere ve kolları, Sazak dere, Zubcan dere, Kahvecioğlu deresi kolu, Kadıçayırı dere, Eskideğirmen dereleri ve dere kolları da debileri çok yüksek olmasa da gölü besleyen dereler arasında sayılabilir (Akkaya, 2003).

Dereler yüzey suları ile beslenmekte olup, derelere az miktarda tabandan kaynaklanan su da akmaktadır. Bu nedenle havzadan gelen sele ve dolayısıyla yağışa bağımlı olan debi çok değişkendir.

Çizelge 4.1 Ömerli barajının teknik özellikleri (Akkaya, 2003)

Hidrolojik Veriler	
Yağış Alanı	621 km ²
Yıllık Ortalama Yağış	800 mm
Tahmin Edilen Yıllık Akım	194 x 106 m ³
Gözlenmiş En Küçük Akım	0.000
Gözlenmiş En Büyük Akım	348 m ³ /sn
Ortalama Akım	5.127 m ³ /sn
Baraj Gölü Verileri	
Minimum İşletme Kotu Altında Kalan Hacim	122 x 106 m ³
En Düşük İşletme Kotu	46.00 m
Aktif Hacim	235 x106 m ³
En Yüksek İşletme Kotu	62.00 m
En Büyük Hacim	357 x 106 m ³
En Yüksek Feyezan Kotu	63.50 m
En Yüksek Feyezan Kotundaki Hacim	388 x 106 m ³
Dolu savak İle İlgili Veriler	
Tipi	Kapaksız, Serbest Akışlı
Kret Genişliği	50.0 m
Kret Kotu	62.0 m
Proje Dizayn Debisi	2280 m ³ /sn

4.6 Yerleşim ve Nüfus

Ömerli barajı havzasına Sultanbeyli, Samandıra, Sarıgazi, Paşaköy, Alemdağ, Yenidoğan ve Sultançiftliği belediyeleri hizmet etmektedir.

Pendik'e bağlı baraj havzasında kalan köyler, Kurna, Ballica, Emirli, Göçbeyli ve Kurtdoğan'dır. Tuzla'ya bağlı baraj havzasında ki köyler ise Tepeören, Balçık, Ömerli ve Esenceli'dir.

Baraj yapıldığı senelerde nüfus yoğunluğu çok az, insanların yaptığı faaliyetler ise çok sınırlı ve önemsizdi. Tabii ortam bozulmamış, havzanın büyük bir kısmı ormanlık alan görüntüsünde idi. Ayrıca dere ve diğer kaynak suları içilebilir kalitede idi. Kısacası Ömerli Baraj havzası çevresel açıdan bozulmamıştı.

Havzadaki konut dağılımı ise şu şekildedir: Sultanbeyli'de yaklaşık 29000 bina ve yaklaşık 98000 konut bulunmaktadır. Samandıra'da, 95000 bina, Sarıgazi'de 8700 bina bulunmaktadır.

Ömerli Havzasının nüfusu sürekli artmaktadır. Baraj kurulduğu yıllarda nüfus 15000 kişi iken 1999 'da bu rakam yaklaşık 400.000'e yaklaşmış durumdadır (Akkaya, 2003).

4.7 Ömerli Barajına Akan Dereler ve Bağlı Olduğu Kollar

Kömürlük dere, Bıçkı dere, Muslu Yatak deresi, Sarıkız deresi, Ozan dere, Büyük dere, Soğut Geçidi dere Karadere ve kolları Sazak dere, Zubcan dere, ve Kahvecioğlu deresi kolu Göçbeyli dere, Kadıçayır dere, Topçayırılar dere, Ballica dere, Balçık dere (Akkaya, 2003).

Çizelge 4.2 Ömerli havzasının nüfus dağılımı (Akkaya, 2003).

Yıllar	1975	1980	1985	1990	1997	1999	2010*	2020*	2030*
Sarıgazi	1300	2775	3701	22125	53000	56228	77832	104600	140575
Sultançiftliği	925	2035	3777	9747	23615	25053	34679	46606	62635
Yenidoğan	272	492	834	4798	20850	22120	30619	41419	55301
Şamandıra	4974	4779	5317	19524	52000	55167	76364	102627	137922
Sultanbeyli	1804	2431	3741	82298	162000	171866	237903	319722	429680
Alemdağ	3056	4044	5433	6684	9067	9619	13315	17894	24048
B.Bakkalköy				3134	3854	4089	5660	7607	10223
Paşaköy	585	720	869	1827	5067	5376	7442	10001	13441
Emirli	305	311	435	688	364	386	534	718	945
Kurnaköy	387	442	543	718	909	964	1334	1793	2410
Esenceli			126	163	201	213	295	397	534
Kurtdoğan	346	405	440	587	650	690	955	1283	1724
Tepeören	548	620	1147	928	1439	1527	2114	2841	3818
Ballica	456	558	759	199	437	464	642	863	1160
Göçbeyli				565	3061	3247	4495	6041	8119
Akfırat				11257	2662	2824	3909	5253	7060
Balçık			724	1102	1355	1438	1991	2676	3596
Ovacık			318	390	480	509	1705"	1948	1274
Mollafenari			655	684	841	892	1235	1660	2231
Cumaköy			791	972	1195	1268	1755	2359	3170
Kandilli			362	426	524	556	770	1035	1391
Kömürlük			207	208	256	272	377	507	681
Kervansaray			261	282	347	368	509	684	919
Bıçkıdere			251	215	264	280	388	521	700
Oruçoğlu			319	341	419	445	616	828	1111
Şile			1038	1046	25625	27186	37625	50565	67909
Toplam				160908	370482	393047	544063	731448	914668

Nüfus artışı iller bankası yöntemine göre yapılmıştır.

4.8 Tarım, Orman ve Hayvancılık

Havzanın kuzey tarafı, orman ve fundalık alanlarla kaplı olup aralarında çiftlikler, tarım arazileri ve küçük yerleşim birimleri mevcuttur.

Havzada en çok sulu tarım yapılan köyler Kuma, Emirli, Paşaköy Kurtdoğan'dır. Buraların toplam alanı 3700 dekadır. Bu köylere 1998'de 150 ton gübre dağıtımı yapılmıştır. En çok tarımı yapılan bitkiler arpa ve yulaftır. Diğer köylerle birlikte havza içinde ziraat yapılan toplam alan 10.000 dekar civarındadır.

Baraj gölünden ve derelerden tarım için ciddi manada su kullanımı yoktur. Sadece meyvelik, sebzelik, sera bitkileri (örtü altı sebze) ve süs bitkileri için su kullanımı mevcuttur. Toplam 3760 dekar sulu tarım alanının 1360 dekarı yetişen bitkilerin devamlı suya ihtiyaç gösteren türlerdir.

Çizelge 4.3 Ömerli barajının arazi dağılımı (Akkaya, 2003).

Arazi Kullanımı	Alan (km ²)	%
Orman	320	51.53
Tarım	219	35.26
Yerleşim	59	9.50
Göl	23	3.71
Toplam	621	100.00

Çizelge 4.4 Tarım arazilerinin bitki türlerine göre dağılımı (Akkaya, 2003).

Cinsi	Alan (Dekar)
Meyvelik	150
Sebzelik	1000
Örtü altı sebze	60
Süs bitkileri	150
Diğer	2340

Havzada yaklaşık olarak 9000-10000 adet büyükbaş, 6000-7000 adet küçükbaş hayvan mevcuttur. 800000-1000000 adet arasında da kümes hayvanı mevcuttur.

Ömerli barajı havzasında Karadeniz'e yönelik Riva deresi çıkışı yönüne akıntı mevcuttur (Akkaya, 2003).

4.9 Sanayi ve Ticaret

Ömerli havzasında sanayi tesislerinde ve imalathanelerde yıllara göre büyük artış olduğu görülmüştür.

Ömerli havzasında yaklaşık 860 civarında havzayı olumsuz yönde etkileyen iş kategorilerinden çeşitli dallarda birimler mevcuttur. 15 adeti faaliyetini durdurmuş ya da inşaat halindedir.

Havzanın dağlık bölgelerinde taş ocakları, sığır otlakları, çiftlikleri ve dinlenme tesisleri dikkat çekerken, yerleşik alanlarda petrol istasyonları, atık vermeyen küçük atölyeler ile orta ve küçük ölçekli esnafın ağırlıkta olduğu görülmektedir.

Bazı yerlerde taş, kum, çakıl, stabilize ocakları çalışmalarına devam etmektedir. Havzadaki yerleşim bölgelerinde çeşitli dallarda faaliyet gösteren imalathaneler mevcuttur. Örneğin Paşaköy’de odun ekmeği fırınları, Alemdağ çevresinde çiçek seraları Sarıgazi, Sultanbeyli ve Samandıra civarında çok sayıda tekstil atölyeleri, tavuk üretme çiftlikleri, köylerde ise ahırlar ve kümesler mevcuttur.

Bütün yerleşim birimlerinde bakkal, lokanta, kahvehane, fırın, manav, çeşitli dallarda atölyeler, oto tamir ve bakım yerleri, petrol istasyonlarına ait yıkama-yağlama atölyeleri mevcuttur.

Ömerli Su Toplama Havzasında Bulunan Tesislerin Faaliyet Alanları Çizelge 4.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Ömerli su toplama havzasında bulunan tesislerin faaliyet alanları
(Ceyhan, 1999).

Kategori	Toprak Ürünleri ve Alçı Endüstrisi
Alt Kategori	Reflakter malzeme (Ateş Tuğla San)
	Alçı ve alçıdan ürünler
	Sırlı ürünler
Kategori	Beton ürünleri endüstrisi
Kategori	Cam Endüstrisi
Alt Kategori	Pres ve üfleme ile şekil verme
Kategori	Metalik olmayan madenlerin çıkarımı ve işlenmesi
Kategori	Demir-Çelik endüstrisi
Alt Kategori	Sıcak şekillendirme ve profil haddesi
Kategori	Demir alaşımlı üretimi
Alt Kategori	Açık elektrik fırınları
Kategori	Dökümhaneler
Alt Kategori	Alüminyum
	Demir-Çelik
	Çinko
Kategori	Metal san. işlemleri endüstrisi
Alt Kategori	Adi metaller
	Siyanürlü atıksular
	Kromlu atıksular
	Yağlı atıksular
Kategori	Alüminyum şekillendirme endüstrisi
Alt Kategori	Dövme
	Aşındırma ve yıkama
Kategori	Elektronik ve elektrikli araçlar endüstrisi
Alt Kategori	Kuru ürünler
Kategori	Süt ve süt ürünleri endüstrisi
Alt Kategori	Yoğurt ve ayran ürünleri
Kategori	Tahıl Değirmenleri
Alt Kategori	Kuru Yöntemler
Kategori	Unlu Ürünler ve şekerleme endüstrisi
Kategori	Hayvan besiciliği
Alt Kategori	Tavuk besiciliği kümes drenajı
	Sığır besiciliği ahır drenajı ve sığır besiciliği açık alan drenajı
	Süt inekleri besiciliği ahır drenajı ve süt inekleri besiciliği açık alan drenajı
	Koyun besiciliği ahır drenajı ve koyun besiciliği açık alan drenajı

	Köpek besiciliği kapalı alan drenajı
Kategori	Mezbahalar ve et ürünleri endüstrisi
Alt Kategori	Mezbahalar
	Kombinalar
	Et işleme endüstrisi
Kategori	Orman ürünleri endüstrisi
Alt Kategori	Mobilya yapımı
	Dilme ve kontrplak üretimi
Kategori	Ağaçtan elde edilen ürünler
Alt Kategori	Ham reçineden reçine ve terebentin üretimi
Kategori	Kağıt hamuru ve kağıt endüstrisi
Alt Kategori	Atık kağıttan kağıt imalatı
Kategori	Tekstil endüstrisi
Alt Kategori	Örgü kumaş sanayi işlemleri. Az su kullanılan yöntemleri
Kategori	Sabun ve deterjan endüstrisi
Alt Kategori	Yağ parçalama ile yağ asidi üretimi
Kategori	Kauçuk endüstrisi
Alt Kategori	Kauçuk işlemi
Kategori	Organik kimyasal maddeler plastikler ve sentetik elyaf üretimi
Alt Kategori	Oksidasyon dışı üretim yöntemleri
Kategori	Plastik işleme endüstrisi
Alt Kategori	Temizleme ve son işlemler için su kullanımı
Kategori	İnorganik kimyasal maddeler endüstrisi
Alt Kategori	Boraks
	Çinko sülfat
Kategori	Boya ve mürekkep üretimi endüstrisi
Alt Kategori	Solvent bazlı boyalar
	Mürekkep üretimi solvent ile yıkama
	Su bazlı boyalar
Kategori	Yapıştırıcılar ve yalıtkan maddeler üretimi endüstrisi
Alt Kategori	Hayvansal tutkal ve jelatin üretimi
Kategori	Depo ve ticaret haneler
Kategori	Sınıflandırılmamış endüstriler

4.10 Ömerli Havzası'nın Su Kalitesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Havzanın su kalitesi ile ilgili daha önce yapılan çalışmalardan bazıları tarih sırasına göre aşağıda belirtilmiştir:

DAMOC Raporu; Günümüzde geliştirilen projelerin temelini Dünya Sağlık Örgütü (WHO) öncülüğünde kısa adı DAMOC olan bir şirketler birliğine yaptırılan fizibilite

raporu oluşturmaktadır. 1964–1968 yılları arasında Riva deresinde yapılan analiz sonucunda düşük oranda bakteriyel kirlilik bulunmuştur.

1990 DSİ Kirlilik Araştırma Raporu; Havzanın %90'ının izlenebildiği analizler sonucu, gölü besleyen akarsuların bakteriyolojik açıdan kirli olduğu tespit edilmiştir.

1993 OEJV Raporu; Bu çalışma ile Elmalı ve Ömerli Rezervuarlarının su kalitesinin içme suyu olarak kullanılabilir halden çıkmasının önlenmesi ve mevcut durumun iyileştirilmesine yönelik alternatif çözümler getirilmiştir.

1994 Çevre Bakanlığı-İTÜ Acil Eylem Planı; DSİ'nin 1981-1991 ve İSKİ'nin 1990-1992 yıllarındaki ölçümleri değerlendirildiğinde, rezervuarı besleyen başlıca derelerden SKKY'ne göre havzanın kuzey ve doğusunda kalan 4 dere ve güneydeki derelerden biri 1.sınıf, güneydeki diğer dere 3.sınıf, batıdaki derenin ise 4. sınıf su kalitesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

2003 TÜBİTAK MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü 502 75 02 No'lu Rapor; Mayıs 2002-Nisan 2003 sürecinde Ömerli Baraj Gölü ve göle karışan bazı derelerde kirlenici derişimleri ve bunların zamana bağlı değışimleri analiz edilmiştir (Akkaya, 2003).

5. GÖLE GELEN BESİ MADDESİ YÜKLERİNİN HESABI

Ötrofikasyon, pek çok ülkenin su kalitesinin azalmasına sebep olan en önemli etkenlerden biridir. Göle gelen yükleri hesaplayarak hangi besi maddesinin modellemede kullanılacağı belirlenebilmektedir. Su ortamına besi girişi genellikle atıksu deşarjları, atmosferik yağışlar, yer altı suyu ve yüzeysel akış ile olmaktadır (Özecik, 2006).

Noktasal olmayan kaynakların miktarını belirlemek oldukça zordur.

Bu çalışmada, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ)'nden alınan ve 2004–2007 yılları arasında ki muhtelif tarihlerde alınmış numunelerin analiz edilmesi sonucu ortaya çıkan veriler değerlendirilmiş olup, bu döneme ait nitrit azotu konsantrasyonu ile ilgili veri bulunmadığından amonyum azotu ile nitrat azotu konsantrasyonlarının toplamı toplam azot; yine bu döneme ait organik fosfor konsantrasyonu ile ilgili veri bulunmadığından toplam inorganik fosfor konsantrasyonu da toplam fosfor olarak alınmıştır. İnorganik fosforun, algler tarafından besin olarak kullanılması ve zaman içerisinde bu alglerin ölmesiyle, dip sedimentte organik fosfora dönüşeceği yaklaşımı benimsenmiştir.

5.1 Havzadaki Kirletici Kaynaklardan Gelen Yükler

Ömerli Baraj Gölüne gelen toplam fosfor ve toplam azot yüklerini tahmin etmek için, noktasal kaynaklardan ve noktasal olmayan kaynaklardan gelen yükler önemlidir.

Ömerli Gölüne gelen yük kaynakları baraj havzasının çok geniş olması dolayısıyla orman ve tarım alanları ile derelerden gelen yüzeysel ve sızıntı suları, fosseptik, sızıntı suları gibi değişik kaynaklardır. Göle gelen yük hesap edilirken en önemli unsur insanların faaliyetleri sonucu oluşan yükün belirlenmesidir (Ceyhan, 1999).

Kırsal bölgelerde yüzeye verilen besi maddesinin %10'u yüzey suları ile taşınmaktadır. Bu sebeple Ömerli yağış alanının dışında kalan bölgelerde tarım alanı, insan ve çiftlik hayvanlarına ait yük hesabında hesaplanan besi maddesi yükünün %10'unun göle ulaştığı kabul edilerek yükün %10'u alınmıştır (Ceyhan, 1999).

5.1.1 Noktasal Olmayan Kaynaklardan Gelen Yükün Hesaplanması

Ömerli havzasında toprak kullanımı Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Ömerli havzasındaki arazi kullanım alanları ve dağılımı (Akkaya, 2003).

Arazi Kullanımı	Alan (km ²)	Dağılım (%)
Orman	320	51
Fundalıklar	219	35
Tarımsal Alan	59	9,5
Yerleşim ve	23	4,5
Endüstriyel Alan		
TOPLAM	621	100

Çizelge 5.2 Göle gelen kirlетici yük hesabının yapılışında kullanılabilеcek besin maddesi transport katsayıları (Rast and Lee, 1982).

	TP (g/m ² -yıl)	TN (g/m ² -yıl)
Kentsel	0.1	0.5
Kırsal/Tarım	0.05	0.5
Orman	0.005-0.01	0.3
Atmosfer	0.025 +	2.4+

Çizelge 5.3 Derelerin yıllık ortalama debileri (m³/sn).

	2004 yılı (m ³ /sn.)
Göçbeyli	0,181
Balıca	0,668

Ömerli Baraj Gölü, havza alanına noktasal olmayan kaynaklardan gelen nutrient miktarının hesaplanmasında Çizelge 5.2'deki değerler kullanılmıştır.

5.1.1.1 Toplam Fosforun Hesaplanması:

Kırsal/Tarım Alanından Gelen Yükler

Toplam Kırsal/Tarım Alanı = (Toplam alan)- (Gölün yüzey alanı)- (Toplam orman alanı)

Toplam Kırsal/Tarım Alanı = (621 km²x10⁶ x m²/km²) - (23 km²x10⁶ x m²/km²)

- (320 km²x10⁶ x m²/km²)

= 278 km² =278 x 10⁶ m²

(Toplam Kırsal/Tarım Alanı) x (Besin maddesi transport katsayısı)

= (278 x 10⁵ m²) x (0.05 g/m².yıl) = 13,9 x 10⁶ g/yıl

Orman Alanından Gelen Yükler

$$\begin{aligned} & (\text{Toplam Orman Alanı}) \times (\text{Besin maddesi transport katsayısı}) \\ & = (320 \text{ km}^2 \times 10^6 \times \text{m}^2/\text{km}^2) \times (0.005 \text{ g/m}^2.\text{yıl}) = 1,6 \times 10^6 \text{ g/yıl} \end{aligned}$$

Atmosferden Gelen Yükler

$$\begin{aligned} & (\text{Gölün Yüzey Alanı}) \times (\text{Besin maddesi transport katsayısı}) \\ & = (23 \text{ km}^2 \times 10^6 \times \text{m}^2/\text{km}^2) \times (0.025 \text{ g/m}^2.\text{yıl}) = 0,575 \times 10^6 \text{ g/yıl} \\ & = 575 \text{ kg/yıl} \end{aligned}$$

Toplam Fosfor

$$\begin{aligned} & [(\text{Kırsal/Tarım}) \times (0,1)] + [(\text{Orman}) \times (0,1)] + (\text{Atmosfer}) \\ & = [(13,9 \times 10^6) \times (0,1)] + [(1,6 \times 10^6) \times (0,1)] + (0,575 \times 10^6) = 16,075 \times 10^6 \text{ g/yıl} \\ & = 16075 \text{ kg/yıl} \end{aligned}$$

5.1.1.2 Toplam Azotun Hesaplanması:**Kırsal/Tarım Alanından Gelen Yükler**

$$\begin{aligned} & (\text{Toplam Kırsal/Tarım Alanı}) \times (\text{Besin maddesi transport katsayısı}) \\ & = (278 \times 10^5 \text{ m}^2) \times (0.5 \text{ g/m}^2.\text{yıl}) = 139 \times 10^6 \text{ g/yıl} \end{aligned}$$

Orman Alanından Gelen Yükler

$$\begin{aligned} & (\text{Toplam Orman Alanı}) \times (\text{Besin maddesi transport katsayısı}) \\ & = (320 \text{ km}^2 \times 10^5 \times \text{m}^2/\text{km}^2) \times (0.3 \text{ g/m}^2.\text{yıl}) = 96 \times 10^6 \text{ g/yıl} \end{aligned}$$

Atmosferden Gelen Yükler

$$\begin{aligned} & (\text{Gölün Yüzey Alanı}) \times (\text{Besin maddesi transport katsayısı}) \\ & = (23 \times 10^5 \text{ m}^2) \times (2.4 \text{ g/m}^2.\text{yıl}) = 55,2 \times 10^6 \text{ g/yıl} \end{aligned}$$

Toplam Azot

$$\begin{aligned} & [(\text{Kırsal/Tarım}) \times (0,1)] + [(\text{Orman}) \times (0,1)] + (\text{Atmosfer}) \\ & = (13,9 \times 10^6) + (9,6 \times 10^6) + (55,2 \times 10^6) \\ & = 78,7 \times 10^6 \text{ g/yıl} = 7870 \text{ kg/yıl} \end{aligned}$$

5.1.2 Noktasal Kaynaklardan Gelen Yük Hesabı

Noktasal kaynaklardan Ömerli Baraj Gölüne gelen fosfor ve azot yükleri, göle gelen derelerin ortalama fosfor ve azot konsantrasyonları ile çarpımı sonucu hesaplanmıştır. 2004 ve 2005 yılları için yalnız Ballica ve Göçbeyli derelerinin ortalama debileri bilindiğinden, sadece bu iki dere ile ilgili yük hesabı yapılmıştır.

Çizelge 5.4 Derelerin getirdiği toplam fosfor konsantrasyonları (mg/L).

Dereler	2004	2005	2006	2007
Göçbeyli	0,11	0,07	2,22	0,07
Ballica	0,28	0,13	0,826	0,13

Çizelge 5.5 Derelerin getirdiği azot (NH₃-N,NO₃-N) konsantrasyonları (mg/L).

Dereler	2004	2005	2006	2007
Göçbeyli	1,85	1,75	1,93	3,81
Ballica	1,6	1,69	2,78	2,79

5.1.2.1 Toplam Fosforun Hesaplanması

Endüstri ve Sanayiden Gelen Yükler

Endüstri ve sanayinin 1992 yılında sabit kaldığı kabul edilmiştir. 1992 yılındaki toplam-P 18 kg/gün, toplam-N ise 70 kg/gün olarak tahmin edilmiştir (Ceyhan, 1999).

$$(18 \text{ kg.P/gün}) \times (365 \text{ gün/yıl}) = 6,6 \text{ t./yıl}$$

Büyükbaş Hayvanlardan Gelen Yükler

$$(9500 \text{ adet}) \times (25 \text{ kg/adet-yıl}) = 237,5 \text{ t./yıl}$$

Küçükbaş Hayvanlardan Gelen Yükler

$$(6500 \text{ Adet}) \times (2 \text{ kg/adet-yıl}) = 13 \text{ t./yıl}$$

Kümes Hayvanlarından Gelen Yükler

$$(900.000 \text{ adet}) \times (0,2 \text{ kg./tavuk-yıl}) = 180 \text{ t./yıl}$$

Nüfustan Gelen Yükler

$$(400.000 \text{ kişi}) \times (1,5 \text{ kg/kişi-yıl}) = 600 \text{ t./kişi-yıl}$$

Toplam Fosfor

$$(\text{Endüstri-Sanayi}) + (\text{Küçükbaş H.} \times 0,1) + (\text{Büyükbaş H.} \times 0,1) + (\text{Kümes H.} \times 0,1)$$

$$+ (\text{Nüfus} \times 0,1)$$

$$= 6,6 + 1,3 + 23,75 + 18 + 60 = 109,65 \text{ t./yıl}$$

5.1.2.2. Toplam Azotun Hesaplanması

Endüstri ve Sanayiden Gelen Yükler

$$(365 \text{ gün}) \times (70 \text{ kg/gün}) = 25 \text{ t./yıl}$$

Büyükbaş Hayvanlardan Gelen Yükler

$$(9500 \text{ Adet}) \times (38 \text{ kg/adet-yıl}) = 361 \text{ t. /yıl}$$

Küçükbaş Hayvanlardan Gelen Yükler

$$(6500 \text{ Adet}) \times (11 \text{ kg./adet-yıl}) = 71,5 \text{ t./yıl}$$

Kümes Hayvanlarından Gelen Yükler

$$(900.000 \text{ Adet}) \times (0,5 \text{ kg/tavuk-yıl}) = 450 \text{ t./yıl}$$

Nüfustan Gelen Yükler

$$(220000 \text{ Kişi}) \times (12 \text{ g/ gün}) = 963,6 \text{ t./yıl}$$

Toplam Azot

$$(\text{Endüstri-Sanayi}) + (\text{Büyükbaş H.} \times 0,1) + (\text{Küçükbaş H.} \times 0,1) + (\text{Kümes H.} \times 0,1)$$

$$+ (\text{Nüfus} \times 0,1)$$

$$= 25 + 36,1 + 7,15 + 45 + 96,36 = 209,61 \text{ t./yıl}$$

5.1.2.1 Toplam Fosfor ve Azot Yükünün Hesaplanması

2004 Yılı toplam fosfor:

$$= (\text{Derelerden gelen yük}) + (\text{Endüstri-Sanayi}) + (\text{Büyükbaş H.} \times 0,1) + (\text{Küçükbaş H.} \times 0,1) + (\text{Kümes H.} \times 0,1) + (\text{Nüfus} \times 0,1)$$

$$= [(0,181 \text{ m}^3/\text{gün} \times 107,5 \text{ mg/m}^3) + (0,668 \text{ m}^3/\text{gün} \times 280 \text{ mg/m}^3)] \times (\text{m}^3/\text{gün}) \times (\text{mg/m}^3) \times (1 \text{ kg}/10^9 \text{ mg}) \times (365 \text{ gün/yıl})] + 109,65 \text{ t./yıl}$$

$$= 109,65 \text{ t./yıl}$$

2004 Yılı toplam azot:

$$= [(0,181 \text{ m}^3/\text{gün} \times 1850 \text{ mg/m}^3) + (0,668 \text{ m}^3/\text{gün} \times 1600 \text{ mg/m}^3)] \times (\text{m}^3/\text{gün}) \times (\text{mg/m}^3) \times (1 \text{ kg}/10^9 \text{ mg}) \times (365 \text{ gün/yıl})] + 209,61 \text{ t./yıl}$$

$$= 209,61 \text{ t./yıl}$$

2004 yılına ait debi üzerinden diğer yılları da kapsayan toplam azot ve toplam fosfor yükleri hesaplanmış olup, söz konusu bulgular debinin 2004 yılından sonra çok büyük bir değişiklik göstermediği kabulü ile Çizelge 5.6.'da verilmiştir.

Çizelge 5.6 2004–2006 Yılları arasındaki fosfor ve azot yükleri.

Tarih	Fosfor Yükü (T/yıl)	Azot Yükü(T/yıl)
2004	109,65	209,61
2005	109,65	209,61
2006	109,65	209,62
2007	109,65	209,62

Çizelge 5.6'ya göre 2004–2007 yılları arasında Ömerli havzasından noktasal kaynak olan derelerden gelen yıllık ortalama toplam fosfor ve toplam azot yükleri aşağıda hesaplanmıştır.

Toplam Fosfor:

$$= [(109,65 + 109,65 + 109,65 + 109,65)] \text{ (t./yıl)} / 4$$

$$= 109,65 \text{ t./yıl}$$

Toplam Azot:

$$= [(209,61 + 209,61 + 209,62 + 209,62)] \text{ (t./yıl)} / 4$$

$$= 209,62 \text{ t./yıl}$$

5.2 Göle Gelen Yükün Göl İçin İzin Verilen ve Fazla Yük ile Karşılaştırılması

Vollenweider A.B.D. de pek çok su kaynağında yaptığı çalışma sonucunda eğrileri elde etmiştir. Bu grafikte düşey ekseninde göle gelen fosfor yükü ve yatay ekseninde de göl ortalama derinliğinin hidrolik bekleme süresine oranını vermektedir (Akkoyunlu, 2002). Eğride görülen fazla ve kabul edilebilir yük eğrileri gölü besi maddesine bağlı olarak ötrofik, mezotrofik ve oligotrofik olarak hangi sınıfta olduğu ayrımını yapmaktadır. Kabul edilen ve fazla yük ile ilgili denklemler aşağıda verilmektedir (Vollenweider R.A., 1975).

$$L_P(P) = 100 + 10 (Z/ R_w) \quad (\text{mg P/m}^2\text{-yıl}) \quad (5.1)$$

$$L_e(P) = 200 + 20 (Z/ R_w) \quad (\text{mg P/m}^2\text{-yıl}) \quad (5.2)$$

Burada Z (m) gölün ortalama derinliğini ve R_w (yıl) hidrolik bekleme süresini temsil etmektedir (Akkoyunlu, 2002).

Gölün hacmi $357 \times 10^6 \text{ m}^3$, yüzey alanı 23 km^2 , ortalama derinlik 15,2 m alınmıştır. Bu durumda,

$$R_w = V/Q = 357 \times 10^6 / 870 \times 10^3 \times 365 = 1.12 \text{ yıl olur.}$$

$$L_p(P) = 100 + 10 (15,2 / 1.12) = 235.71 \text{ mg P m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$$

$$L_c(P) = 200 + 20 (15,2 / 1.12) = 471.43 \text{ mg P m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$$

2004 yılı için;

$$L(P) = 109650 \text{ (kg./yıl)} / 23 \text{ km}^2 = 283.13 \text{ (kg./yıl.km}^2) \times (1 \text{ km}^2/10^6 \text{ m}^2) \times (10^6 \text{ mg/kg.}) = 1096,5 \text{ mg P /m}^2 \cdot \text{yıl} = 1,0965 \text{ g. P/m}^2 \cdot \text{yıl}$$

Fosfor yükü, izin verilen fosfor yükünün ($1096,5 / 235.71 = 4$) 4 katıdır. Bu da, rezervuarın durumunu ötrofik olarak ortaya koyar.

2004–2007 yılları arasında toplam fosfor yükü, izin verilen yükün çok üstünde ve göl ötrofik durumdadır.

2004–2007 yılları arasındaki toplam fosfor yükü:

$$= [(109,65 + 109,65 + 109,65 + 109,65)] \text{ (t./yıl)} / 4$$

$$= 109,65 \text{ t./yıl}$$

$L(P)$ = Göle giren toplam fosfor / Gölün yüzey alanı

$$= 109650 \text{ (kg./yıl)} / 23 \text{ km}^2 = 283.13 \text{ (kg./yıl.km}^2) \times (1 \text{ km}^2/10^6 \text{ m}^2) \times (10^6 \text{ mg/kg.})$$

$$= 1096,5 \text{ mg P /m}^2 \cdot \text{yıl} = 1,0965 \text{ g. P/m}^2 \cdot \text{yıl}$$

$$Q = 0,85 \text{ m}^3/\text{sn.}$$

$$R_w = V/Q$$

$$= (357 \times 10^6 \text{ m}^3 / 0,85 \text{ m}^3/\text{sn.}) \times (1 \text{ yıl}/365 \text{ gün}) \times (1 \text{ gün} / 86400 \text{ sn})$$

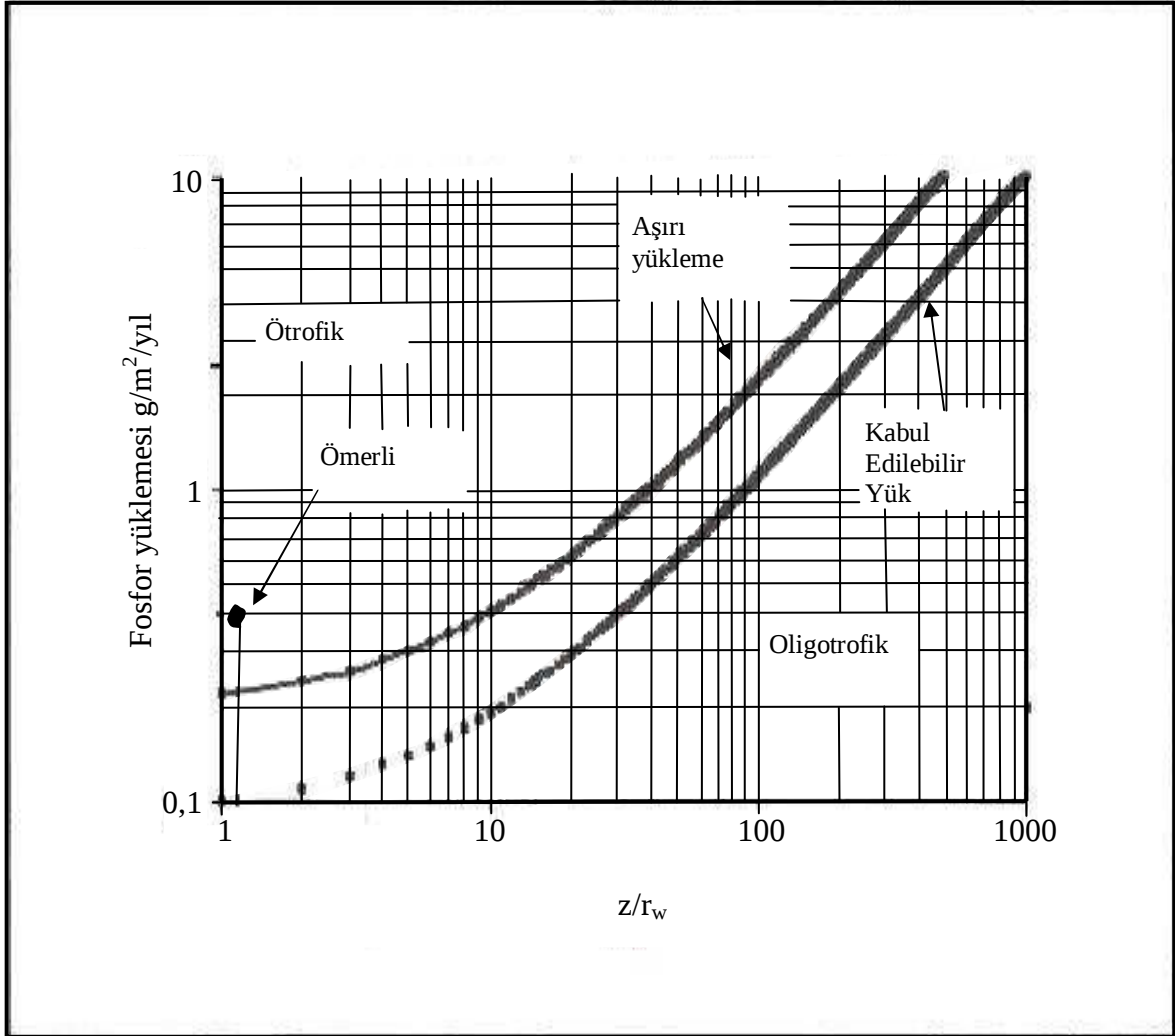
$$= 13,32 \text{ yıl}$$

$$Z/R_w = 15,2 / 13,32 = 1,14 \text{ m/yıl}$$

$$L_p(P) = 100 + 10 \times 1,14 = 111,4 \text{ mg P /m}^2 \cdot \text{yıl}$$

$$L_e(P) = 200 + 20 \times 1,14 = 222,8 \text{ mg P /m}^2 \cdot \text{yıl}$$

Bu hesaplamalardan da hareketle, 2004 yılı sonrasında debide bir değişiklik olmadığı varsayımı ile göldeki toplam fosfor yükünün izin verilen yükün üzerinde olduğu ve ötrofik durumun artarak devam ettiği kanaatine varılmıştır.



Şekil 5.1 Fosfor yükünün ve z/r_w 'nin bir fonksiyonu olarak trofik durum (Rast&Lee, 1982).

6. ÖMERLİ BARAJ GÖLÜNÜN TROFİK DURUMUNUN ARAŞTIRILMASI

6.1 Göldeki Sınırlayıcı Elementin Belirlenmesi

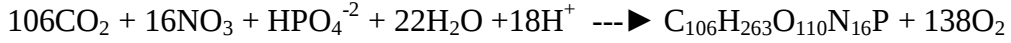
Azot ve fosfor girişlerinden hangisinin kontrol edileceğine karar vermek için azot ve fosforun birbirine nazaran izafi miktarını, yani N/P oranını bilmek gerekir. Bitki biokütlesinin maksimum miktarını kontrol edecek olan besi elementi, konsantrasyonu en küçük olan veya bir başka ifade ile diğerinden önce tükenen veya diğerinden önce bir minimuma ulaşan besi elementidir. Ortamda mevcut azot, bazı şartlar altında, fosfordan önce minimum bir değere ulaşabilir ve bunun bir neticesi olarak da, maksimum biyokütle, yani klorofil-a miktarını kontrol edebilir. Yani azot tükenince biyokütle azalmaya başlar. Azotun tükendiği zamanda veya yerde fosfor hâlâ kâfi konsantrasyonda mevcuttur, önce fosfor tüketilip bitirilirse, bitki biyokütlesi fosfor tarafından kontrol ediliyor demektir. Fosfor tükendiği anda biyokütle artık maksimuma ulaşmış bulunur ve bu andan itibaren klorofil-a azalmaya başlar. Bu iki halden hangisinin gerçekleşeceği bitkinin muhtaç olduğu azot ve fosforun rölatif miktarı ile ortamda bulunan azot ve fosforun rölatif miktarına bağlıdır. Fosfor arıtımı daha ucuz olduğundan biyolojik gelişmeyi fosforun kontrol etmesi istenir. Alg hücrelerinin yapısı, yani hücre formülündeki N/P oranı için bazı kabullere göre hesap yapılabilir. Klorofil-a'nın mikrogramı başına 1 mikrogram fosfor ($1 \mu\text{g P}/\mu\text{g klorofil-a}$) ve 10 mikrogram azot ($10 \mu\text{g N}/\mu\text{g klorofil-a}$) oranları kabul edilirse, $\text{N/P} < 10$ için sistem azot tarafından, $\text{N/P} > 10$ için sistem fosfor tarafından kontrol edilir. $\text{N/P} = 10$ ise her iki besi elementi de sistemi kontrol etmez. Bu hesap bitki stokiyometresine bağlıdır. Bu sebeple genel bir kaide olarak $\text{N/P} > 20$ olması halinin fosfor kontrollü, $\text{N/P} < 5$ olması halinin azot kontrollü sistemleri yansıttığını kabul etmek daha emniyetli olur (Çıplakoğlu, 2006).

Deniz sularında N/P oranı düşük olup bu sular azot kontrollüdür. Yani bu sularda azot konsantrasyonları azalırken veya azaltılırken fitoplankton hayatı gelişmesini durdurur. Nokta kaynakların hakim olduğu küçük dağ akarsuları azot kontrollüdür. Fakat bu akarsulara giren atıksu kaynaklarında fosfor tasfiyesi yapılsa, bu sular fosfor kontrollü hale de getirilebilir. Noktasal olmayan besi maddesi kaynaklarının hakim olduğu büyük nehirler ise fosfor kontrollüdür. Büyük göllere noktasal olmayan kaynaklardan giriş olur. Bu sularda fitoplankton gelişmesi, fosfor konsantrasyonlarının düşürülmesiyle durur. Küçük göller ise önemli noktasal kaynaklardan kirlenirler ve azot kontrollüdürler. Fakat fosfor tasfiyesi yapılsa, fosfor kontrollü olabilirler. Bu konuda değişik durumlarla

karşılaşılabılır. Mesela azot kontrollü tatlı su sistemlerinde, azotu tasfiye edip fitoplankton sayısı azaltılmak istenirken $N/P < 4$ gibi düşük oranlara ulaşılması halinde bile mavi - yeşil alglerin ürediği görülmüştür. Zira bu alg, eksik azotu, atmosfer azotunu bağlayarak giderebilmektedir (Çıplakoğlu, 2006).

Ötrofikasyonu kontrol etmede sınırlayıcı element olarak genellikle azot veya fosfor kullanılır. Justus Liebig 1840'ta yaptığı çalışmalarda nutrientlerden birisinin az olmasının büyümei engelleyeceğini belirtmiştir. Besi maddesi organizmanın bu besin maddesine ihtiyacı oranında organizma tarafından tüketilir ve büyüme, ihtiyaç duyulan mevcut en az miktardaki madde ile sınırlanmıştır. Bu Liebig'in minimum kanunu olarak bilinir (Özecik, 2006).

Alg protoplazmasının oluşumu şöyledir:



Basit bir stokiyometrik analiz kullanılarak azotun fosfora oranı ağırlık olarak,

$$N/P = 16 \times 14 / 1 \times 31$$

$$N/P = 7.2 \text{ bulunur.}$$

Alg hücreleri için stokiyometrik oran C: N: P = 106: 16: 1'dir. Yeterince ışık ve sıcaklık olduğu zaman 1 mol fosfor ve 16 mol azot ve 106 mol karbon alg büyümesi için optimum miktar olarak gereklidir.

Su içerisindeki azot ve fosforun miktarından çok alg tarafından kullanılan şekilleri önemlidir. Bu formlar fosfor için çözünmüş ortofosfat, azot için amonyak, nitrit ve nitrattır. N/P stokiyometrik oranı 16/1, kütleler oranı ise 7/1'dir. Eğer bu oran 7'den büyükse sınırlayıcı eleman fosfor, küçükse azottur (Özecik, 2006).

Gölle ilgili olarak, belirli noktalardan yapılan ölçümler ve sınırlayıcı elementin hesaplamalarıyla ilgili sonuçlar Çizelge 6.1'de ve grafik gösterimi de Şekil 6.1'de verilmektedir.

Çizelge 6.1 Kömürlük deresinde N/P oranlarının yıllara göre değişimi.

Tarih	TP(mg/L)	TN (mg/L)	N/P	S.E.
04.08.04	0,02	0,7900	39,5000	P
08.09.04	0,08	0,7900	9,8750	P
02.11.04	0,05	0,8600	17,2000	P
09.12.04	0,17	0,4100	2,4118	N
17.02.05	0,06	0,3900	6,5000	N
22.03.05	0,07	0,5000	7,1429	P
21.04.05	0,02	0,9100	45,5000	P
10.05.05	0,02	0,7000	35,0000	P
15.06.05	0,09	0,9700	10,7778	P
13.07.05	0,11	1,1800	10,7273	P
02.05.06	1,25	0,8600	0,6880	N
08.06.06	0,12	1,1500	9,5833	P
06.07.06	0,16	1,0500	6,5625	N
13.07.06	0,38	2,0800	5,4737	N
06.09.06	0,10	0,9500	9,5000	P
06.12.06	0,18	0,6600	3,6667	N
10.01.07	0,04	1,0700	26,7500	P
07.02.07	0,06	0,8600	14,3333	P
21.11.07	0,09	1,8800	20,8889	P

Çizelge 6.2 Göçbeyli deresinde N/P oranlarının yıllara göre değişimi.

Tarih	TP(mg/L)	TN (mg/L)	N/P	S.E.
04.08.04	0,13	2,0300	15,6154	P
08.09.04	0,02	1,4200	71,0000	P
02.11.04	0,07	2,5200	36,0000	P
09.12.04	0,21	1,4300	6,8095	N
17.02.05	0,09	1,1700	13,0000	P
22.03.05	0,10	1,6200	16,2000	P
21.04.05	0,11	1,5000	13,6364	P
10.05.05	0,04	1,5600	39,0000	P
15.06.05	0,02	1,7600	88,0000	P
13.07.05	0,03	2,8600	95,3333	P
02.05.06	0,47	2,4400	5,1915	N
08.06.06	0,06	2,1300	35,5000	P
06.07.06	12,40	0,1500	0,0121	N
13.07.06	0,07	1,5800	22,5714	P
06.09.06	0,11	1,3800	12,5455	P
06.12.06	0,21	3,9200	18,6667	P
10.01.07	0,07	2,6000	37,1429	P
07.02.07	0,09	1,9900	22,1111	P
21.11.07	0,05	6,8500	137,0000	P

Çizelge 6.3 Göl içinde N/P oranlarının yıllara göre değişimi.

Tarih	TP(mg/L)	TN (mg/L)	N/P	S.E.
04.08.04	0,08	0,2600	3,2500	N
08.09.04	0,02	0,2200	11,0000	P
02.11.04	0,03	0,4000	13,3333	P
09.12.04	0,02	0,5300	26,5000	P
17.02.05	0,11	1,5700	14,2727	P
22.03.05	0,14	1,7500	12,5000	P
21.04.05	0,16	1,3100	8,1875	P
10.05.05	0,02	1,0700	53,5000	P
15.06.05	0,02	0,9300	46,5000	P
13.07.05	0,02	0,7000	35,0000	P
06.07.06	0,10	0,5900	5,9000	N
13.07.06	0,03	0,2600	8,6667	P
06.09.06	0,31	0,4700	1,5161	N
06.12.06	0,11	0,5400	4,9091	N
10.01.07	0,09	1,2100	13,4444	P
07.02.07	0,13	0,9400	7,2308	P
21.11.07	0,05	0,7700	15,4000	P

Çizelge 6.4 Paşaköy arıtma tesisi giriş suyunda N/P oranlarının yıllara göre değişimi.

Tarih	TP(mg/L)	TN (mg/L)	N/P	S.E.
04.08.04	11,50	78,5000	6,8261	N
08.09.04	6,30	81,8000	12,9841	P
02.11.04	10,00	0,7000	0,0700	N
09.12.04	8,17	43,1000	5,2754	N
17.02.05	3,12	14,4800	4,6410	N
22.03.05	4,92	44,1600	8,9756	P
10.05.05	8,68	60,2400	6,9401	N
15.06.05	7,80	66,7000	8,5513	P
13.07.05	10,90	77,3800	7,0991	P
06.07.06	13,20	77,2000	5,8485	N
13.07.06	13,30	16,9500	1,2744	N
06.09.06	8,16	72,1000	8,8358	P
06.12.06	10,76	90,1000	8,3736	P
10.01.07	8,44	82,2000	9,7393	P
07.02.07	9,00	16,7600	1,8622	N
21.11.07	6,52	55,1000	8,4509	P

Çizelge 6.5 Paşaköy arıtma tesisi çıkış suyunda N/P oranlarının yıllara göre değişimi.

Tarih	TP(mg/L)	TN (mg/L)	N/P	S.E.
04.08.04	8,46	6,6400	0,7849	N
08.09.04	6,10	6,6500	1,0902	N
02.11.04	2,21	4,1500	1,8778	N
09.12.04	3,32	11,1300	3,3524	N
17.02.05	1,32	10,6400	8,0606	P
22.03.05	4,31	18,0500	4,1879	N
10.05.05	4,68	35,3700	7,5577	P
15.06.05	10,92	21,2400	1,9451	N
13.07.05	6,88	6,4000	0,9302	N
06.07.06	6,11	4,9400	0,8085	N
13.07.06	3,50	2,2100	0,6314	N
06.09.06	2,06	4,5700	2,2184	N
06.12.06	0,46	4,8200	10,4783	P
10.01.07	5,72	12,7500	2,2290	N
07.02.07	3,72	5,3170	1,4293	N
21.11.07	2,80	4,9100	1,7536	N

Çizelge 6.6 Topçayırılar deresinde N/P oranlarının yıllara göre değişimi.

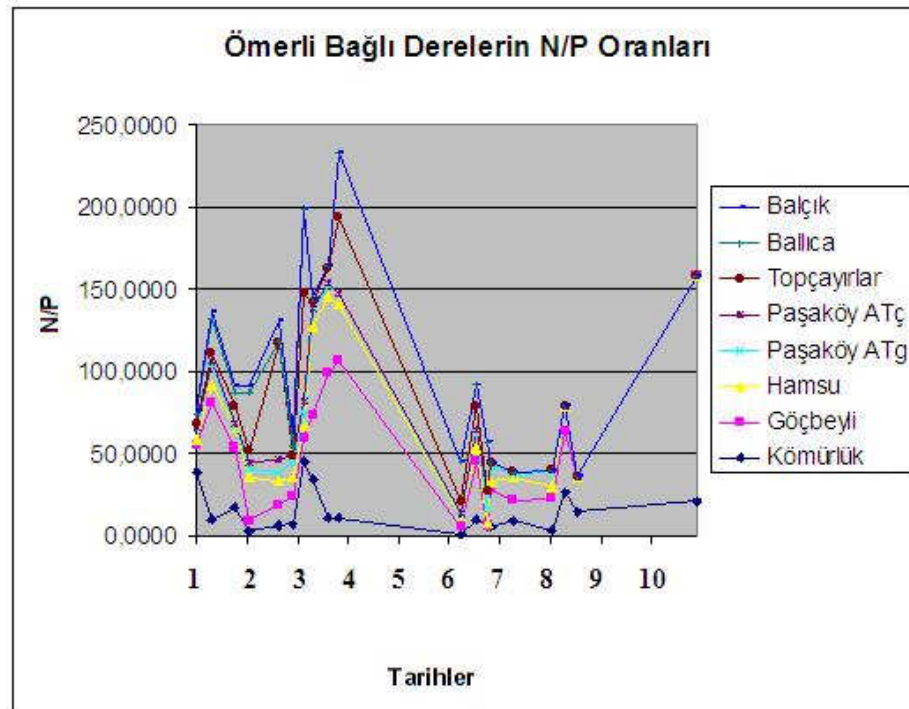
Tarih	TP(mg/L)	TN (mg/L)	N/P	S.E.
02.11.04	0,14	0,3100	2,2143	N
09.12.04	0,22	1,1400	5,1818	N
17.02.05	0,12	1,2600	10,5000	P
22.03.05	0,18	1,4200	7,8889	P
21.04.05	0,02	1,4200	71,0000	P
10.05.05	0,53	0,2000	0,3774	N
15.06.05	0,02	1,3100	65,5000	P
02.05.06	0,63	2,6500	4,2063	N
06.12.06	0,31	3,0500	9,8387	P
10.01.07	0,07	3,2400	46,2857	P
07.02.07	0,39	2,8200	7,2308	P
21.11.07	0,28	3,9500	14,1071	P

Çizelge 6.7 Ballica deresinde N/P oranlarının yıllara göre değişimi.

Tarih	TP(mg/L)	TN (mg/L)	N/P	S.E.
09.12.04	0,28	1,6000	5,7143	N
17.02.05	0,07	1,4200	20,2857	P
22.03.05	0,20	1,6000	8,0000	P
21.04.05	0,05	1,7700	35,4000	P
10.05.05	2,07	2,1200	1,0242	N
15.06.05	0,44	2,2200	5,0455	N
13.07.05	0,02	1,0300	51,5000	P
02.05.06	2,20	5,2900	2,4045	N
08.06.06	0,21	0,3500	1,6667	N
06.12.06	0,07	2,7000	38,5714	P
10.01.07	0,12	2,9000	24,1667	P
07.02.07	0,17	2,1600	12,7059	P
21.11.07	0,11	3,3100	30,0909	P

Çizelge 6.8 Balçık deresinde N/P oranlarının yıllara göre değişimi.

Tarih	TP(mg/L)	TN (mg/L)	N/P	S.E.
09.12.04	1,76	4,9100	2,7898	N
17.02.05	0,64	3,3900	5,2969	N
06.12.06	3,53	14,2500	4,0368	N
10.01.07	4,68	17,1000	3,6538	N
07.02.07	0,45	5,7600	12,8000	P
21.11.07	1,44	10,5300	7,3125	P



Şekil 6.1 Ömerli bağlı derelerin N/P oranları (2004–2007).

Şekil 6.1'e bakıldığında gölde bazen azotun, bazen de fosforun sınırlayıcı element olduğu görülmektedir. Şekil 6.1. deki tarihler değişken olup, 04.08.2004 ile 21.11.2007 tarihleri arasındadır. Sınırlayıcı elementin bilinmesi arıtma tesisi maliyetini etkilediğinden önem taşımaktadır.

6.2 Klorofil-a Değerlerinin Hesabı

Genellikle iyi korelasyonların kesin trofik değişken çiftleri arasında gerçekleşmesi beklenir. Araştırılan diğer trofik durum değişkenleriyle ortamdaki fosfor konsantrasyonlarının miktarları arasındaki ilişki olan trofik durum indeksi, (TSI), trofik durumu ortaya koymak için çoğu zaman güvenilirdir. Denklem 6.1.deki ifade, Dillon-Riggler modeli olup, yüzeydeki mg/m³ seviyesindeki klorofil-a ile aynı birimdeki toplam fosforun ilişkisini temsil etmektedir (Hazırbaba, 1996).

$$\text{Klorofil-a} = 0.0731 P^{1,499} \quad (6.1)$$

Daha geniş bir veri seti için ABD'de geliştirilen bir başka ifade şöyledir:

$$\text{Klorofil-a} = 0.776 P^{0,64} \quad (6.2)$$

OECD(1982) tarafından verilen bir ifadede ise Klorofil-a yine mg/m³ seviyesinde ve ortalama veridir. P ise yine aynı birimdeki toplam fosforu ifade eder.

$$\text{Klorofil-a} = 0.28 P^{0,96} \quad (6.3)$$

Rapor P ile hesaplanan bir max. Klorofil-a ifadesini de içerir.

$$\text{Klorofil-a}_{\max} = 0,64 P^{1,05} \quad (6.4)$$

Her ne kadar ötrofikasyondaki artmayı tespit etmede kolay bir yol klorofil-a konsantrasyonlarına bakmak olsa da, göllerle ilgili daha kolay ölçüm yöntemleriyle ortaya konan başka parametreler de mevcuttur. Bunlardan biri de Secchi Diski Derinliği (SDD) dir. Bu, mg/m³ seviyesindeki Klorofil-a ile aşağıdaki gibi ilişkilendirilebilir. Burada SD metre seviyesindedir (Hazırbaba, 1996).

$$SD = 8,7 / (1 + 0.47 \text{ Klorofil-a}) \quad (6.5)$$

USEPA, secchi disk derinliği ile Klorofil-a korelasyonu yapmak yerine SDD'ni toplam fosfor konsantrasyonu ile aşağıdaki gibi korele etmiştir.

$$\text{Log}_{10}P = -1,307 \log_{10}SD + 0,818 \quad (6.6)$$

Bu formüller kullanılarak hesaplanan Klorofil-a ve SDD değerleri Çizelge 6.9. da verilmiştir.

Çizelge 6.9 Kömürlük deresi klorofil-a değerleri.

Tarih	Toplam Fosfor	Klorofil-a			
	(mg/m ³)	6.1	6.2	6.3	6.4
04.08.04	20,00	6,5187	5,2786	4,9676	14,8683
08.09.04	80,00	52,0774	12,8186	18,7986	63,7418
02.11.04	50,00	25,7438	9,4886	11,9721	38,9133
09.12.04	170,00	161,1982	20,7658	38,7605	140,6538
17.02.05	60,00	33,8350	10,6630	14,2621	47,1236
22.03.05	70,00	42,6304	11,7686	16,5368	55,4030
21.04.05	20,00	6,5187	5,2786	4,9676	14,8683
10.05.05	20,00	6,5187	5,2786	4,9676	14,8683
15.06.05	90,00	62,1337	13,8222	21,0490	72,1331
13.07.05	110,00	83,9392	15,7164	25,5208	89,0517
02.05.06	1250,00	3207,6390	74,4533	263,1429	1142,7086
08.06.06	120,00	95,6335	16,6164	27,7442	97,5709
06.07.06	160,00	147,1951	19,9755	36,5690	131,9793
13.07.06	380,00	538,2859	34,7475	83,8977	327,3051
06.09.06	100,00	72,7641	14,7864	23,2894	80,5712
06.12.06	180,00	175,6187	21,5395	40,9468	149,3537
10.01.07	40,00	18,4249	8,2258	9,6635	30,7853
07.02.07	60,00	33,8350	10,6630	14,2621	47,1236
21.11.07	90,00	62,1337	13,8222	21,0490	72,1331

Çizelge 6.10 Göçbeyli deresi klorofil-a değerleri.

Tarih	Toplam Fosfor	Klorofil-a			
	(mg/m ³)	6.1	6.2	6.3	6.4
04.08.2004	130,00	107,8248	17,4898	29,9601	106,1257
08.09.2004	20,00	6,5187	5,2786	4,9676	14,8683
02.11.2004	70,00	42,6304	11,7686	16,5368	55,4030
09.12.2004	210,00	221,2708	23,7729	47,4776	175,5942
17.02.2005	90,00	62,1337	13,8222	21,0490	72,1331
22.03.2005	100,00	72,7641	14,7864	23,2894	80,5712
21.04.2005	110,00	83,9392	15,7164	25,5208	89,0517
10.05.2005	40,00	18,4249	8,2258	9,6635	30,7853
15.06.2005	20,00	6,5187	5,2786	4,9676	14,8683
13.07.2005	30,00	11,9708	6,8426	7,3315	22,7592
02.05.2006	470,00	740,2733	39,8111	102,8897	409,1502
08.06.2006	60,00	33,8350	10,6630	14,2621	47,1236
06.07.2006	12400,00	99989,9803	323,3342	2381,4576	12713,7230
13.07.2006	70,00	42,6304	11,7686	16,5368	55,4030
06.09.2006	110,00	83,9392	15,7164	25,5208	89,0517
06.12.2006	210,00	221,2708	23,7729	47,4776	175,5942
10.01.2007	70,00	42,6304	11,7686	16,5368	55,4030
07.02.2007	90,00	62,1337	13,8222	21,0490	72,1331
21.11.2007	50,00	25,7438	9,4886	11,9721	38,9133

Çizelge 6.11 Göl içi klorofil-a değerleri.

Tarih	Toplam Fosfor	Klorofil-a			
	(mg/m ³)	6.1	6.2	6.3	6.4
04.08.2004	80,00	52,08	12,8186	18,7986	63,7418
08.09.2004	20,00	6,52	5,2786	4,9676	14,8683
02.11.2004	30,00	11,9708	6,8426	7,3315	22,7592
09.12.2004	20,00	6,5187	5,2786	4,9676	14,8683
17.02.2005	110,00	83,9392	15,7164	25,5208	89,0517
22.03.2005	140,00	120,4934	18,3393	32,1693	114,7135
21.04.2005	160,00	147,1951	19,9755	36,5690	131,9793
10.05.2005	20,00	6,5187	5,2786	4,9676	14,8683
15.06.2005	20,00	6,5187	5,2786	4,9676	14,8683
13.07.2005	20,00	6,5187	5,2786	4,9676	14,8683
06.07.2006	100,00	72,7641	14,7864	23,2894	80,5712
13.07.2006	30,00	11,9708	6,8426	7,3315	22,7592
13.07.2006	100,00	72,7641	14,7864	23,2894	80,5712
06.09.2006	310,00	396,7058	30,5023	69,0026	264,3077
06.12.2006	110,00	83,9392	15,7164	25,5208	89,0517
10.01.2007	90,00	62,1337	13,8222	21,0490	72,1331
07.02.2007	130,00	107,8248	17,4898	29,9601	106,1257
21.11.2007	50,00	25,7438	9,4886	11,9721	38,9133
21.11.2007	90,00	62,1337	13,8222	21,0490	72,1331

Çizelge 6.12 Paşaköy arıtma tesisi girişinde klorofil-a değerleri.

Tarih	Toplam Fosfor (mg/m ³)	Klorofil-a			
		6.1	6.2	6.3	6.4
04.08.2004	11500,00	89310,6890	308,1118	2215,2766	11746,6142
08.09.2004	6300,00	36235,0496	209,6234	1243,1541	6244,3545
02.11.2004	10000,00	72429,8152	281,7486	1937,1267	10143,3164
09.12.2004	8170,00	53498,0854	247,5619	1595,4794	8203,7635
17.02.2005	3120,00	12637,3238	133,6967	633,2081	2985,6734
22.03.2005	4920,00	25013,4195	178,9449	980,4931	4816,6305
10.05.2005	8680,00	58581,2245	257,3442	1690,9741	8742,2996
15.06.2005	7800,00	49907,6575	240,3268	1526,0503	7814,1062
13.07.2005	10950,00	82984,9127	298,5979	2113,4676	11157,4461
06.07.2006	13200,00	109813,9971	336,5341	2528,7681	13576,3367
13.07.2006	13300,00	111063,4057	338,1635	2547,1564	13684,3507
06.09.2006	8160,00	53399,9592	247,3679	1593,6046	8193,2205
06.12.2006	10760,00	80835,8430	295,2715	2078,2501	10954,2553
10.01.2007	8440,00	56170,0363	252,7673	1646,0642	8488,6679
07.02.2007	9000,00	61848,1764	263,3764	1750,7770	9081,0195
21.11.2007	6520,00	38148,2415	214,2793	1284,8006	6473,5119

Çizelge 6.13 Paşaköy arıtma tesisi çıkışında klorofil-a değerleri.

Tarih	Toplam Fosfor (mg/m ³)	Klorofil-a			
		6.1	6.2	6.3	6.4
04.08.2004	8460,00	56369,6776	253,1505	1649,8087	8509,7902
08.09.2004	6100,00	34524,4525	205,3396	1205,2432	6036,3762
02.11.2004	2210,00	7536,3558	107,2193	454,7520	2078,7002
09.12.2004	3320,00	13870,8592	139,1202	672,1258	3186,9479
17.02.2005	1320,00	3480,6287	77,0955	277,2739	1209,9923
22.03.2005	4310,00	20511,5653	164,4096	863,4878	4191,6123
10.05.2005	4680,00	23206,8348	173,3082	934,5317	4570,2307
15.06.2005	10920,00	82644,3393	298,0741	2107,9085	11125,3516
13.07.2005	6880,00	41348,7558	221,7779	1352,8291	6849,3259
06.07.2006	6110,00	34609,3268	205,5550	1207,1399	6046,7671
13.07.2006	3500,00	15013,2728	143,9015	707,0715	3368,6153
06.09.2006	2060,00	6782,7270	102,5030	425,0799	1930,8145
06.12.2006	460,00	716,7891	39,2669	100,7872	400,0145
10.01.2007	5720,00	31351,1896	197,0585	1133,0739	5642,1653
07.02.2007	3720,00	16449,8236	149,6267	749,6857	3591,2866
21.11.2007	2800,00	10745,0209	124,7507	570,7287	2664,9920

Çizelge 6.14 Topçayrlar deresinde klorofil-a değerleri.

TP(mg/L)	Tarih	Toplam Fosfor	Klorofil-a			
		(mg/m ³)	6.1	6.2	6.3	6.4
0,14	02.11.2004	140,00	120,4934	18,3393	32,1693	114,7135
0,22	09.12.2004	220,00	237,2515	24,4913	49,6459	184,3842
0,12	17.02.2005	120,00	95,6335	16,6164	27,7442	97,5709
0,18	22.03.2005	180,00	175,6187	21,5395	40,9468	149,3537
0,02	21.04.2005	20,00	6,5187	5,2786	4,9676	14,8683
0,53	10.05.2005	530,00	886,3534	42,9931	115,4683	464,1621
0,02	15.06.2005	20,00	6,5187	5,2786	4,9676	14,8683
0,63	02.05.2006	630,00	1148,4943	48,0219	136,3091	556,5287
0,31	06.12.2006	310,00	396,7058	30,5023	69,0026	264,3077
0,07	10.01.2007	70,00	42,6304	11,7686	16,5368	55,4030
0,39	07.02.2007	390,00	559,6587	35,3300	86,0162	336,3549
0,28	21.11.2007	280,00	340,5707	28,5787	62,5792	237,5177

Çizelge 6.15 Ballica deresinde klorofil-a değerleri.

Tarih	Toplam Fosfor	Klorofil-a			
	(mg/m ³)	6.1	6.2	6.3	6.4
09.12.2004	280,00	340,5707	28,5787	62,5792	237,5177
17.02.2005	70,00	42,6304	11,7686	16,5368	55,4030
22.03.2005	200,00	205,6655	23,0420	45,3051	166,8251
21.04.2005	50,00	25,7438	9,4886	11,9721	38,9133
10.05.2005	20,00	6,5187	5,2786	4,9676	14,8683
15.06.2005	440,00	670,5836	38,1655	96,5768	381,7731
13.07.2005	20,00	6,5187	5,2786	4,9676	14,8683
02.05.2006	2200,00	7485,2959	106,9085	452,7764	2068,8252
08.06.2006	210,00	221,2708	23,7729	47,4776	175,5942
06.12.2006	70,00	42,6304	11,7686	16,5368	55,4030
10.01.2007	120,00	95,6335	16,6164	27,7442	97,5709
07.02.2007	170,00	161,1982	20,7658	38,7605	140,6538
21.11.2007	110,00	83,9392	15,7164	25,5208	89,0517

Çizelge 6.16 Balçık deresinde klorofil-a değerleri.

Tarih	Toplam Fosfor (mg/m ³)	Klorofil-a			
		6.1	6.2	6.3	6.4
09.12.2004	1760,00	5357,2371	92,6808	365,4687	1636,6970
17.02.2005	640,00	1175,9292	48,5084	138,3856	565,8078
06.12.2006	3530,00	15206,5838	144,6897	712,8887	3398,9393
10.01.2007	4680,00	23206,8348	173,3082	934,5317	4570,2307
07.02.2007	450,00	693,5582	38,7184	98,6829	390,8887
21.11.2007	1440,00	3965,5438	81,5105	301,4297	1325,7468

Çizelge 6.17 OECD'ye göre trofik seviye belirlemede kullanılan sınır değerler.

Trofik Seviye	Toplam Fosfor	Ortalama Klorofil-a	Maksimum Klorofil-a	Ortalama Secchi	Minimum Secchi
Ultraoligotrofik	<4,0	<1,0	<2,5	>12	>6,0
Oligotrofik	<10,0	<2,5	<8,0	>6	>3,0
Mezotrofik	10-35	2,5-8	8-25	6-3	3-1,5
Ötrofik	35-100	8-25	25-75	3-1,5	1,5-0,7
Hiperötrofik	>100	>25	>75	<1,5	<0,7

6.3 Trofik Durum İndeksi (TSI) Değerlerinin Hesabı

Göl suyu kalitesini belirlemek amacıyla trofik durum indeksinden yararlanılır. Trofik durum indeksi herhangi bir gölün sınıflandırılmasında güvenilir bir parametredir. Trofik durum indeksi değerleri, seki diski derinliği, klorofil-a ve toplam fosfor değerlerinin hesaplanması sonucunda bulunur. Bu değerlerin TSI Çizelgesi ile karşılaştırılması sonucu gölün trofik durumu belirlenir. Bu Çizelge R.E. Carlson tarafından 1977 yılında geliştirilmiştir. 0-100 arasındaki bölümler trofik kademeyi gösterir. Bölümler onar onar artmaktadır. Hesaplanan değerler 0-40 ise oligotrofik, 40-70 ise mezotrofik, 70-100 ise ötrofik durumu belirtir. Seki diski derinliği değerleri metre ve klorofil-a konsantrasyonu (mg/m³) ve yüzeye yakın olarak alınmıştır. TSI formüllerinin çıkarılışı ışık şiddetiyle ilişkilidir. Işık şiddeti de daha çok yüzeye ilişkili olduğu için yüzey değerleri alınmıştır. Aşağıdaki Çizelgede Carlson tarafından geliştirilen değerler gösterilmektedir (Carlson, R.E., 1977).

Çizelge 6.18 Seki diski derinliği, klorofil-a ve toplam fosfora bağlı TSI değerleri (Carlson, R.E., 1977).

TSI	SDD (metre)	Yüzeyde fosfor (mg/m ³)	Yüzeyde klorofil-a (mg/m ³)
0	64	0.75	0.04
10	32	1.5	0.12
20	16	3	0.34
30	8	6	0.94
40	4	12	2.6
50	2	24	6.4
60	1	48	20
70	0.5	96	56
80	0.25	192	154
90	0.12	384	427
100	0.062	768	1183

TSI değerlerinin hesaplanmasında, Carlson R.E.'nin 1977 yılında geliştirdiği aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır. Denklemden, SDD(m), klorofil-a (mg/m³), toplam fosfor (mg/m³)'tür.

$$TSI(SDD) = 10 \times \left(6 - \frac{\ln SDD}{\ln 2}\right) = 60 - [14.427 \times \ln SDD] \quad (6.7)$$

$$TSI(TP) = 10 \times \left(6 - \frac{\ln(48/TP)}{\ln 2}\right) = 4.15 + [14.427 \times \ln(TP)] \quad (6.8)$$

$$TSI(Klorofil -a) = 10 \times \left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \times \ln(Klorofil -a)}{\ln 2}\right) = 0.6 + [9.81 \times \ln(Klorofil -a)] \quad (6.9)$$

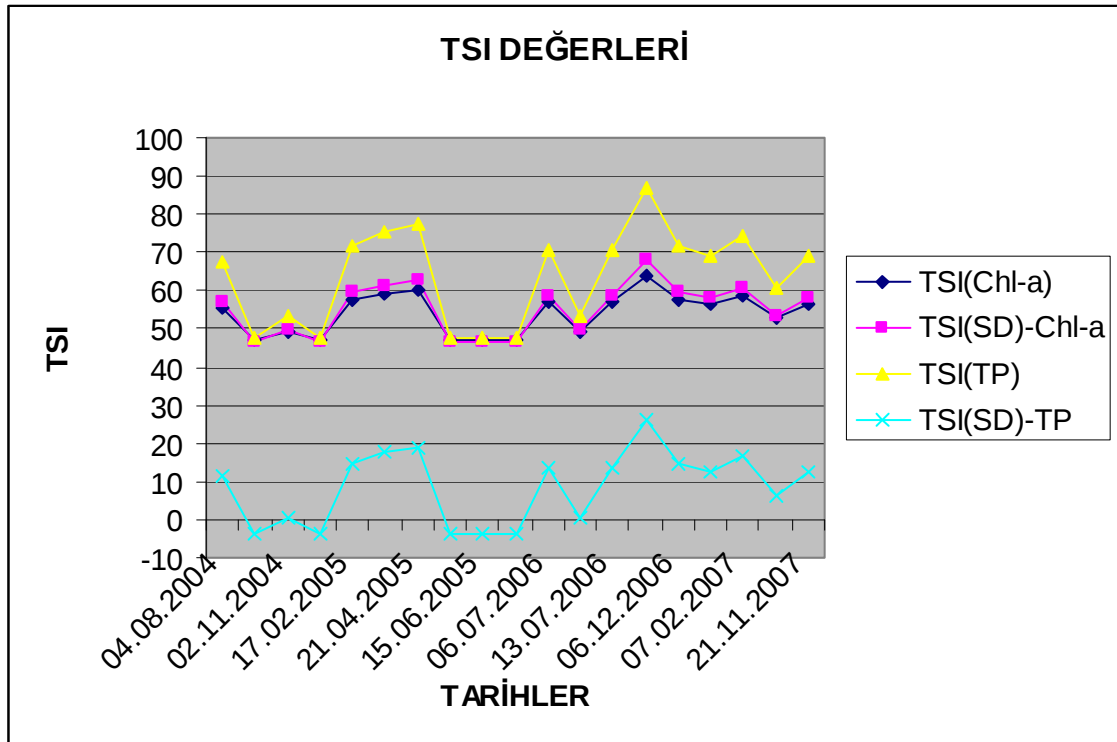
Carlson'a göre esas değişkenlerin hesaplanmasında epilimnion tabakası kullanılmıştır ve bütün ölçümler bu tabakadan yapılmıştır. (Hazırbaşı,1996)

Ömerli baraj gölü için dereler bazında TSI değerleri; (6.7), (6.8) ve (6.9) eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır. TSI hesaplamalarında kullanılan toplam fosfora (mg/m³) ait ölçülen değerler ile eşitlikleri kullanılarak hesaplanan SDD (m) ve Klorofil-a (mg/m) aşağıdaki Çizelgelerde verilmiştir. Bunlara bağlı olarak hesaplanan TSI değerleri ise dereler bazında aşağıdaki Çizelgelerde görülmektedir.

Çizelge 6.19 Göl içi TSI değerleri.

Tarih	TSI(SD)		TSI(Klorofil-a)	TSI (TP)
	6.2	6.6	6.2	6.8
04.08.2004	56,9143	11,3298	55,5941	67,3697
08.09.2004	46,7847	-3,9724	46,8901	47,3697
02.11.2004	49,5486	0,5032	49,4359	53,2193
09.12.2004	46,7847	-3,9724	46,8901	47,3697
17.02.2005	59,4709	14,8450	57,5936	71,9640
22.03.2005	61,4494	17,5070	59,1077	75,4432
21.04.2005	62,5590	18,9809	59,9461	77,3697
10.05.2005	46,7847	-3,9724	46,8901	47,3697
15.06.2005	46,7847	-3,9724	46,8901	47,3697
13.07.2005	46,7847	-3,9724	46,8901	47,3697
06.07.2006	58,6987	13,7929	56,9952	70,5889
13.07.2006	49,5486	0,5032	49,4359	53,2193
13.07.2006	58,6987	13,7929	56,9952	70,5889
06.09.2006	68,1784	26,2816	64,0988	86,9116
06.12.2006	59,4709	14,8450	57,5936	71,9640
10.01.2007	57,8519	12,6299	56,3336	69,0689
07.02.2007	60,8379	16,6890	58,6424	74,3741
21.11.2007	53,2779	6,1418	52,6432	60,5889
21.11.2007	57,8519	12,6299	56,3336	69,0689

Çizelge 6.20 TSI değerlerinin karşılaştırılması.



Görüldüğü gibi, TSI değerleri, klorofil-a değerinin bir fonksiyonu olarak hesaplandığında Mezotrofik, toplam fosforun bir fonksiyonu olarak hesaplandığında 2006 yılında yaptığı ötrofik pikler dışında genellikle Mezotrofik, yine toplam fosforun bir fonksiyonu olarak hesaplanan seki diski derinliğinin bir fonksiyonu olan TSI değerinde ise Oligotrofik görünmektedir. Birkaç yöntem ve yaklaşımla hangisinin gerçeğe en yakın olduğunu bulmak en bilimsel yaklaşım olacaktır.

6.3.1 OECD'ye Göre Trofik Seviyenin Belirlenmesi

Gölün kirlenmesi ile ilgili probabilitik yaklaşım OECD tarafından verilmektedir. Buna göre gölün fosfora, klorofil-'ya ve seki diski derinliğine göre % olarak hangi trofik sınıfta belirlenebilmektedir (Özecik, 2006).

Bu çalışmada da aşağıdaki eğriler elde edilmiştir. Şekil 6.9, 6.10, 6.11'de sırasıyla fosfor, ortalama klorofil-a ve maksimum klorofil-a değerlerine elde edilen trofik durumlar verilmiştir.

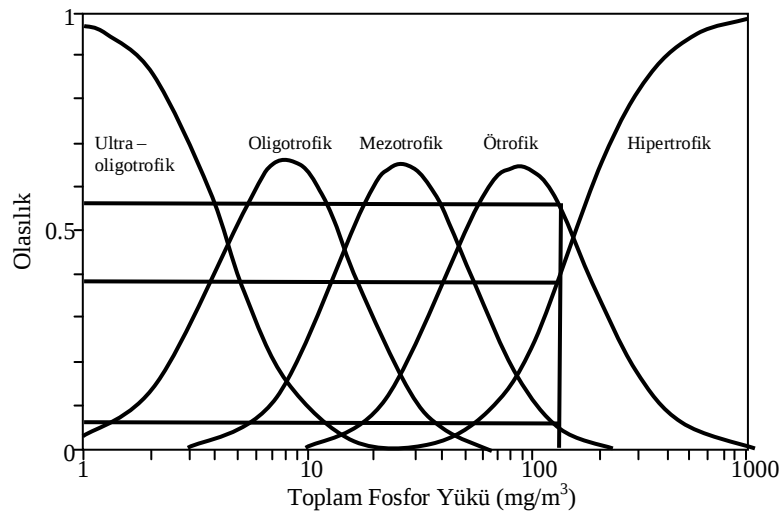
Tarih : 08.06.2006

Ortalama Fosfor Konsantrasyonu: 130 mg/m³

% 8 Mezotrofik

% 53 Ötrofik

% 39 Hipertrofik



Şekil.6.2 08.06.2006 Tarihi trofik durum dağılımı.

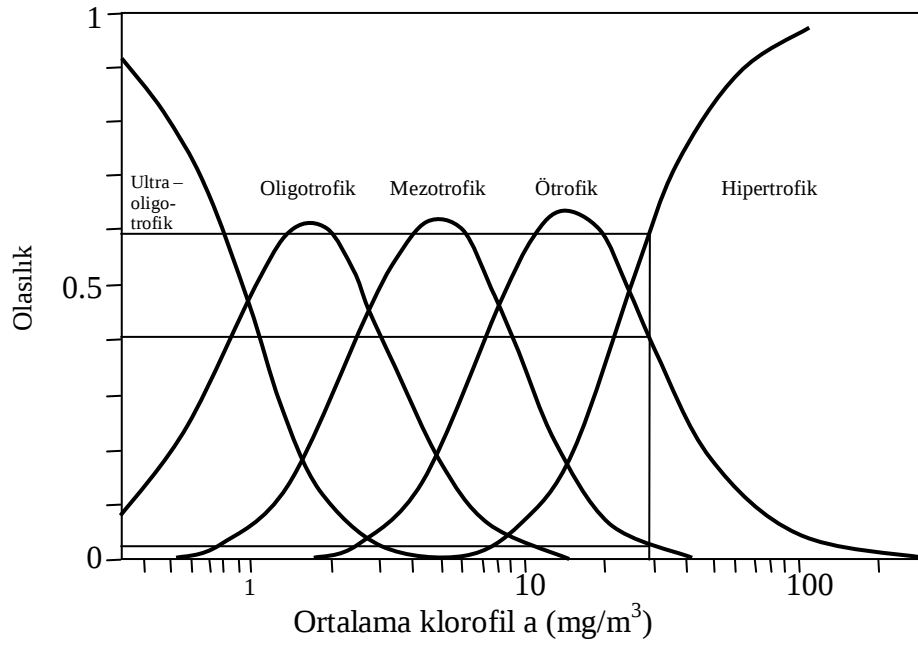
Tarih : 08.06.2006

Ortalama klorofil-a Konsantrasyonu: 29,83 mg/m³

%2 Mezotrofik

%40 Ötrofik

%58 Hipertrofik



Şekil 6.3 08.06.2006 Tarihi trofik durum dağılımı.

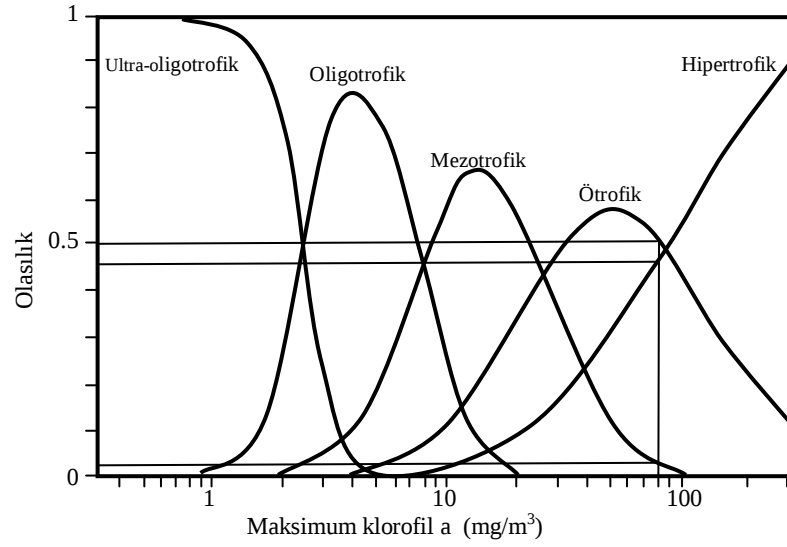
Tarih : 08.06.2006

Maksimum Klorofil-a Konsantrasyonu: 80,07 mg/m³

%4 Mezotrofik

%50 Ötrofik

%46 Hipertrofik



Şekil 6.4 08.06.2006 Tarihi trofik durum dağılımı.

Çizelge 6.21 2004-2007 Yılları arasında ortalama fosfor konsantrasyonuna göre trofik dağılım.

Tarih	Ultra-oligotrofik (%)	Oligotrofik (%)	Mezotrofik (%)	Ötrofik (%)	Hipertrofik (%)
04.08.2004	0	0	0	0	100
08.09.2004	0	0	0	0	100
02.11.2004	0	0	0	0	100
09.12.2004	0	0	0	0	100
17.02.2005	0	0	0	3	97
22.03.2005	0	0	0	0	100
21.04.2005	0	0	27	61	12
10.05.2005	0	0	0	0	100
15.06.2005	0	0	0	0	100
13.07.2005	0	0	0	0	100
02.05.2006	0	0	0	0	100
08.06.2006	0	0	8	53	39
06.07.2006	0	0	0	0	100
13.07.2006	0	0	0	0	100
06.09.2006	0	0	0	0	100
06.12.2006	0	0	0	0	100
10.01.2007	0	0	0	0	100
07.02.2007	0	0	0	0	100
21.11.2007	0	0	0	0	100

Çizelge 6.22 2004-2007 Yılları arasında ortalama klorofil-a konsantrasyonuna göre trofik dağılım.

Tarih	Ultra-oligotrofik (%)	Oligotrofik (%)	Mezotrofik (%)	Ötrofik (%)	Hipertrofik (%)
04.08.2004	0	0	0	0	100
08.09.2004	0	0	0	0	100
02.11.2004	0	0	0	0	100
09.12.2004	0	0	0	0	100
17.02.2005	0	0	0	0	100
22.03.2005	0	0	0	0	100
21.04.2005	0	0	15	60	25
10.05.2005	0	0	0	0	100
15.06.2005	0	0	0	0	100
13.07.2005	0	0	0	0	100
02.05.2006	0	0	0	0	100
08.06.2006	0	0	2	40	58
06.07.2006	0	0	0	0	100
13.07.2006	0	0	0	0	100
06.09.2006	0	0	0	0	100
06.12.2006	0	0	0	0	100
10.01.2007	0	0	0	0	100
07.02.2007	0	0	0	0	100
21.11.2007	0	0	0	0	100

Çizelge 6.23 2004-2007 Yılları arasında maksimum klorofil-a konsantrasyonuna göre trofik dağılım.

Tarih	Ultra-oligotrofik (%)	Oligotrofik (%)	Mezotrofik (%)	Ötrofik (%)	Hipertrofik (%)
04.08.2004	0	0	0	0	100
08.09.2004	0	0	0	0	100
02.11.2004	0	0	0	0	100
09.12.2004	0	0	0	0	100
17.02.2005	0	0	0	0	100
22.03.2005	0	0	0	0	100
21.04.2005	0	0	10	57	33
10.05.2005	0	0	0	0	100
15.06.2005	0	0	0	0	100
13.07.2005	0	0	0	0	100
02.05.2006	0	0	0	0	100
08.06.2006	0	0	4	50	46
06.07.2006	0	0	0	0	100
13.07.2006	0	0	0	0	100
06.09.2006	0	0	0	0	100
06.12.2006	0	0	0	0	100
10.01.2007	0	0	0	0	100
07.02.2007	0	0	0	0	100
21.11.2007	0	0	0	0	100

Görüldüğü gibi, gölün ortalama fosfor konsantrasyonuna, ortalama klorofil-a konsantrasyonuna ve maksimum klorofil-a konsantrasyonuna göre trofik durumu genel itibarıyla hipertrofikdir.

6.4 Regresyon Analizi

6.1 Klorofil-a ve Toplam Fosfor Regresyonu

Bu bölümde, 2004-2007 yılları aralığındaki ve İSKİ'den alınan mevcut veriler üzerinden daha önce verilen ifadeler ve toplam fosfor konsantrasyonları kullanılarak dört ayrı ifade ile hesaplanan klorofil-a değerlerine karşılık gelen toplam fosfor konsantrasyonlarının regresyonu yapılmıştır.

Klorofil-a (6.1) ifadesi bu bölümde daha önce de verilen Dillon-Riggler modeli olup, aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Klorofil-a} = 0.0731 P^{1.499} \quad (6.1)$$

Diğer kısaltmalar ile belirtilen hesaplama ifadeleri ise şöyledir:

$$\text{Klorofil-a (6.2) ifadesi : Klorofil-a} = 0.776 P^{0.64} \quad (6.2)$$

$$\text{Klorofil-a (6.3) ifadesi : Klorofil-a} = 0.28 P^{0.96} \quad (6.3)$$

$$\text{Klorofil-a (6.4) ifadesi : Klorofil-a}_{\max} = 0.64 P^{1.05} \quad (6.4)$$

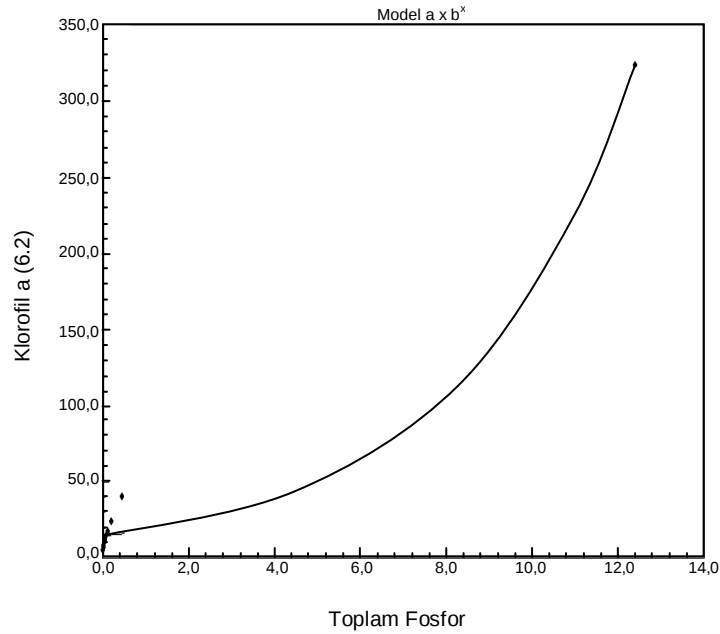
Klorofil-a ve toplam fosfor regresyonunda ABD'de daha geniş bir veri seti ile hazırlanan ve (6.2) kodu ile verilen formüle göre hesaplanan klorofil-a değerleri kullanılmıştır.

Burada, derelerden gelen toplam fosfor ile klorofil-a yükleri karşılaştırılmış ve göle en çok kirlilik yükü getiren Göçbeyli deresi ile bu kirlilikten etkilenen ve göl içi numuneyi temsil eden Hamsu'ya ait regresyon analizleri yapılmıştır.

Göçbeyli Deresi için;

Çizelge 6.24 Göçbeyli deresi klorofil-a ve toplam fosfor regresyonunda hesaplanan klorofil-a ve datafit sonuçları.

Data Tarihi	Toplam Fosfor (mg/L)	Klorofil-a	Datafit Değeri	Hata Değeri
04.08.2004	0,13	17,4898	17,48982508	-2,51E-05
08.09.2004	0,02	5,2786	5,278626085	-2,61E-05
02.11.2004	0,07	11,7686	11,76859073	9,27E-06
09.12.2004	0,21	23,7729	23,77289508	4,92E-06
17.02.2005	0,09	13,8222	13,82219205	7,95E-06
22.03.2005	0,1	14,7864	14,78637506	2,49E-05
21.04.2005	0,11	15,7164	15,71639869	1,31E-06
10.05.2005	0,04	8,2258	8,225837076	-3,71E-05
15.06.2005	0,02	5,2786	5,278626085	-2,61E-05
13.07.2005	0,03	6,8426	6,84257095	2,91E-05
02.05.2006	0,47	39,8111	39,81111691	-1,69E-05
08.06.2006	0,06	10,663	10,662978	2,20E-05
06.07.2006	12,4	323,3342	323,3341995	4,50E-07
13.07.2006	0,07	11,7686	11,76859073	9,27E-06
06.09.2006	0,11	15,7164	15,71639869	1,31E-06
06.12.2006	0,21	23,7729	23,77289508	4,92E-06
10.01.2007	0,07	11,7686	11,76859073	9,27E-06
07.02.2007	0,09	13,8222	13,82219205	7,95E-06
21.11.2007	0,05	9,4886	9,488608193	-8,19E-06



Şekil 6.5 Datafit programı sonucu Göçbeyli deresinde toplam fosfor-klorofil-a grafiği.

$$Y = a \cdot b^x$$

$$a = 14,17$$

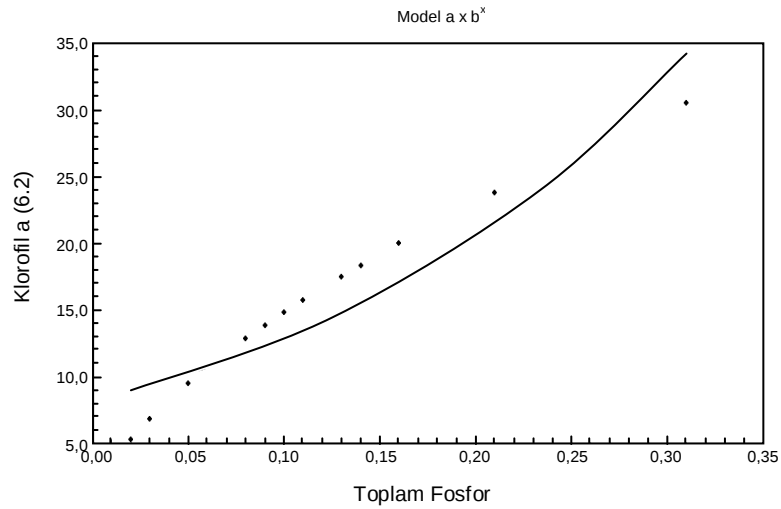
$$b = 1,28$$

$$R^2 = 0,98$$

Hamsu İçin;

Çizelge 6.25 Hamsu klorofil-a ve toplam fosfor regresyonunda hesaplanan klorofil-a ve datafit sonuçları.

Data Tarihi	Toplam Fosfor (mg/L)	Klorofil-a	Datafit Değeri	Hata Değeri
04.08.2004	0,08	12,8186	12,81855974	4,03E-05
08.09.2004	0,02	5,2786	5,278629061	-2,91E-05
02.11.2004	0,03	6,8426	6,842573331	2,67E-05
09.12.2004	0,02	5,2786	5,278629061	-2,91E-05
17.02.2005	0,11	15,7164	15,71639328	6,72E-06
22.03.2005	0,14	18,3393	18,33932973	-2,97E-05
21.04.2005	0,16	19,9755	19,97552836	-2,84E-05
10.05.2005	0,02	5,2786	5,278629061	-2,91E-05
15.06.2005	0,02	5,2786	5,278629061	-2,91E-05
13.07.2005	0,02	5,2786	5,278629061	-2,91E-05
06.07.2006	0,1	14,7864	14,78637072	2,93E-05
13.07.2006	0,03	6,8426	6,842573331	2,67E-05
13.07.2006	0,1	14,7864	14,78637072	2,93E-05
06.09.2006	0,31	30,5023	30,50231655	-1,66E-05
06.12.2006	0,11	15,7164	15,71639328	6,72E-06
10.01.2007	0,09	13,8222	13,82218877	1,12E-05
07.02.2007	0,13	17,4898	17,4898175	-1,75E-05
21.11.2007	0,21	23,7729	23,77287872	2,13E-05
21.11.2007	0,05	9,4886	9,488608913	-8,91E-06



Şekil 6.6 Datafit programı sonucu Hamsu deresinde toplam fosfor-klorofil-a grafiği.

$$Y = a \cdot b^x$$

$$a = 8,07$$

$$b = 106,6$$

$$R^2 = 0,85.$$

7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Ömerli Baraj Gölü, İstanbul'a içme suyu veren önemli havzalardan biridir.

Bu çalışmada, 2004–2007 yılları arasında İSKİ tarafından yapılan ölçüm sonuçları incelenmiş olup; toplam fosfor ve toplam azot verileri üzerinden gölün trofik durumunu ortaya koymak amaçlanmıştır.

Bu amacı gerçekleştirebilmek için ihtiyaç duyulan klorofil-a, seki diski derinliği, trofik durum indeksi gibi parametreler ise Carlson'ın ortaya koyduğu matematiksel ifadelerle hesaplanarak değerlendirilmeye alınmıştır.

DataFit 8.2 programı kullanılarak klorofil-a ile toplam fosfor arasında regresyon analizi yapılmış olup, Carlson'ın klorofil-a değeri için ortaya koyduğu matematiksel ifadelerden 4 tanesi arasında karşılaştırma yapılmış ve klorofil-a için bu çalışma içerisinde denklem (6.2) şeklinde kısaltılarak verilen ifade kullanılmıştır.

Fosfor yükü, Vollenweider fosfor yükü-ortalama derinlik/hidrolik bekleme süresi ilişkisine uygulanmış ve fosfor yükünün izin verilen miktarın üstünde olduğu görülmüştür. Gölde sınırlayıcı element çoğunlukla fosfordur.

İSKİ'nin 2004-2007 yılları arasında gerçekleştirdiği ölçüm sonuçlarından oranlamak suretiyle N/P oranları belirlenmiştir. Bu oran 7'den büyük olduğunda sınırlayıcı element fosfor; 7'den küçük olduğunda ise azot olarak belirlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında, bazı değerler için sınırlayıcı elementin azot, bazı değerler içinse fosfor olduğu görülmüştür.

Söz konusu ölçüm sonuçlarından ayrıca TSI değerleri de hesaplanmıştır. Bu değerler 0-100 doğrultusundadır ve trofik durumu belirtir. Hesaplanan değerler 0-40 arasında ise oligotrofik, 40-70 arasında ise mezotrofik, 70-100 arasında ise ötrofik durumu gösterir. Göldeki klorofil-a ve toplam fosforun birer fonksiyonu olarak TSI değerleri hesaplanmış ve buna göre hesaplanan değerler genellikle hipertrofik, bazıları ise ötrofik bölgededir.

Ayrıca, ekte yer alan ve TÜBİTAK tarafından 2008 yılı haziran ayında gerçekleştirilen fiziksel parametre ölçümlerine bakıldığında; genel olarak numune alınan 6 istasyonda da dip kısımlarda pH değerlerinin çok değişken olduğu görülmüş ve bu durum, göl yüzeyinde fitoplankton patlamasının olabileceğini düşündürmüştür. Çözünmüş oksijen değerlerine bakıldığında ise dip kısımlarda belirgin düşme gözlemlendiğinden gölün dip kısımlarında anaerobik parçalanma olabileceği düşünülmektedir. Tek bir ölçüm ile genel bir kanıya varılamasa da, 2004–2007 yılları arasında yapılan ölçüm sonuçlarına göre varılan, gölün hipertrofik bölgede kaldığı sonucunun ileriki zamanlarda da devam edebileceği

düşünülebilir. Elbette bunda geçtiğimiz yıllarda yaşanan yağış azlığına bağlı geçici kuraklığın etkili olduğu da düşünülebilir.

Koruma alanı içerisinde kalması sebebiyle Ömerli baraj gölü içine direk ve yoğun olarak gelen bir endüstriyel kirlenme söz konusu değildir. Ancak, tarım alanlarından ve yerleşim merkezlerinden gelen kirlilik yükleri sebebiyle gölün hipertrofik hale geldiği düşünülmektedir.

Ömerli Baraj Gölündeki fosfor yükü, oldukça fazladır. Bu durumla ilgili olarak tarım alanlarında kontrollü gübre kullanımı, kaçak su kullanımının önlenmesi, evsel atıksu arıtma tesisleri dışında kanalizasyona evsel sıvı ve katı atıkların verilmesinin önüne geçilmesi gölün kirlenmesi açısından önleyici bir tedbir olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akkaya, E., (2003), “Ömerli Havzasında Kirlenme Eğilimi ve Fosfor Modeli Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Akkoyunlu, A., (2002), “Water Quality Assesment of Ömerli Dam Reservoir”, Fresenius Environmental Bulletin, Vol. 11, pp. 208-217, Germany.
- Ayberk, S., (2002), “Çevre Mühendisliğinde Ekoloji Bilgisi”, pp. 70-88, KOU Basımevi., İzmit.
- Ayberk, S., (2001), “Bilimsel Araştırma Yöntemleri ve Temel İstatistik Bilgileri (Çevre Mühendisliği Öğrencileri için Ders Notları)” KOU, Kocaeli.
- Carlson, R.E., (1977), “A Trophic State Index For Lakes” Lim.And Oceanog. V, 22, pp:361-369.
- Ceylan, M., (1999), “Ömerli Barajındaki Ötrofikasyon Ve Bağlı Derelerin Baraj Gölü Üzerine Etkisi” GYTE, Y.Lisans Tezi, Kocaeli.
- Çevre Referans Lab., T.C. Çevre Bakanlığı, (2003), “Mogan-Eymir Gölleri ve Çevresi Su Kirliliği İnceleme Raporu”.
- Çıplakoğlu, G., (2006), “Yüzeysel Suların Ötrofikasyona Duyarlılığı Üzerine Bir Araştırma ve Sakarya Havzası Örneği”, İTÜ, Y.Lisans Tezi, İstanbul.
- Güvensel, T., (2006), “Ömerli Baraj Gölü Su Kalitesinin Araştırılması”, Marmara Üniv. Y.Lisans Tezi, İstanbul.
- Hazırba, K., (1999), “Evaluation of the Eutrophication Process in Ömerli Dam Reservoir” BOUN, Master Thesis, İstanbul.
- İ.B.B (İstanbul Büyükşehir Belediyesi), (2008), Ruhsat ve Denetim Müdürlüğü Veri Tabanı, İstanbul.
- Jones, J.R., Bachmann R.W., (1976), “Prediction Of Phosphorus And Chlorophyll Levels In Lake”, Journal WPCF, Vol.48, pp. 2176-2182.
- Kahraman, N., (2003), “Elmalı Baraj Gölünde Ötrofikasyona Katkı Yapan Unsurların Periyodik Analizi ve Değerlendirilmesi”, Marmara Üniv., Y.Lisans Tezi, İstanbul.
- Karpuzcu, M., Koçalı, M., (2007), “Göllerde Ötrofikasyon Ve Çözüm Önerileri”, GYTE, İstanbul.
- Muslu, Y., (2001), “Su ve Atıksu Mühendisliği Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü”, Su Vakfı Yayınları, Cilt II, pp. 152-158, pp. 323-334, İstanbul.
- OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development), (1982), Eutrophication of Waters, OECD Cooperative Programme on Monitoring of Inland Waters, OECD, Paris.
- Özecik, F.D., (2006), “Sapanca Gölünde Ötrofikasyonun Araştırılması”, GYTE, Y.Lisans tezi, Kocaeli.
- Rast, W. and Lee, G.F., (1982), “Evaluation of Nutrient Loading Estimates For Lakes”, Water Research.
- Tüfekçi, V., Tolun, L., (2009), “Ömerli Baraj Gölünde Su Kalitesinin Sediment Kirliliği Açısından İncelenmesi”, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK MAM), Kocaeli.

Tülek, S., (2006), “Kızılırmak Nehri Su Kalitesi Belirlenmesi ve Ötrofikasyona Bağlı Risk Değerlendirmesi”, Ondokuz Mayıs Ün., Y.Lisans Tezi, Samsun.

Vollenweider, R.A., (1975), “Input-Output Models With Special Referance to The Phosphorus Loading Conceptin Limnology”, Schweiz Hydrology.

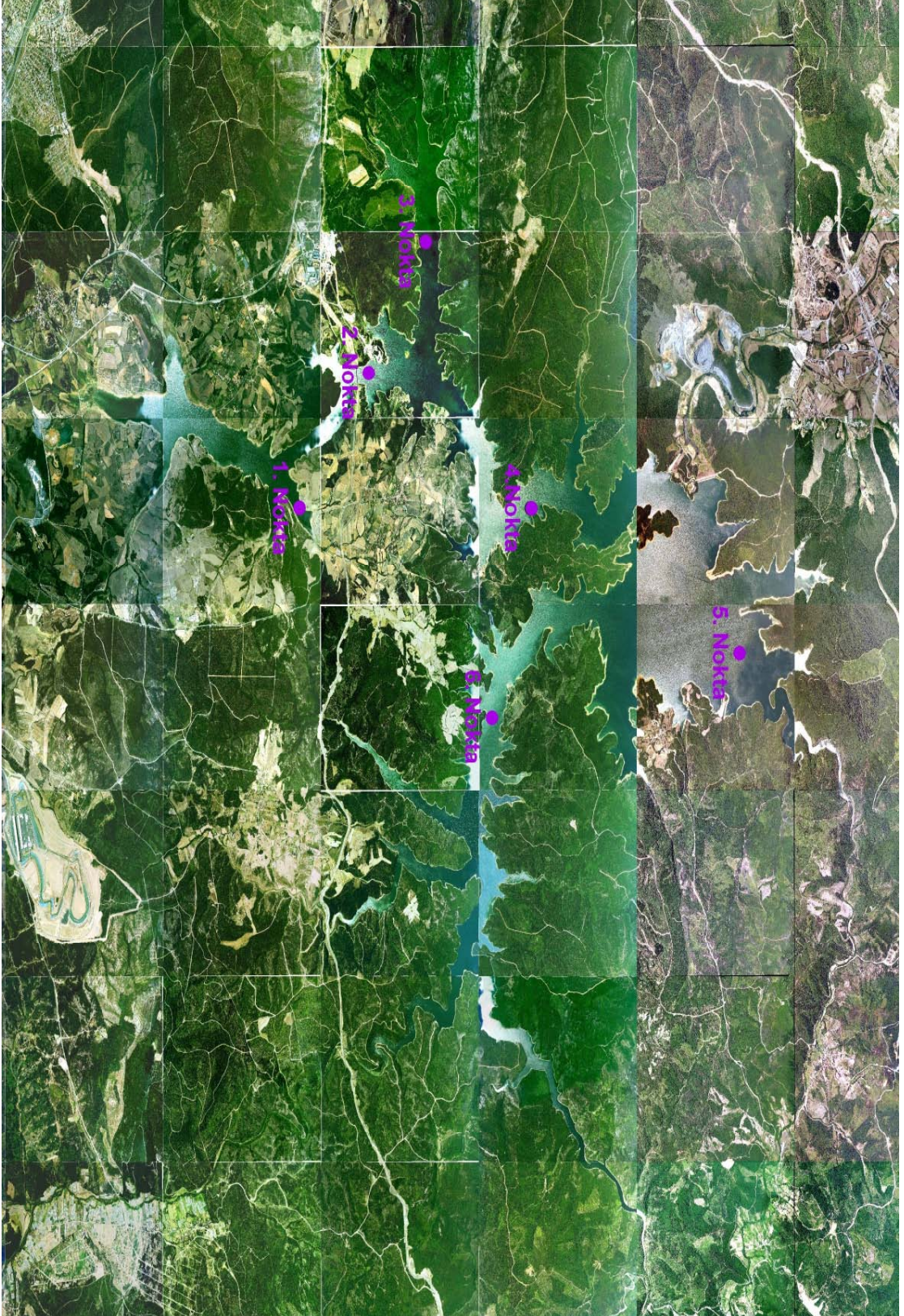
<http://pearl.maine.edu>, (2008).

<http://www.incikefali.net/termoklin.gif>, (2008).

EKLER

EK-1.

İ.B.B. Ruhsat ve Denetim Müdürlüğü Veri Tabanı (2008)



EK-2.

Haz.08										
IST:1 Derinlik	iletkenlik CND(ms/cm)	tuzluluk SAL(‰)	çözünmüş oksijen DO (mg/L)	pH	sıcaklık TMP (°C)	Toplam çözünmüş madde TDS(g/L)	Oksijen doygunluğu %DO	SD seki d.(m)	koordinat	Toplam Derinlik T.Derinl.
0,5	292	0,14	14,04	9,14	25,25	0,190	168,1	1	40 59 48,1 N 029 21 42,6 E	8
5	295	0,14	10,09	8,45	23,69	0,196	119,4			
10	262	0,15	1,17	7,38	15,50	0,209	13,7			
IST:2 Derinlik	CND	SAL	DO	pH	TMP	TDS	%DO	seki disk (m)	koordinat	T.Derinl.
0,5	314	0,15	10,95	8,73	25,17	0,204	133,3	2	41 00 27,75 N 029 20 37,6 E	15,5
5	308	0,15	10,36	8,47	23,48	0,204	123,9			
10	231	0,14	4,66	7,85	14,1	0,189	50,8			
15	219	0,14	0,76	7,53	10,82	0,193	7,7			
IST:3 Derinlik	CND	SAL	DO	pH	TMP	TDS	%DO	seki disk (m)	koordinat	T.Derinl.
0,5	315	0,15	12,10	8,74	24,93	0,205	144,8	1	41 01 0,13 N 029 19 34,4 E	11
5	305	0,15	7,84	8,20	22,55	0,209	87,1			
10	241	0,15	0,39	7,31	13,50	0,201	4,1			
IST:4 Derinlik	CND	SAL	DO	pH	TMP	TDS	%DO	seki disk (m)	koordinat	T.Derinl.
0,5	307	0,15	10,80	8,61	23,69	0,204	128,8	3	41 01 92,2 N 029 21 70,4 E	23,5
5	301	0,15	10,84	8,58	23,16	0,202	127,9			
10	234	0,14	8,28	7,97	14,5	0,186	88,2			
15	210	0,14	4,43	7,65	11,02	0,186	42,2			
20	201	0,14	2,72	7,51	9,47	0,185	25,5			
IST:5 Derinlik	CND	SAL	DO	pH	TMP	TDS	%DO	seki disk (m)	koordinat	T.Derinl.
0,5	288	0,14	11,63	8,72	22,80	0,195	134,5	3	41 03 76,7N 029 22 53,2 E	26,4
5	279	0,14	11,75	8,72	22	0,193	134,5			
10	238	0,14	8,05	7,80	14,70	0,189	82,2			
15	205	0,14	6,67	7,61	10,70	0,183	60,3			
20	199	0,14	5,62	7,47	9,27	0,184	49,2			
25	195	0,14	3,85	7,36	8,45	0,186	34,7			
IST:6 Derinlik	CND	SAL	DO	pH	TMP	TDS	%DO	seki disk (m)	koordinat	T.Derinl.
0,5	287	0,14	11,30	8,73	24,45	0,189	132,60	2,5	41 01 37,9 N 029 23 24,4 E	26,8
5	297	0,15	11,21	8,47	21,61	0,206	127,8			
10	242	0,15	6,55	7,68	14,30	0,199	65,7			
15	210	0,14	4,25	7,46	10,86	0,189	38,7			
20	201	0,14	2,72	7,36	9,27	0,187	23,8			
26	198	0,14	1,18	7,43	8,56	0,187	8			

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 18.04.1982

Doğum Yeri İzmir

Lise 1997-2000 Avcılar Lisesi
2000 Üsküdar Kız Lisesi

Lisans 2000-2004 Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fak.
Çevre Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurumlar

2003 @CRM Consulting Proje Asistanı
2004-Devam ediyor İ.B.B. Zabıta Daire Başkanlığı Ruhsat ve
Denetim Müdürlüğü Mühendis