

35886

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'DE GÖL KİRLİLİĞİ
VE
GÖLLERİN TROFİK SEVİYELERİNİN
BELİRLENMESİNDE UYGUN BİR MATEMATİKSEL
MODELİN SEÇİMİ**

Kenan ALPASLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

1995

ELAZIĞ

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİSTON MERKEZİ**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'DE GÖL KİRLİLİĞİ
VE
GÖLLERİN TROFİK SEVİYELERİNİN
BELİRLENMESİNDE UYGUN BİR MATEMATİKSEL
MODELİN SEÇİMİ**

Kenan ALPASLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu Tez,Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Başarılı/Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

İmza

İmza

İmza

Danışman

Doç. Dr. Bülent TOPKAYA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**TÜRKİYE'DE GÖL KİRLİLİĞİ
VE
GÖLLERİN TROFİK SEVİYELERİNİN
BELİRLENMESİNDE UYGUN BİR MATEMATİKSEL
MODELİN SEÇİMİ**

Kenan ALPASLAN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

1995, Sayfa: 69

Bir gölün trofik düzeyinin tahmin edilebilmesi, göl ile ilgili planlama ve aşırı beslenme durumunda eski durumuna döndürme çalışmaları için gereklidir.

Göller geleneksel olarak üç trofik sınıftan birisine dahil edilirler: Oligotrofik göller besin maddesi açısından fakir, ötrofik göller zengin olup, mezotrofik göller bu iki sınıfın arasında yer alırlar. Bu üç sınıf arasındaki sınırlar gelişigüzel seçilmiştir. Dolayısıyla göl sınıflandırmaları subjektiftir.

Bu çalışmada fosfor yükleme modelleri arasında en çok kullanılanların Türkiye göllerini sınıflandırmadaki uygunlukları araştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Bitki Besin Maddeleri, Ötrofikasyon, Trofik İndeks, Matematiksel Modeller, Göl Kirliliği.

IV

SUMMARY

Masters Thesis

LAKE POLLUTION IN TURKEY AND THE DETERMINATION OF A SUITABLE MATHEMATICAL MODEL FOR THE TROPHIC STATE ASSESSMENT OF LAKES

Kenan ALPASLAN

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

1995, Page: 69

The assessment of the trophic state of a lake is essential for planning actions to protect and, if the lake is overfertilized, to recover it.

Traditionally, most lakes have been placed in one of three trophic categories: Oligotrophic lakes are poor in nutrients; eutrophic lakes are rich in nutrients and mesotrophic lakes take place between these two categories. The boundaries between these three categories are somewhat arbitrary, therefore lake classifications are more subjective. In this study the suitability of the three most successful phosphorus loading models in classification of lakes in Turkey are investigated.

KEY WORDS: Plant Nutrients, Eutrophication, Trophic Index, Mathematical Models, Lake Pollution.

TEŞEKKÜR

Bu konuyu seçmemde ve çalışmamın yürütülmesinde, değerlendirilmesinde her türlü yardımında bulunan Sayın Hocam Doç. Dr. Bülent TOPKAYA'ya içtenlikle teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmam süresince yardımlarını gördüğüm Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Hocam Doç. Dr. Mehmet CİCİ'ye, değerli tavsiyelerinden faydalandığım Su Ürünleri Fakültesi Öğretim Üyelerinden Sayın Hocam Prof. Dr. Bülent ŞEN ve Prof. Dr. Tekin MENGİ'ye ve maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.



Kenan ALPASLAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	III
SUMMARY	IV
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ VE GENEL BİLGİLER	4
2.1. Göl Ekosisteminin Tanıtılması	6
2.1.1. Göllerin Sınıflandırılması	7
2.1.1.1 Ötrofik Göller	8
2.1.1.2. Oligotrofik Göller	8
2.1.1.3. Mezotrofik (Distrofik) Göller	8
2.1.2. Göllerin Özellikleri	9
2.1.2.1. Göllerin Fiziksel Özellikleri	9
2.1.2.2. Kimyasal Özellikler	13
2.1.2.3. Biyolojik Özellikler	14
2.2. Göllerin Kirlenmesi	15
2.2.1. Bitki Besin Maddeleri	15
2.2.1.1. Karbon Bileşikleri	17
2.2.1.2. Azot Bileşikleri	20
2.2.1.3. Fosfor Bileşikleri	23
2.2.2. Ötrofikasyon	26
2.2.3. Kirletici Kaynaklar	30
2.2.3.1. Noktasal Kaynaklar	30
2.2.3.2. Dağınık Kaynaklar	30
2.3. Bir Gölün Trofik Seviyelerinin Belirlenmesi	33
2.4. Matematiksel Modeller	38

3. MATERYAL VE METOD	45
4. SONUÇ VE TARTIŞMA	51
KAYNAKLAR	55
EKLER	60



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Bir Beslenme Basamağından Diğetine Geçişteki Enerji Taşınımı	7
Şekil 2.2. Göllere Giren Bitki Besin Maddelerinin, Su Kütlesindeki Yaşamı Değıştirmesi	9
Şekil 2.3.A Çeşitli Mevsimlerde Göllerde Oluşan Vertikal Isı Dağılımları,	
Şekil 2.3. B Yaz Mevsimi Isı Tabakaları	11
Şekil 2.4. Sıcaklığın Derinlikle Azalması Sonucu Karışımında Meydana Gelen Değişimler	12
Şekil 2.5. Bakteri ve Algler Arasındaki İlişki	17
Şekil 2.6. Azot Çevrimi	21
Şekil 2.7. Su Ortamında Fosfor Döngüsü	26
Şekil 2.8. Su Ortamında Ötrofikasyon Etkisi ile Dengesi Bozulmuş Besin Zinciri	27
Şekil 2.9. Uzun bir Termal Tabakalaşmadan sonra Sonbaharda Ötrofik Bir Gölün Genel Durumu	29
Şekil 2.10. Yıllık Fosfor Yüğü İle Göl Ortalama Derinliği-Besin Maddesi Düzeyi İlişkisi	38
Şekil 2.11. Besin Maddesi Düzeyinin Göle Giren Fosfor Yüğü ve Derinliğe Bağlı Olarak Değişimi	41
Şekil 2.12. Göllerin Besin Maddesi Düzeyinin Hidrolik Yüğü ve Fosfor Yüğünden Faydalanarak Belirlenmesi	42
Şekil 2.13. Göllerde Ortalama Fosfor Konsantrasyonu, Fosfor Alıkonma İlişkisi	43
Şekil 3.1. Göllerde Fosfor Yüğü-Ortalama Derinlik İlişkisi	49
Şekil 3.2. Dillon Tarafından Önerilen Model	49
Şekil 3.3. Vollenweider Tarafından Geliştirilen Model	50
Şekil 3.4. Larcen Tarafından Önerilen Model	50

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Göllerin Verimliliği İle Toplam Fosfor Konsantrasyonu İlişkisi	24
Tablo 2.2. Oligotrofik ve Ötrofik Suların Özellikleri	35
Tablo 2.3. Trofik İndikatörler ve Ötrofikasyon İle Değişimleri	36
Tablo 2.4. Göllerde Azot ve Fosfor yüklenme Sınırları	39
Tablo 3.1 (a, b) Türkiye Göllerinde Yapılan Göl Kirliliği Araştırmaları	46-47
Tablo 3.2. Çalışma Kapsamındaki Göllerde Elde Edilen Matematiksel Değerler	48

1. GİRİŞ

Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de tabii ve yapay göllerimiz artan oranda kirlilik etkisi altında bulunmaktadır. Nüfus artışının hızlandığı iç göçler su toplama havzalarındaki yanlış yerleşim, verimli tarım alanlarının amaç dışı kullanımlarının yarıyıra birim alandan elde edilen verimin yükseltilmesi için yapay gübre kullanımının artması bu kaynaklardan gelen suların su kaynakları üzerindeki etkisini daha da artırmaktadır. Günümüz dünyasında su, elde edilmesi güç, pahalı ve kıt doğal kaynak haline gelmiştir. Su kaynaklarının paylaşımı günümüzde olduğu gibi uluslararası sorunların doğmasına neden olabilmektedir. Bu durumun ortaya çıkmasının nedeni su kaynaklarındaki herhangi bir azalma olmayıp, ancak mevcut su kaynaklarının çoğunda görülmeye başlanan kirlenme sorunları ve nüfus artışı, kentleşme ve endüstrileşmeye paralel olarak hızla su tüketiminin artmasıdır. Özellikle su kirlenmesi tüm dünyada üzerinde en çok konuşulan araştırma yapılan ve büyük miktarlarda yatırım harcamaları ile önlenmeye çalışılan bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Kirlenilen bir su kaynağının tekrar eski haline getirilmesinin, korunmasından çok daha güç ve pahalı olduğu bilinen bir gerçektir.

Ülkemizde nüfus artış hızının yaklaşık % 2,35 olduğu dikkate alınır, sınırlı su kaynaklarının her yıl daha çok kullanıcı tarafından paylaşımı söz konusu olmaktadır. Bir yandan tatlı su kaynaklarının hızla kirlenmesi, diğer yandan kullanımının artışı düşündürücü olmaktadır. Bu olumsuz şartlar sonucu göllerdeki biyolojik hayat etkilenecek suyun kalitesinde bozulmalar meydana gelmektedir. Erozyon neticesinde su ortamlarına büyük miktarlarda sediment taşınarak göller sığlaşmakta, zamanla ötrofikasyon olayı baş göstermekte ve bu ortamlar göl özelliğini kaybederek sazlık alanlara dönüşebilmektedir.

Ülkemizde bulunan irili ufaklı yaklaşık 160 kadar gölün yüzölçümleri toplamı 9464 km²'yi ancak bulmaktadır. Bunlardan Van Gölü 3764 km², Tuz Gölü 1620 km², Beyşehir Gölü 651 km² ve bunların dışında yüzölçümleri 150 km²'yi geçen dört göl (Apolyont, Manyas, Burdur, Acıgöl) 100 km² civarında olan altı göl (Erdek, Çıldır, Akşehir, Eber, Suğla, Amik) mevcuttur. Yüzölçümü 5 km²'den küçük olan göllerin sayısının 90'ı bulunduğu belirtilmektedir (Inandık, 1965).

Tabii göllerin yanısıra baraj gölleri de ülkemizde önemli bir yer tutmakta olup, halen en büyük baraj gölü 687 km² ile Keban Baraj Gölü'dür. Atatürk Baraj Gölü tamamlandığında yüzölçümü 817 km² olacaktır.

Ülkemizin çok değerli varlıkları olan göllerimizde yaşayan canlılar göl suyunun yapısal değişmesiyle yok olma ile karşı karşıya gelmektedirler. Göl suları, rekreasyon, sulama, turizm, içme, kullanma ve balık üretimi gibi çok amaçlarla kullanıldığından kirlenmelerine karşı gerekli tedbirlerin araştırılarak alınması zorunludur.

Ülkemiz göllerinde yapılan araştırmalar genellikle DSI ve bazı üniversiteler tarafından yürütülmektedir. Yapılan bu çalışmaların halen çok az sayıda gölü içerdiği ve bir defaya mahsus yapıldığı, üzerinde durulan konuların genellikle yüzeysel çalışmaları yansıttığı görülmektedir. Gölde alınan numunelerin gölü temsil edip etmediği kuşkuludur. Gölde sadece münferit fiziksel ya da kimyasal parametreler ile yetinmeyip önceden planlanan parametrelerin sürekli izlenip aylık değişimlerinin incelenmesi ve değişen bu parametrelerin göldeki biyolojik yaşamı dolayısıyla su kalitesini nasıl etkilediğinin incelenmesi gerekmektedir.

Eğüne kadar yapılan göl kirliliği çalışmaları arasında sistemli ve periyodik yapılana rastlamak mümkün olmamıştır. Bu nedenle göllerin hangi amaçla kullanılacağını tespit edilip bu amaca uygun ölçümlerin yapılması, seçilen parametrelerin uzun sürelerle izlenmesi gerekmektedir. Göllerin su kalitesinin

değerlendirilmesinin yanısıra birbirleriyle karşılaştırılabilirliklerinin mümkün kılınması amacıyla ülke şartlarına uygun bir matematiksel modelin tespiti uygun olacaktır.

Bu gün ülkemizde göllerin bitki besin maddesi düzeyinin tespitinde 1970'li yılların başında Vollenweider tarafından ortaya atılan matematiksel model kullanılmakta olup bu modelin tartışıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bu çalışmada ülkemizde kullanılan Vollenweider modeli üzerinde durulacak ve mevcut diğer modeller ile karşılaştırılması yapılacaktır.



2. LİTERATÜR ÖZETİ VE GENEL BİLGİLER

Binlerce kilometre kare alan ve çok fazla derinlikte olanlar ile birkaç kilometre kare ve on metreden az derinlikte olanlara kadar büyük farklılıklar gösteren göller, karalarla çevrili kısmen kapalı kıta içi tatlı su kaynakları olarak tanımlanabilir.

Yeryüzündeki kullanılabilir su kaynaklarının yaklaşık % 98'i göllerde toplanmıştır. Bu miktarın % 80'ni 40 adet büyük gölü geri kalanı ise yeryüzüne dağılmış olan binlerce küçük gölü oluşturmaktadır. Göllerin oluşumunda binlerce yıl boyunca ortaya çıkan pek çok olay rol oynamıştır. Bunların en önemlisi buzul çağı boyunca görülen buzul faaliyetleri olarak kabul edilebilir. Buzulların eriyip geri çekilmesiyle yer kabuğunun çukur yerlerinde büyük su kütleleri kalmış ve bunlar zamanla gölleri oluşturmuştur. Ayrıca volkanik faaliyetler ve aşırı yağış gibi iklim şartları da göllerin şekillenmesinde rol oynamıştır (Salihoğlu, 1989).

Son yıllarda insanlar da çeşitli ihtiyaçlarını karşılamak üzere suyu depolamak, nehirler üzerinde barajlar inşa ederek yapay gölleri oluşturmuşlardır (DSİ, 1989).

Göller evsel ve endüstriyel su temini ile rekreasyon, taşkın kontrolü, ticari balıkçılık, sulama ve enerji üretimi gibi amaçlarla kullanılırlar. Bu kullanımlara ek olarak göllere evsel ve endüstriyel atıklar da boşaltılır. Göller oldukça büyük arazi parçalarının drenaj sularını da alırlar. Göller kısmen kapalıdır ve göl ve gölü çevreleyen kara arasında sürekli bir alışveriş vardır. Yüzey ve yüzey altı akışları göle girer ve çıkar bu arada da çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenleri, organik maddeleri, tortu ve diğer pek çok maddeyi beraberinde sürüklerler. Bu akışların hızı, gölün coğrafik yapısı, iklimsel ve mevsimsel şartlara bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Suyun göldeki bekleme süresi, göle giren ve çıkan akımlara, buharlaşmaya, yağışlara ve göldeki su hacmine bağlı olarak birkaç günden birkaç yıla kadar değişebilir. Göldeki çözünmüş madde konsantrasyonları göle giren suların kalitesi ve buharlaşma hızına bağlı olarak değişir (Inandık, 1965).

Göller coğrafik konum, büyüklük ve şekillerine göre sınıflara ayrılmaktadır. Bunlar arasında tropikal bölge gölleri, ılıman iklim bölgelerindeki göller, kutup gölleri, Alp'lerdeki göller, yapay göller ve diğerleri yer alır. Bu sınıflama içerisinde sığ ve derin göller de vardır (Salıhoğlu,1989). Tropikal bölgelerde yer alan göllerin çoğu sıcaktır ve hiç bir zaman $+4^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşmez ve yılda bir kez alt- üst olurlar. Yoğun güneş ışığı, buz olmayışı ve yüksek sıcaklıklar bu göllerde üretim ve parçalanma süreçlerini hızlandırır. Ayrışan organik maddelerden açığa çıkan temel besin maddeleri, hızla suya karışarak yeni üretimleri artırır. Tropikal göllerde su bitkilerinin aşırı büyümeleri sonucu gölün enerji üretimi, ulaşım, rekreasyon ve balıkçılık gibi amaçlarla kullanımı engellenir (Erdin, 1985 ve Salıhoğlu, 1989).

Ilıman bölgelerdeki göller yılda iki kez alt-üst olurlar. Su sıcaklığı yaz aylarında $+4^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindedir. Kış aylarında ise $+4^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki su sıcaklıkları, göllerde ilkbahar ve sonbahar olmak üzere yılda iki kez tam karışma neden olur. Ilıman bölgelerde biyolojik faaliyet, tropikal göllere göre genellikle yavaş olup üretim ile ayrışma arasındaki denge daha karardır (Ekingen, 1983).

Dünyanın soğuk bölgelerinde yer alan arktik göllerde su sıcaklığı hiçbir zaman $+4^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine çıkmaz ve bunlar genellikle yaz aylarında bir kez karışırlar. Yılın büyük kısmında güneş ışığının olmayışı nedeniyle, bu göllerde kış aylarında üretim az olup ayrışma hızları da çok düşüktür. Buna karşın, yaz aylarında güneş ışığının sürekliliği ve buz örtüsünün azalması nedeniyle biyolojik faaliyetler hızlanır ve üretim artar (Ekingen, 1983).

Alp gölleri; dağlık bölgelerde, yükseklerde çoğu volkanik kökenli kaya formasyonları arasında yer alan, derin ve soğuk göllerdir. Genellikle fazla üretken olmayıp biyolojik faaliyetin azlığına bağlı olarak sular genellikle çok temizdir (Muslu, 1985).

Yapay göller ve rezervuarlar çeşitli amaçlarla insan eliyle oluşturulmuşlardır. Tüm dünyaca kabul edilen belli bir tanımı olmamakla birlikte, küçük bir rezervuar ya da çok büyük bir baraj gölü olarak tanımlanabilir (DSL, 1985).

2.1. Göl Ekosisteminin Tanıtılması

Göller coğrafik konuma bağlı olarak yıllık ısı depolaması ve ısı kaybı çevrimine girip esas ısı kaynağını güneş oluşturur. Bu çevrimi etkileyen diğer faktörler ise göle giren ve çıkan akıntılarla taşınan ısılar arasındaki fark; yağış, yeraltı suları ve atıksulardır.

Gölde farklı yer ve derinlikteki sıcaklıklar büyük farklılıklar gösterir. İklim koşulları, rüzgarın yol açtığı karışımlar, barometrik basınç, akıntılar göllerde bu değişikliklerin nedenleridir. Pek çok gölde hepsi birbirine bağımlı bitki, balık ve hayvanlardan oluşan bir topluluk mevcuttur ki bu da gölün üretkenliği olarak adlandırılır. Göllerdeki bitkiler su, karbondioksit, inorganik maddeler ve güneş enerjisini kullanarak büyür ve çoğalırlar. Hayvanlar bu bitkileri yiyerek beslenir, inorganik ve organik madde içeren atıklarını göle boşaltırlar, bunlar da tekrar bitkiler tarafından kullanılırlar. Buna ek olarak ölen bitki ve hayvan kalıntıları ayrışarak yeni bitkilerin oluşumunda kullanılan atıkların ortama karışmasına neden olurlar. Oluşan yeni bitkiler ise, hayvanlar tarafından beslenme amacıyla kullanılırlar. Devam eden bu sürece "Organik Çevrim" denir (Geldiay ve Kocataş, 1983).

Göllerde fotosentez olayı için ışığın varlığı şarttır. Alg gibi bir ototrofun yetişmesi için gölde her türlü besin bulunsa bile, o göldeki üretimin derecesini ışık şiddeti tayin eder. Göllerde üretim açısından iki bölge mevcut olup; bunlar fotosentezin olduğu yani ışığın geçebildiği, biyolojik üretkenliğin olduğu bölge ve

organik maddelerin ayrıştığı dip bölgedir. Yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık olarak % 1'i fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye ve organik madde haline dönüşürler. Bir beslenme basamağından diğerine geçişteki enerji taşınımı verimi de çok düşüktür ve her basamakta % 10'u geçmez. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi enerji girdisindeki azalmaya bağlı olarak canlı kütle oluşumu da düşmektedir (Geldiay ve Kocataş, 1983).

Bitki, yosun	Ot yiyenler	Et yiyenler	Diğer et yiyenler
Primer üreticiler	Primer tüketiciler	Sekonder tüketiciler	
40kcal/m ² -gün	4kcal/m ² -gün	0.4 kcal/m ² -gün	0.04kcal/m ² -gün

Şekil 2.1 : Bir Beslenme Basamağından Diğerine Geçişteki Enerji Taşınımı
(Geldiay ve Kocataş, 1983).

2.1.1. Göllerin Sınıflandırılması

Göllerin sınıflandırılmasında, göllerin üretkenlik düzeyleri bir kriter olarak alınabilir. Göllerin üretkenlik düzeyleri göllerin ekolojik koşulları ile göllerin kirlenmiş olup olmamasına bağlıdır. Göller organik çevrime bağlı olarak Ötrofik, Oligotrofik ve Mezotrofik (Distrofik) olmak üzere üç grupta toplanırlar (Inandık, 1965).

2.1.1.1 Ötrofik Göller

Ötrofik göller, bitki besin maddeler bakımından zengindir ve bunlara çok miktarda plankton, kıyı bitkileri ve hayvanlar dahildir. Ötrofik göllerde organik çevrim süresince kayba yol açan fazla miktarda çökelmeler meydana gelir. Organik maddelerin ayrışması, üretim sürecinin gerisinde kalır ve göl yavaş yavaş organik ve inorganik maddelerle dolar. Gölün ötrofik durumunu su toplama havzasından gelen düzenli bir besleyici akışı sürdürür. Bu besleyicilerin çoğu evsel ve endüstriyel insan faaliyetleri ve diğer arazi kullanım faaliyetleri sonucu oluşur. (Şekil 2.2) Göl tabanında çökelen ve parçalanmış maddeler çok fazla oksijen tüketirler, bunun sonucunda gölde bulunan balık ve diğer su canlılarının yaşamı zorlaşır (Heyman, 1988).

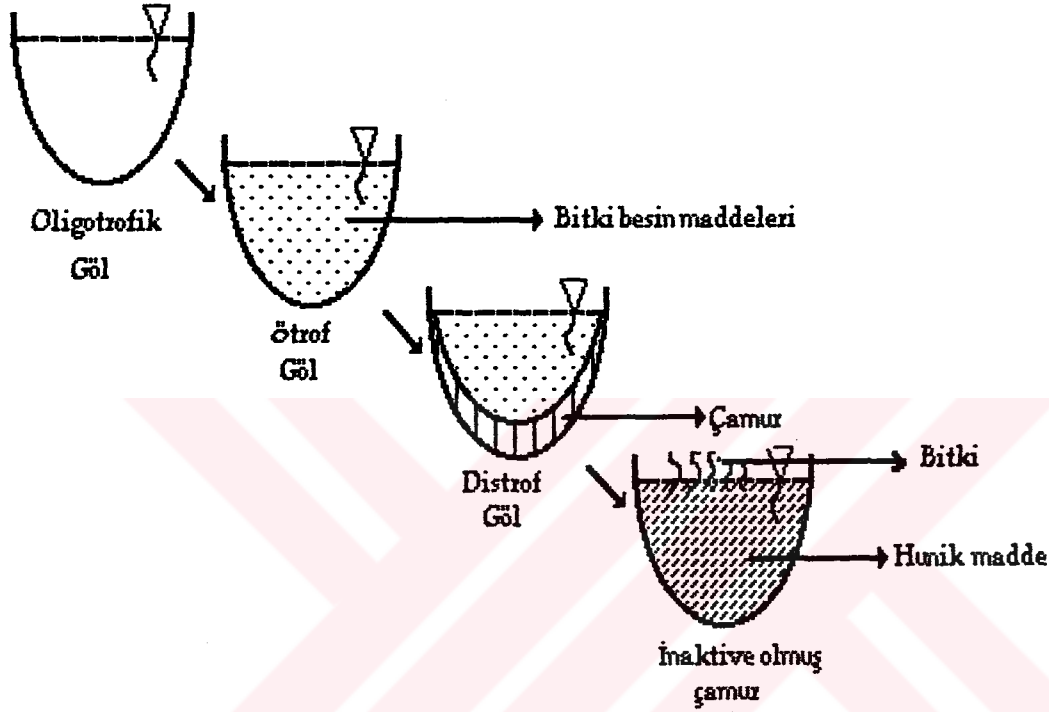
2.1.1.2. Oligotrofik Göller

Bu göller besleyici madde açısından fakirdirler. Üretim ve tüketim arasında bir denge mevcut olup göl tabanında yok denilecek kadar az organik madde birikimi olur. Bu göllere giren bitki besin maddesi miktarları ve göldeki organik çevrim kapalı bir çevrim olarak kabul edilebilir.

2.1.1.3. Mezotrofik (Distrofik) Göller

Distrofik göllerde, parçalanma süresini yavaşlatan humik madde birikimi vardır. Bu sular genellikle asidik olup, yalnızca az sayıda biyolojik tür için uygundur. Üretim ve tüketim dengede olmayıp, bu göller parçalanmış maddelerin göl tabanı ve kıyı bölgelerinde birikmesi nedeniyle kaybolmak üzeredir. Bu göller yavaş yavaş bataklıklaşır ve sonunda bitkilerle kaplanır (Şekil 2.2).

Oligotrofik ve ötrofik göl tipi arasında yer alan bir başka tipte mezotrofik göl tipidir. Ancak bu tipe literatürde diğerleri kadar sık rastlanmaz (Uslu ve Türkman, 1987).



Şekil 22. Göllere Giren Bitki Besin Maddelerinin, Su Kütlesindeki Yaşamı Değiştirmesi (Ramalho, 1983).

2.1.2. Göllerin Özellikleri

2.1.2.1. Göllerin Fiziksel Özellikleri

Termal Tabakalaşma: Göller, sıcak mevsimlerde güneşin etkisiyle ısınurlar ve daha sonra atmosfere ısı transferi nedeni ile soğurlar. Daha hafif olan sıcak su kütlesi daha soğuk ve yoğun olan suların üzerinde yüzer. Bu fiziksel özelliklerden

dolayı yeteri kadar derin olan göllerde; epilimnion, hipolimnion, metalimnion olmak üzere üç tabaka meydana gelir (DSI, 1984).

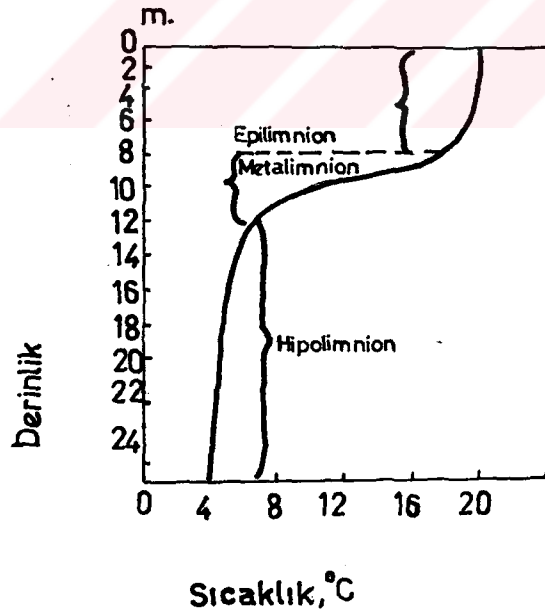
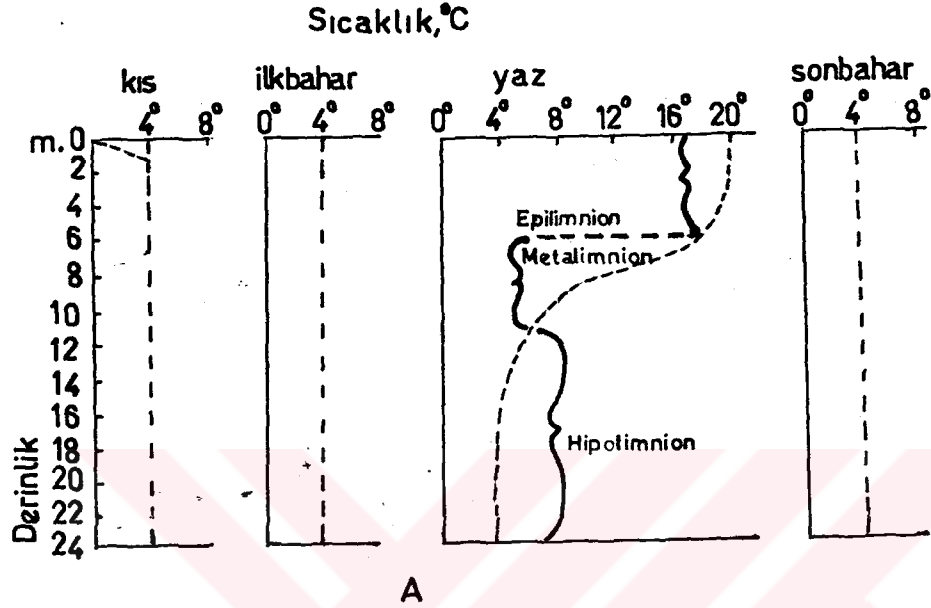
Epilimnion Tabakası: Epilimnion, göl suyunun daha sıcak dolayısıyla hafif olan üst tabakalarıdır. Suların aşağı doğru hareketi daha soğuk ve daha yoğun su tabakalarının yer değiştirmesini gerektirir. Bu nedenle karışıma karşı bir ısısal direnç vardır, Bu tabakanın üstünde bulunan sıcak sular, rüzgarların etkisiyle hareket ederler fakat bu hareketleri rüzgarın gücüne ve suyun derinliğine bağlı olduğundan genellikle hareket sahaları sınırlı olup tekrar yüzeye dönerler (Şekil 2.4). Göllerde çoğunlukla epilimnion, temel üretimin yapıldığı bölge olduğundan en fazla canlı bu kısımdadır ve burada oksijen konsantrasyonu yüksektir (Şekil 2.3). Çünkü su ayrımı çizgisindeki havalanmayı su içindeki difüzyon takip eder. Rüzgar da havalanma ve karışıma yardımcı olur (Ekingen, 1983).

Hipolimnion Tabakası: Hipolimnion tabakası durgun süre içerisinde gölün dip tabakalarındaki hareketsiz soğuk su kütlesinden oluşur. Hipolimnion tabakasının, sıcak mevsimde dahi güneşten ısı enerjisi ve atmosferden oksijen kazanma şansı yoktur (Ekingen, 1983).

Metalimnion Tabakası (Termoklin): Metalimnion tabakası epilimnion ve hipolimnion arasında geçiş bölgesi olup bu bölgeden sıcaklığın derinlikle değişmesi fazladır. Epilimnion ve hipolimnion tabakalarında su yoğunluklarının farklı oluşu nedeniyle metalimnion daha hafif suların aşağı doğru hareketine bir engel oluşturur (Şekil 2.3).

Soğuk mevsimlerde, rüzgar ve fırtınaların etkisiyle yüzey suları soğumaya başlar. Metalimnion tabakası sürekli aşağı doğru itilir ve sonunda bu tabaka kaybolur. İşte bu olay sonbahar (alt-üst) karışımı olarak bilinir. İlkbahar aylarında, yüzey suları +4 °C'de maksimum yoğunluklarına eriştiklerinde bu sular aşağıya doğru hareket eder ve aşağıdaki sularla yer değiştirirler. Böylece ilkbahar (alt-üst)

karışımı gerçekleşir. Bu karışımların olma dönemlerinde göller oldukça iyi karışarak kimyasal madde konsantrasyonları homojen bir dağılım gösterirler (DSL, 1984).

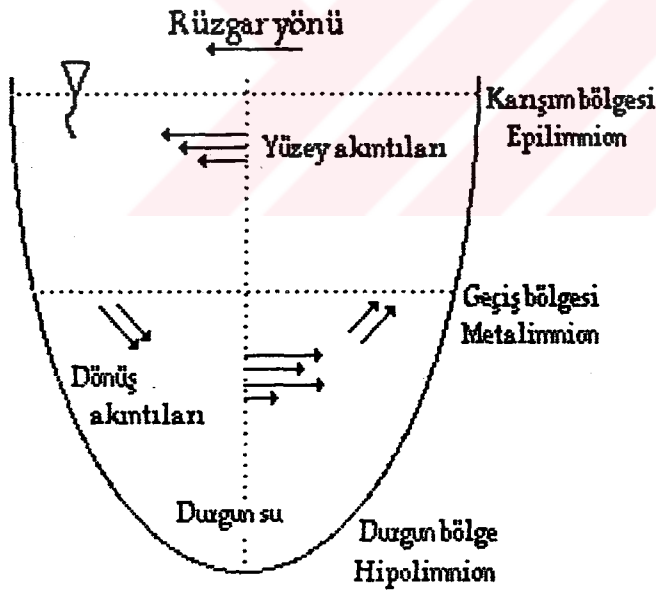


Şekil 23. A. Çeşitli Mevsimlerde, Göllerde Oluşan Vertikal Sıcaklık Dağılımları;

B. Yaz Mevsimi Sıcaklık Tabakaları (Ekingen, 1983).

Sıcak mevsimlerde, oksijen teminindeki azalma nedeniyle derin yerlerde hipolimnion bölgesinde oksijen tamamen yok olabilir ve canlı yaşamını imkansız kılar. Dönüş akıntılarının hareketi gölün derinliği ve rüzgarın kuvvetine bağlıdır. Sıcaklığın derinlik ile azalması artıkça karışma gösterilen termal dirençte artar. Böylece dönüş akıntıları suyun üst tabakalarında kalmış olur (Şekil 2.4).

Sığ göller ve rezervuarlarda genellikle tabakalaşma görülmez. Çünkü bunlar çoğunlukla nehir sistemlerinin bir parçası olup, büyük miktarlarda su giriş-çıkışları bu göllerde durgunluğu ve tabakalaşmayı engeller. Ancak bu göllerde tabakalaşma olur ise de yan derelerden ve yeraltı suyu akiferlerinden gelen soğuk sulardan kaynaklanır. Büyük nehir sistemleri dışında yer alan sığ göller şayet yılın uzun dönemlerinde durgun iseler tabakalaşma gösterebilirler (Salihoğlu, 1989).



Şekil 2.4. Sıcaklığın Derinlikle Azalması Sonucu Karışımın Meydana Gelen Değişimleri (Ekingen, 1983).

2.1.2.2. Kimyasal Özellikler

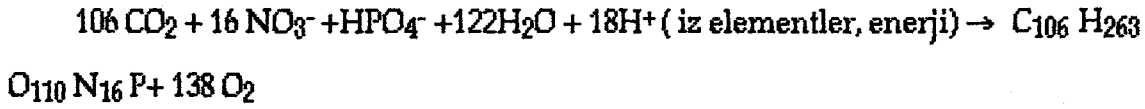
Göllerde yüzen atıklardan, göllerin üretkenliğinin belirlenip, değerlendirilmesinde en önemli olanları: askıdaki katı maddeler, çözünmüş inorganik maddeler, besleyiciler, ağır metaller, organik maddeler (doğal ve yapay) ve çözünmüş oksijene kadar değişiklik gösteren pek çok kimyasal bileşen mevcuttur. (Salihoğlu, 1989). Göllerin üretkenliğine katkıda bulunanların başlıcaları aşağıda açıklanmıştır:

Çözünmüş Katı Maddeler: Bazen tuzluluk olarak da adlandırılan çözünmüş katı maddeler kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum, karbonat, sülfat, klorür gibi iyonları ve çözünmüş metalleri kapsar. Göllerde bulunan katı maddeler, coğrafik konum, iklim, buharlaşma özellikleri ve jeolojik formasyonlara bağlı olarak farklılıklar gösterirler (TÇSV, 1992).

Askıdaki Katı Maddeler: Göllerde bulunan askıdaki katı maddeler, çözünmeyen maddelerin küçük parçacıklarıdır. Kum, silt, kil, bitkisel kalıntılar, algler, klorofil ve diğer yüzebilen maddeler, askıdaki katı maddeleri oluşturur. Askıdaki katı maddeler, ışığın suyun alt tabakalarına nüfuz etmesini engelleyerek fotosentez faaliyetinin dolayısıyla da oksijen üretiminin azalmasına yol açarlar (TÇSV, 1992).

Çözünmüş Oksijen: Göl suyunda bulunan çözünmüş oksijen, biyolojik yaşamın oluşması ve devamı için olduğu kadar organik atıkların ve ölü organizmaların parçalanması için de büyük önem taşımaktadır.

Göllerde oksijen suda kolaylıkla çözünür ve esas kaynağı atmosfer olup, bu çözünürlük sıcaklık artışıyla azalırken atmosferik basınç artışıyla artar (Karpuzcu, 1990). Diğer önemli bir oksijen kaynağı da sudaki fotosentez faaliyetidir.



Reaksiyon sonucu açığa çıkan oksijen suda kolaylıkla çözünür. Ilıman bölgelerde soğuk kış aylarında çözünen oksijen miktarı, sıcak yaz aylarına göre daha fazladır. Su sıcaklığının düşük olduğu, tabakalaşmanın olmadığı ve düşey karışımın en yüksek olduğu sonbahar aylarında ise göllerde oksijen miktarı artar.

Ağır Metaller ve Organik Maddeler: Bakır, çinko, kurşun, nikel, alüminyum, kadmiyum, kükürt, vanadyum, civa, stronsiyum gibi maddelerin suda kabul edilebilir sınırların üstünde olması durumunda, su ekosistemi üzerindeki zehirli etkilerinin yanısıra besin zincirinde de birikebilirler. Bu maddelerin varlığı doğal nedenler veya kentsel, endüstriyel, tarımsal ve madencilik atıklarının göl sistemine boşalması sonucu olabilir.

Göllerde ayrıca fenol, lignin, pestisit, poliklorlu bifeniller, yüzey aktif maddeler, evsel atıklarda bulunan organik maddeler, petrol hidrokarbonları gibi çoğunlukta yapay kompleks organik maddelerde bulunabilir. Bu maddelerin biyolojik yaşam üzerinde zararlı etkisi vardır (TÇSV, 1992).

2.1.2.3. Biyolojik Özellikler

Göllerin biyolojisinde; bakteri, mantar, zooplankton, fitoplankton, bentik organizma yüksek su bitkileri ve balık gibi pekçok organizma yer almaktadır. Bu organizmaların tümü göllerdeki biyolojik toplulukların parçalarıdır ve her canlı türü göl çevresinin dengesi ve kararlılığında önemli bir rol oynar. Bu sistemde biyolojik topluluk esas olarak ayrıştırıcılar (heterotrofik mikroorganizmalar) ve ilk üreticiler (algler) ile başlar. Makro tüketiciler ilk üreticilere göre daha az sayıdadır.

Hayvanların yaşamları daha çok karmaşık olduğundan gelişmeleri için bitkilere göre daha uzun bir süreye ihtiyaç gösterirler.

Yukarıda da belirtildiği gibi, bir ekosistemde her organizmanın fonksiyonel yeri ve pozisyonu vardır. Bu biyolojik topluluk üzerindeki sıcaklık değişimleri ortama taşınan silt gibi fiziksel besleyicilerin parçalanabilir organik bileşiklerin ortama karışması ile ortamda mevcut olmayan bitki ve hayvan türlerinin ilavesi gibi biyolojik etkiler olduğunda ekolojik gelişme durabilir veya geri çevrilebilir. Ortamda ki hassas türler yok olur. Basitleşen toplulukta enerji geçiş yolları azalır, bunun sonucunda da kararlılık bozulur. Göle giren herhangi bir kirletici gelişmeyi ters yönde etkiler. Böylece türlerin farklılığı azalırken, net üretim ve birim zamanda birim kütle başına olan enerji akımı artar (Hickman, 1980).

2.2. Göllerin Kirlenmesi

2.2.1. Bitki Besin Maddeleri

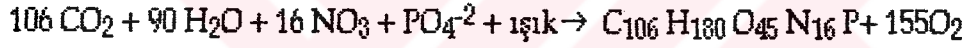
Göllerdeki ötrofikasyon, büyük ölçüde göl suyundaki bitki besin maddesi konsantrasyonlarına bağlıdır. Çeşitli kimyasal formlardaki azot, fosfor, karbon ve silis besleyiciler olarak kabul edilirler. Su bitkilerinin gelişimi bu besleyicilerin varlığına bağlıdır. Bunlardan herhangi birinin azlığı ya da yokluğu göllerdeki üretkenliğin azalması sonucunu doğurur ki böylece göl şartlarında düzelme görülür (Uslu ve Türkman, 1987).

Yüzeysel su ortamlarında primer üretimi sınırlayabilecek faktörlerin başında azot ve fosfor gelir. Justus Liebig'in minimum yasasına göre, göl ortamındaki büyüme hızı bu ortamda bulunan besleyiciler içinde en kısıtlı olan tarafından belirlenmektedir. Sucul ortamlarda fosfor konsantrasyonu azota göre daha az

olduğundan büyüme hızını belirleyici madde genellikle fosfor olmaktadır (Uslu ve Türkman, 1987).

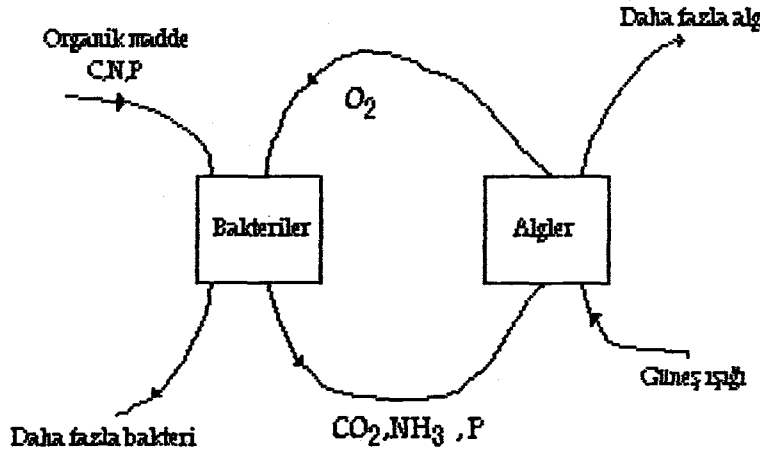
Eğer gölde besleyiciler fazla miktarda ise aşırı üretkenlik sonucu istenmeyen su bitkilerinin üremesi ve alg patlamaları oluşur. Sıcaklığın yüksek olduğu tropikal bölgelerde ise inorganik azotun sınırlayıcı olduğu görülmektedir.

Göl üretkenliğinde önemli rolü olan karbon ve silis sularda silikat ve karbonatlar halinde bol miktarda bulunduklarından nadiren sınırlayıcı olurlar. Primer üretimin en önemli unsuru olan alglerin üremesi için gerekli olan besleyiciler aşağıdaki formüle göre yaklaşık olarak anlaşılabılır. Alglerin fotosentez yolu ile çoğalabilmeleri için su ile birlikte azot, fosfor ve karbon gereklidir (Uslu ve Türkman, 1987).



Gerekli C/N/P = 106/16/1 alg çoğalmasını kontrol eden maddeler P ve N özellikle de bu iki maddenin oranıdır. Fotosentez yoluyla alg üretimi, suda karbondioksit tüketimine ve oksijen üretimine yol açar.

Temel besin maddelerinin biyolojik büyüme için uygun olmaları şartıyla azot ve fosfor gibi temel besin maddeleri su ortamından alg hücrelerine geçerler. Alg hücreleri ölüncü, içlerindeki organik maddeleri parçalamak ve stabilize etmek için ayrıştırıcı bakteriler harekete geçerler. Bu ayrışma esnasında alg hücrelerindeki temel besin maddeleri diğer alglerin büyümeleri için tekrar su ortamına geçer (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Bakteri ve Algler Arasındaki İlişki (Uslu ve Türkman, 1987).

Azot, fosfor ve karbonun yanında diğer bazı maddeler de üremeye katkıda bulunurlar. Eser elementler, Na^+ , Mg^{++} , Fe^{+++} , aminoasitler, büyüme hormonları ve vitaminler bunlara birkaç örnektir. Bazı şartlar altında bu maddelerin diğerleri üzerinde kısıtlayıcı etkisi olabilmektedir.

Temel besin maddeleri açısından aynı olup, fiziksel (morfolojik ve iklimsel) ve kimyasal bakımdan değişik iki göl farklı üretim gösterebilirler. Bakteriler ve mavi-yeşil algler göldeki serbest azotu bağlayarak algler için büyüme faktörünü oluştururlar. Bu besin maddelerinin ortamda artışı ayrıştırıcı bakteri sayısını artırır. Bu bakteriler de büyüme faktörünü yükselterek alglerin büyümelerini sağlarlar (Aydın ve Baykurt, 1987).

2.2.1.1. Karbon Bileşikleri

Karbon, canlı dokuları oluşturan başlıca elementlerden biridir. Canlı yaşamı büyük moleküllerin varlığına bağlı olduğundan karbonsuz yaşam düşünülemez. Karbonun yeryüzünde dört büyük rezervi olup, bunlar atmosfer, litosfer, hidrosfer

ve canlılardır. Karbon, atmosferde karbondioksit halinde, suda çözünmüş karbondioksit ve bikarbonat halinde, karada ise çoğu kez kömür, doğal gaz, petrol ve kireç taşı halinde bulunur. Canlılarda ise, tüm organik moleküllerin temel yapı taşını oluşturur. Havadaki karbondioksit, su ve besleyici tuzlar ile fotosentez işleminde kullanılarak oksijen ve organik madde üretiminde bulunur. Solunumda ise bunun tersi olur. Dolayısı ile serbest kalan karbondioksit çevrime geri döner.

Atmosferdeki karbondioksit ile sudaki karbondioksit, denge halindedir. Üretilen organik maddenin tamamı, solunum ve ayrışma sonucu karbondioksite çevrilmez. Organik maddelerin uzun süre ayrışmadan kalması sonucu petrol, kömür ve linyit oluşmuştur (Berkes ve Kışlalıoğlu, 1990).

Gaz veya çözünmüş haldeki karbondioksit fotosentez proseslerinde kullanılır. Atmosferik karbondioksit ile suda çözünmüş karbondioksit, bikarbonat ve kalsiyum karbonat arasındaki denge önemlidir. Sudaki sedimentte bulunan canlılardaki karbon içeriği ve çevrimi, canlı hayatın önemli özelliği ve temel prosesleridir (Aydın ve Baykurt, 1987).

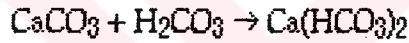
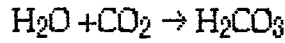
Tatlısu sisteminde görülen inorganik karbon, genellikle karbonik asitten, bir denge ürünü olarak meydana gelir.

Bikarbonat içeren sularda, atmosferik karbondioksit çözünmüş halde bulunur. Bunun ilk birleşeceği element kalsiyum katyonudur. İnorganik karbonun pH' sı 8,5 değerinde iken ayrışırsa tatlı sularda;

- 1-Bağımsız karbondioksit,
- 2- Kısmen ayrışmış, kısmen ayrışmamış karbondioksit (H_2CO_3 , HCO_3^{-2} , CO_3^{-2}),
- 3- Ayrışmış kalsiyum bikarbonat (Ca^{++} , HCO_3^{-} , CO_3^{-2}) oluşur.

Bikarbonat içeren çözeltiler hafif alkalidir. Çünkü bu eriyiklerdeki hidroksil iyonları, hidrojen iyonlarından daha fazladır (Wetzel, 1975).

Göllerde karbondioksit çevrimi: Yağmur suları, göllere beraberinde az miktarda çözünmüş karbondioksit getirirler. 1 m³ havada 0,3-0,4 litre karbondioksit vardır. Karbondioksit suda çözününce karbonik asit (H₂CO₃) meydana gelir ve bu da kalsiyum karbonatı çözünür hale getirir.



Yağmur suları topraktan geçerken, toprakta bulunan humus maddesinden teşekkül eden karbondioksiti göle taşırlar. Suda karbondioksitin ayrışarak, serbest kalsiyum ile birleşmesi sonucu hayvan kabukları ve bitkiler üzerinde kireçten bir tabaka oluşur. Gölün üst tabakasında su sıcaklığı yüksektir ve fazla karbondioksit bulunmaktadır. Epilimnionda teşekkül eden kalsiyum karbonat, organizmalarla birlikte dibe çöker. Daha sonra kalsiyum karbonat haline dönüşür. Bu da suyun pH'sının tahmininde önemli rol oynar. pH değeri sularda karbondioksit'e bağlıdır. Kalsiyum bikarbonat Ca(HCO₃)₂'da suda tampon vazifesi görerek suyun asit ve baz durumunu ayarlar (Güner, 1985).

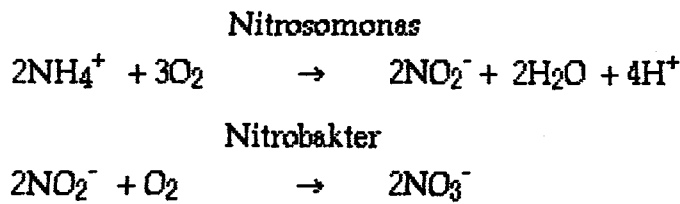
22.1.2. Azot Bileşikleri

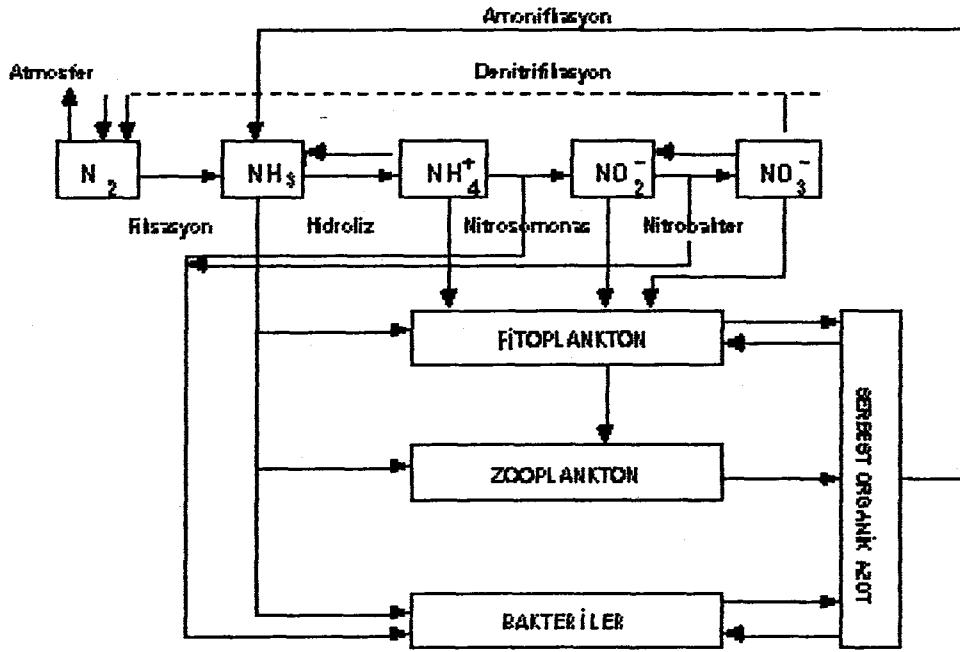
Azot, canlılardaki temel elementlerden biridir. Bütün canlılar, aminoasit ve protein sentezi için azota ihtiyaç duyarlar. Atmosferin % 78' ini oluşturan azot, pasif bir elementtir. Azot bağlayan organizmalar dışındaki canlılar, azotu nitrat veya amonyum iyonları halinde ya da aminoasitler şeklinde dışarıdan almak zorundadırlar.

Pek çok bakteri, mantar, alg ve yüksek bitkiler, azot kaynağı olarak organik azotu, amonyumu ve nitratı kullanırlar. Nitrit ise, çok düşük konsantrasyonlarda dahi azot kaynağı olarak kullanılabilir. Azot doğada, "Azot Çevrimi" adı verilen bir döngü içinde sürekli dolanım halindedir (Şekil 2.6). Azot çevriminin en önemli aşamalarını ise, moleküler azotun bağlanması, amonyaklaşma, nitrifikasyon ve denitrifikasyon oluşturur.

Amonyum tuzları ve nitratlar, sürekli olarak organik azot bileşiklerinin parçalanması yoluyla yenilenir. Organik azot bileşiklerinin kaynağını ise, canlıların metabolik artıkları, yani ölü bünyeleri oluşturur (Arceivala, 1981).

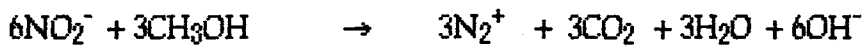
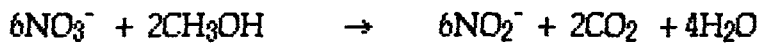
Proteinlerin parçalanması olayına amonifikasyon denir. Amonifikasyon hem aerobik hem de anaerobik şartlarda gerçekleşir. Karbonlu organik maddenin oksitlenmesinden sonra amonyum; nitrite, nitrit ise nitrate oksitlenir. Bu olaya da nitrifikasyon denir ve azot devrinde çok önemlidir.





Şekil 2.6. Azot Çevrimi (Arceivala, 1981).

Denitrifikasyon ise, anaerobik şartlar altında, nötrale yakın pH değerlerinde ve organik hidrojen vericilerinin bulunması durumunda gerçekleşir (Uslu ve Türkman, 1987). Denitrifikasyon için karbon kaynağı büyük önem taşır. Karbon kaynağı olarak metanol veya karbonu zengin, azotu eksik bir endüstriyel atıksu oluşturur (Arceivala, 1981).



Azot bileşikleri, su kirliliği açısından büyük öneme sahiptir. Su ortamına giren azot bileşikleri, sularda bir çok olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Sulardaki en önemli etkilerini aşağıda olduğu gibi sıralayabiliriz :

- 1- Nitrifikasyon nederi ile sularda çözünmüş oksijen miktarının azalması,
- 2- Sularda birincil üretimin artması ve ötrofikasyon,
- 3- Sularda yaşayan organizmalara, serbest amonyak ve nitratın yaptığı toksik etkiler,
- 4- İçme sularında, nitrat konsantrasyonunun artması ve bunun oluşturduğu toksik etkiler (Demircioğlu ve Samsunlu, 1986).

Atıksuların içerdikleri organik unsurlar, alıcı ortamlarda bakteriler aracılığı ile ayrıştırılır ve bu olay aerobik şartlarda gerçekleşir. Sudaki çözünmüş oksijen, bakterilerin metabolik faaliyetleri için tüketilir.

Alıcı ortamlarda tüketilen oksijen miktarı, oksijen kazanımından daha fazla olursa denge bozulur ve aerobik yaşam yerini anaerobik yaşama bırakır. Anaerobik mikroorganizmalar, sularda bulunan organik maddeyi tüketmekle birlikte, metabolizmaları, aerobik metabolizmaya oranla çok farklı özellikler taşır. Anaerobik reaksiyonlar sonucunda; amonyak, metan ve hidrojen sülfür gibi yarı stabil son ürünler açığa çıkar. Anaerobik ortamlarda, balık ve diğer hassas canlıların yaşaması mümkün değildir (Uslu vd., 1987).

Yüzeysel sulara karışan azot bileşikleri, doğal ya da antropojen kökenli olabilir. Su toplama havzasının özelliklerine göre suların azot yükünün bileşimi büyük farklılıklar gösterir. Bu farklılıklara rağmen yüzeysel sularda antropojen kökenli azot yükleri, doğal kökenli olanlara oranla çok daha büyük öneme sahiptir.

2.2.1.3. Fosfor bileşikleri

Fosfor bitki ve özellikle hayvanların gövde yapısında (hücre ve dokular) bulunan önemli bir elementtir. Sucul ekosistemde fosfor, bu sistemlerde mevcut olan çok yönlü ve karmaşık biyokimyasal ve kimyasal dengenin anahtar elemanlarından biridir. Sulardaki fosfor, çeşitli fosfor bileşikleri halinde bulunup, doğal su ve atıksu ortamında gerçekleşen pek çok reaksiyona girer.

Göl sularında bulunan fosforun % 90'ı organik fosfor olarak, canlıların hücre yapısında ve ölü organik maddeler içerisinde bulunur (Wetzel, 1975).

Fosfor, canlı protoplazmanın yaklaşık % 2' sini oluşturmaktadır. Özellikle fotosentez yapan ototrof ve heterotrof mikroorganizmaların büyümelerinde sınırlayıcı olan fosforun, suda yeterli miktarda bulunmuyorsa büyümesi engellenir. Canlı metabolizmasında enerji gerektiren hücre maddelerinin biyosentez gibi reaksiyonlarında fosfor bileşikleri depo edilir ve gerektiğinde kullanılır. Canlı hücrede enerji ileten bileşiklerin en önemlisi Adenozin trifosfat'tır (Uslu ve Türkman, 1987).

Yukarıda değinilen kaynaklardan başka sularda çözünmüş inorganik fosfor:

1. Ortofosfat (PO_4^{3-}),
2. Polifosfat (Deterjan)
3. Organik fosfor kolloidleri halinde bulunur (Erençin ve Köksal, 1983).

Kirlenmiş doğal göllerde, toplam fosfor konsantrasyonu 1 mg P/L kadardır. Dağlık kesimlerdeki göllerde, fosfor konsantrasyonu genellikle düşüktür. Buna karşılık bataklık ve humusca zengin göllerde ise, fosfor konsantrasyonu oldukça yüksektir. Wetzel (1975)'e göre değişik karakterdeki göllerin toplam fosfor konsantrasyonları Tablo 2.1' de verilmiştir.

Fosforun tarımda, endüstride ve evlerdeki kullanımı son birkaç yılda hızlı bir artış göstermiştir. Fosforun karadan denize doğru akışındaki artış, nehir ve göllerdeki fosfor konsantrasyonunun artmasıyla sonuçlanmıştır. Fosfatın, sediment ile sudaki dağılımı göldeki üretim ile yakından ilgilidir. Yüzey suların tortularında, ötrofik göl ve körfezlerin dip kısımlarında oldukça fazla fosfat bulunmaktadır.

Gölün Karakteri (Verimlilik)	Toplam Fosfor (Ortalama Değer)
	mg P/L
Ultra- Oligotrofik	< 5
Oligo-Mezotrofik	5-10
Mezo-ötrofik	10-30
ötrofik	30-100
Hiper ötrofik	>100

Tablo 2.1. Göllerin Verimliliği ile Toplam Fosfor Konsantrasyonu ilişkisi (Wetzel, 1975).

Göl suyundaki fosfor konsantrasyonu, göldeki şartların anaerobik olup olmamasıyla yakından ilgilidir. Göl anaerobik duruma geldiğinde su-sediment ara yüzeyinde indirgen şartlar oluşur ve sedimentten suya fosfor bırakılır (Marsden,1989).

Fosforun yüzeysel dolaşımında, bakteriler, fitoplanktonik algler, zooplanktonlar ve su bitkileri etkilidir. Bu organizmalar, su yüzeyine çeşitli yollarla gelen fosfor bileşiklerini, ara bileşikler halinde asimile ederler.

Bentik fosfor dolaşımında sediment ile su arasındaki fosfor alışverişi ise, tamamen aydınlığa kavuşmamıştır. Doğal sularda sediment ile su arasındaki fosfor

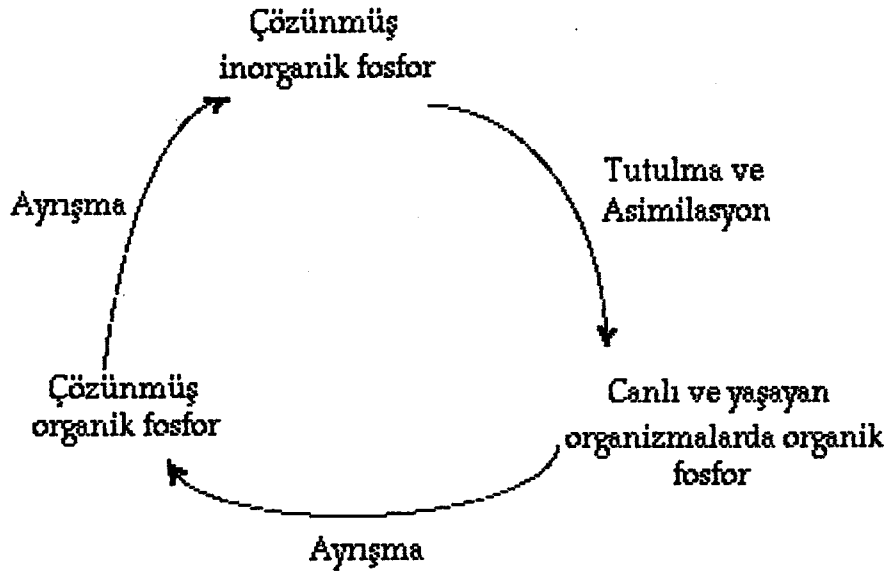
alışverişi sürekli bir döngü halindedir. Bu döngü, fosforun sedimentten suya geçişi ile yeniden sedimente dönmesi, bir takım fizikokimyasal ve metabolik etkiler altında gerçekleşir. Bu döngüde sedimentin fosforu belirli bir süre tutabilmesi, göl suyunun durumu ve sediment içinde yaşayan canlılar için önemli bir etkidir. Sediment bünyesinde yaşayan omurgasızlar, fosforun, sedimente dönüşünde oldukça etkilidirler.

Fosforun sediment içinde dağılışıda doğal yayılma olayı yanında bakterilerin, mantarların, planktonların ve çeşitli omurgasızların etkisi olmakla beraber, göl tabanında yaşayan balıkların da etkileri vardır (Erençin ve Köksal, 1981).

Su toplama havzasından yüzeysel sulara kaçan fosfor miktarına etki eden faktörler;

- 1- Yöredeki nüfusun yoğunluğu,
- 2- Tarımsal gübreleme yöntemleri ve gübreleme sıklığı,
- 3- Hayvancılık,
- 4- Bitki örtüsü (ormanlar, otlaklar ve meralar),
- 5- Toprağın yapısı,
- 6- Atıksu toplama ve arıtma sistemleridir.

Temizlik işlerinde kullanılan ve alıcı su ortamına atıklarla ulaşan fosforlu detarjanlar da fosfor konsantrasyonuna etki eder (Erençin ve Köksal, 1981). Gelişmiş ülkelerde kentsel atıksularla gelen fosfor miktarı 3 g-P/gün' dür. Su kütlesindeki fosfor döngüsü Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Su Ortamında Fosfor Döngüsü (Erençin ve Köksal, 1981)

Son yıllarda ise, endüstri atıklarının ve deterjanların sulara taşıdığı fosfor miktarı artış göstermektedir. Göllerde fosfor ve azot, belirli konsantrasyonlarda verimliliği artırırken, belirli düzeyin üstünde olması zararlı olmaktadır.

222. Ötrofikasyon

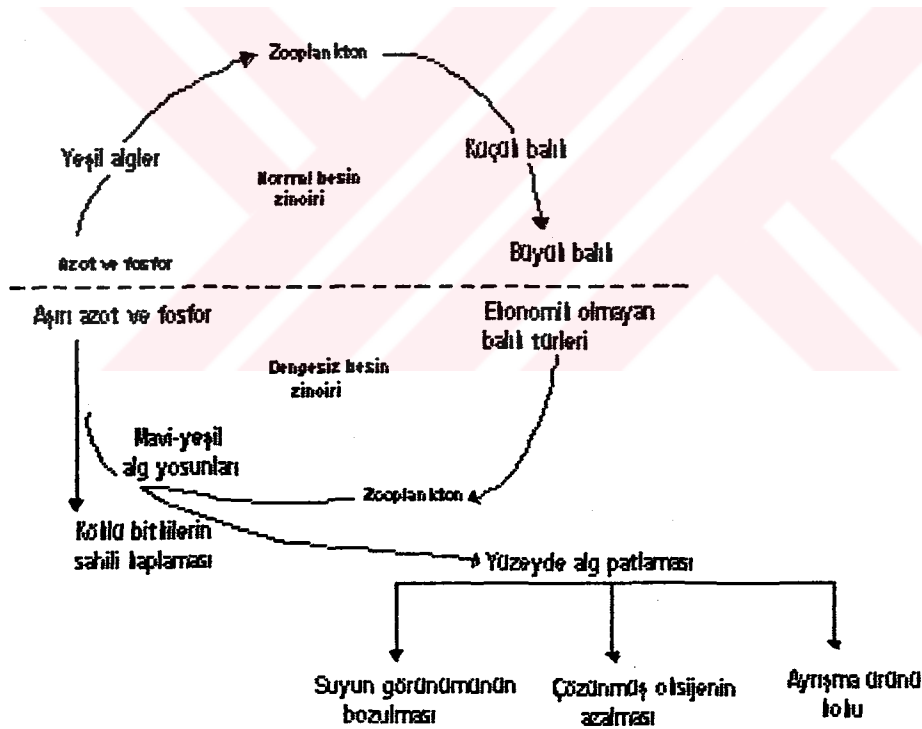
Su ortamında bitki besin maddelerinin aşırı artışına bağlı olarak su kalitesinin ve biyolojik verimliliğinin bozulması olayına ötrofikasyon denir. Ötrofikasyon oluşmasında doğal olaylar ve antropojen etkiler önemli rol oynar. Doğal ötrofikasyon; yağmur suyu, kullanılmayan arazilerden gelen sular ve bitki polenlerinin göl ortamına taşınması gibi nedenlerle oluşmaktadır (Uslu ve türkman, 1987).

Ancak çoğunlukla insan faaliyetleri sonucu, örneğin arazi kullanımı kanalizasyon ve endüstriyel atık suların su ortamına ulaşması gibi nedenlerle yapay

olarak meydana gelmektedir. Yaşlı göllerde, doğal bir süreç olan ötrofikasyon, buradaki yaşamı dahada kısaltır (Ramalho,1983).

Ötrofikasyon olayı sulardaki besin zinciriyle ilgilidir (Şekil 2.8). Alglerin üremeleri ve gelişmeleri için, karbondioksit, inorganik azot, fosfatlı bileşikler ve iz elementlere ihtiyaç vardır (Hammer,1986).

Hammer (1986)'e göre, algler zooplankton denilen mikroskopik hayvanların besinlerini teşkil ederler. Sulardaki besin zincirleri ne kadar gelişmiş ve üretken durumda ise normal olarak tabii sularda az bulunan azot ve fosfor elementleri o derece fazla olur.



Şekil 2.8. Su Ortamında Ötrofikasyon Etkisi İle Dengesi Bozulmuş Besin Zinciri (Hammer, 1986).

Bitkisel üretim ve besin zincirlerinin normal dengesi besin elementlerinin miktarına bağlıdır ve onlarla sınırlıdır. Bu maddelerin normalden fazla olması

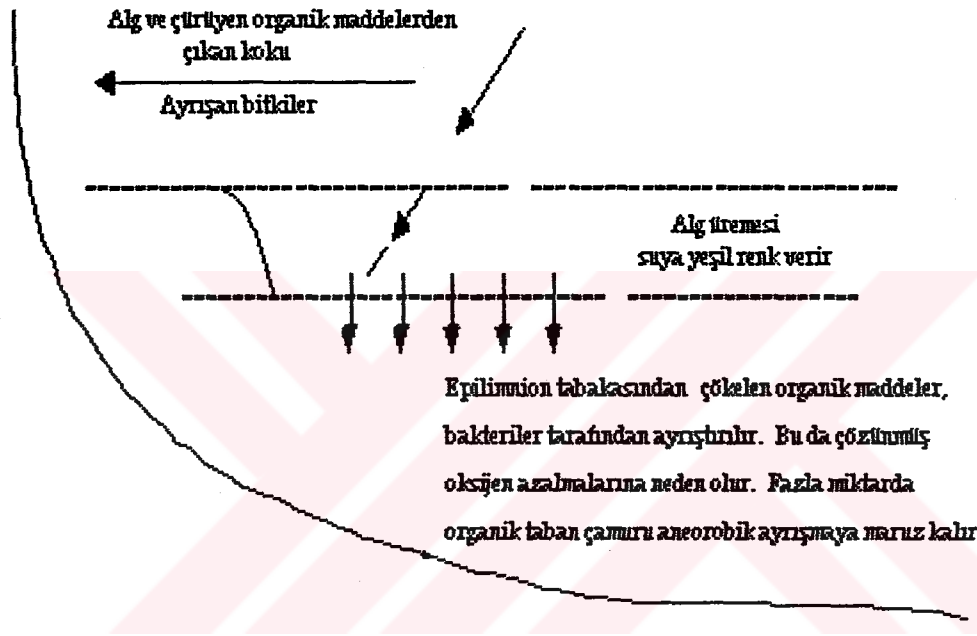
dengeyi bozar ve zooplankton tarafından tüketilmesi kolay olmayan mavi-yeşil alglerin çok fazla miktarda üremesine yol açar. Bu nedenle su bulanık bir hal alır ve suda yüzen alg kütleleri rüzgarla sahile vurarak kötü kokuların oluşmasına sebebiyet verirler. Çürüyen algler, aynı zamanda çökerek ortamdaki çözünmüş oksijen azalmasına neden olurlar. Sahiller ve sığ körfezler köklü su bitkilerinin çok fazla üremesi sonucu otlarla dolar. ekonomik değeri yüksek olan balıklar bu elverişsiz şartlar altında daha fazla yaşayamazlar ve ötrofikasyon ilerlerken yerlerini daha dayanıklı, fakat ekonomik değeri daha düşük türlere terk ederler (Uslu ve Türkman, 1987).

Bir su kütlesinin ötrofikasyonu, halk tarafından alg büyümesinin gözlenmesi ve kullanımının uygunsuz hale gelmesi sonucu belirlenebilir. Gerçekte olay daha karmaşıktır. Genellikle bir su kütlesindeki ötrofikasyon aşağıdaki olaylarla gözlenir (Uslu ve Türkman, 1987).

1. Su organizmaları ve bitki kütlesindeki artış (Bu olay balık türünde azalmayı beraberinde getirir).
2. Organizma tipinde değişim, örneğin yeşil alglere ilaveten mavi-yeşil alg üremesi ve salmon balığı yerine daha kaba balık türlerinin çoğalması,
3. Suyun ışık geçirgenliğinin azalması ve renk artışı,
4. Göl derinliği boyunca oksijen gradyanı oluşumu ve günlük derişiminde maksimum ve minumum değerlerin görülmesi,
5. Tabakalaşmanın oluştuğu dönemlerde, derin bölgelerde oksijen konsantrasyonu azalması,
6. Çözünmüş azot ve fosfor konsantrasyonunda görülen artış.

Besin girdisi devam ettikçe yukarıda sınırlanan değişikliklerin yoğunluğu artar ve sonuçta alg patlaması ile birlikte su estetik ve kullanım açısından hiç uygun olmayan bir durum kazanır ve kimyasal değişiklikler de gerçekleşir. Derinlerde

çözünmüş oksijen yokluğu nedeniyle kömür, mangan ve bileşikleri çözünmüş hale geçerek suya karışırlar (Şekil 2.9). Dibe çöken organik madde ortamda ayrışarak, hidrojen sülfür, metan, karbondioksit gibi kötü kokulu gazların oluşmasına neden olurlar. Bu gazların su kütlesine verilmesi bir çok fiziksel, kimyasal, ve biyolojik olayları olumsuz yönde etkiler.



Şekil 2.9. Uzun Bir Termal Tabakalaşmadan Sonra Sonbaharda Ötrofik Bir Gölün Genel Durumu (Hammer,1986).

Göldeki tabakalaşma ve sıcaklığın artması sonucu bu olaylar hız kazanır. Çözünmüş oksijen miktarının azalmasına ve özellikle geceleri sularda çözünmüş karbondioksit miktarının artmasına bağlı olarak alabalık gibi oksijen ihtiyacı fazla olan balıklar yok olma tehlikesiyle karşılaşır ve tamamen yok olurlar (Hammer, 1986).

22.3.Kirletici kaynaklar

22.3.1.Noktasal kaynaklar

Yüzey su kaynaklarına bitki besin maddesi karışmasına neden olan kaynaklar, evsel ve endüstriyel atıksular ile yağmur suyu drenajlarıdır. Drenaj sularında bulunan fosfatlar evsel atıksuların fosfor içeriğinin önemli bir bölümünü teşkil etmekle birlikte, son yıllarda detarjan aktif maddesinin değiştirilmesi yüzey su kaynaklarına bu yolla karışan fosfor miktarının azalmasına neden olmuştur. Endüstriyel kaynaklar bölgesel olarak önem kazanabilirler; örneğin su tüketimi fazla olan bir bira fabrikasının atıksularının içerdiği azot ve fosfor konsantrasyonlarının 156 mg N/l ve 20 mg P/l değerlerine ulaşıldığı belirlenmiştir (Vollenweider, 1969). Gıda, maden, tekstil, enerji, petrol, metal, kimya ve selüloz kağıt endüstrileri başta olmak üzere endüstriyel kaynaklı kirleticileri oluşturular.

22.3.2. Dağınık kaynaklar

Tarım, orman ve hayvancılık faaliyetleri durgun akarsulara taşınan besin maddelerinin kırsal alanlarındaki kaynaklarını oluşturup aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

Tarımsal kaynaklı kirleticiler

Pestisitler : Pestisitler, istenmeyen bitki ve hayvanları kontrol altında tutmak veya zararlarını önlemek amacıyla uygulanan maddeler olup çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Pestisitler su ortamına püskürtme, yağmur suyu ve atık deşarjlarıyla girmektedirler. Yeraltı suyuna ise, topraktan sızma yolu ile ulaşmaktadır. Bazı pestisitler, katı partikülleri üzerine sıkı bir şekilde tutulmakta ve tarımsal arazideki toprak ve siltin yıkanarak su ortamına taşınması sonucu

yüzeysel sulara geçmektedir. Adsorbe edilen pestisit bir kısmı suya çözünerek geçer ve bir kısmı askıda kalırken, kalan kısmı sedimentte birikir. Daha sonra sedimentten sürekli olarak pestisit suya verilir (Uslu ve Türkman, 1987).

Gübreler: Tarım alanlarında birim alandan daha fazla ve daha iyi kalitede ürün elde etmek için azot, fosfor ve potasyum içeren gübreler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Nitratlı gübreler, uygulandıkları yerlerden yağış veya sulama ile kolayca taşınırlar. Bunların hareketleri daha çok düşey doğrultuda olup toprak suyunun hareketine bağlıdır.

Amonyumlu gübreler de suda daha çözünmüş durumda olmakla birlikte, amonyumun bir kısmı kolloidler tarafından tutulabilmektedirler. Ancak topraktaki amonyum uygun şartlar altında oldukça kısa sürede nitrifikasyon ile nitrate dönüşürler (Demircioğlu ve Samsunlu, 1991).

Fosforlu gübrelerin topraktaki hareketleri, fazla kumlu topraklar dışında son derece yavaştır. Bu nedenle yağış suları ile toprakta yıkanarak uzaklaşma tehlikesi önemli değildir (Karpuzcu, 1991).

Potasyum iyonları, suda çözünebilir durumdadır. Ancak potasyum iyonları toprak kolloidler tarafından değişebilir durumda tutulabildiklerinden, topraktaki hareketi yavaşlamış olur (Karpuzcu, 1991).

İstenmeyen bitkisel ve hayvansal hayatın gelişmesi, çoğunlukla sularda çözünebilir fosforun artmasına bağlanmaktadır. Ancak gübrenenmemiş suların drenaj suları da dahil yüzey sularının çoğu, alglerin fazlasıyla gelişmesine yetecek miktarın altında fosfor içermektedir.

Gübreler bulundukları yerlerden taşınarak alıcı ortamlarda birikebilir. Birikim yerleri genellikle drenaj sistemlerinin sonu olan akarsu, göl ve deniz ortamları olmaktadır. Su kaynaklarına ulaşan gübreler, özellikle göl ortamlarında bitkisel organizmaların aşırı çoğalmasına neden olurlar (Kuleli ve Salihoğlu, 1989).

Drenaj suları: Tarım alanlarından dönen drenaj sularının en önemli özelliği karıştığı ortamın tuzluluk oranını artırmasıdır. Bunun yanında drenaj suları ile sediment, pestisitler, gübre elementleri, organik atıklar, ağır metaller, iz elementler ve patojenik mikroorganizmalar su ortamına taşınırlar. Böylece eser miktarda demir, alüminyum, manganez, ve diğer katyonlar su ortamlarına karışmış olurlar (TÇSV, 1992).

Ormanlık Bölgelerden Kaynaklanan Kirlenmeler: Özellikle tahrip olmuş ormanlık alanlardan rüzgar ve su erozyonu ile organik madde ve sediment su ortamlarına taşınabilmektedir. Ormanlık bölgelerden taşınan en önemli çözünmüş inorganik maddeler arasında ilk akla gelen nitrat, fosfat, sülfat, amonyum, potasyum, kalsiyum, sodyum, silisyum, ve magnezyumdur.

Erozyon: Erozyon ile su ortamına taşınarak biriken sediment, baraj ve su bentlerinin kullanım sürelerini büyük ölçüde azaltmaktadır. Erozyon neticesinde su ortamına giren siltler su derinliklerine ışığın girişini engelleyerek ısı radyasyonunu değiştirirler ve organik maddeleri beraberinde taşıyarak çevredeki su kaynaklarının kalitesinin bozulmasına yol açarlar (TÇSV, 1992).

Hayvan Barınaklarının Katı ve Sıvı Atıkları: Tarımsal alanlar içinde yer alan çeşitli bitki besin maddeleri sulara karışır. Bunlar kalsiyum, potasyum, fosfor, azot, kükürt ve diğer bitki besin elementlerini de içerirler. Hayvan atıklarının su kaynaklarına ulaşması halinde, sudaki çözünmüş oksijen hızla tüketilir (TÇSV, 1992).

2.3. Bir Gölün Bitki Besin Maddesi Düzeyinin Belirlenmesi

Nüfus artışına paralel olarak artan su ihtiyacının karşılanmasında göl ve rezervuarların rollerinin daha iyi anlaşılması ile bu kaynakların kalitelerinin korunabilmesi için gerekli tekniklerin geliştirilmesi 1970'li yıllarda ön plana çıkmıştır. Kalite terimi genel olarak söz konusu kaynakların bitki besin maddeleri ile zenginleşme derecesi ve besin maddesi düzeyi (trofik düzey) olarak ifade edilmektedir.

Bir gölün bitki besin maddesi düzeyinin belirlenmesinde araştırmacılar, gölü bir ekosistem olarak kabul ederek, temel üretim, besin maddeleri, oksijen konsantrasyonu, fitoplankton yapısı ve popülasyon yoğunluğu gibi parametreleri kullanırken, kamuoyunda, renk, berraklık, koku, alg üremesinin sıklığı ile balık kalitesi gibi öğeler önem kazanmıştır. Bu parametrelerin her zaman uyum içerisinde bulunması mümkün değildir. Örneğin suyun berrak olması kamuoyu için temiz suyun göstergesi olabilirken toksik maddeler tarafından kirletilen ve berrak görülmesine rağmen fitoplankton yoğunluğu düşük olan bir göl araştırmacılar tarafından temiz kabul edilmemektedir (Ravera, 1983).

Göllere daha önce değinildiği gibi üretkenlik düzeylerine göre (oligotrofik, mezotrofik, ötrofik) birisine dahil edilmektedirler. Oligotrofik göller besin maddesi açısından fakir, ötrofik göller zengin, mezotrofik göller ise bu iki sınıfın arasındadır. Bu sınıflar arasındaki sınırlar bir anlamda gelişmiş güzel seçilmiştir ve dolayısıyla buna dayanan göl sınıflandırmaları subjektif özellikler taşımaktadır. Bu olgunun bir sonucu olarak tabii göllerin sınıflandırılması amacı ile çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen tekniklerin uygunluğu ve bunların rezervuarlara uygulanması hakkında fikir ayrılıkları bulunmaktadır. Buna yol açan nedenler:

1- Ülkenin sadece bir kısmı ile sınırlı olan verinin kullanılma zorunluluğu veya verilerin sadece tabii göllere yönelik bulunması,

2- Göl ve rezervuarlardaki kompleks ekolojik proseslerin karakterize edilmesinde tek parametre kullanılması,

3- Göl ve rezervuar arasındaki morfolometrik ve hidrodinamik özelliklerden kaynaklanan farklılıklardır.

Örnek olarak, bir tabii göl ile rezervuara aynı toplam besin maddesi deşarj edildiğinde bu yük, gölde kalma süresine bağılı olarak uzun vadeli etkilere neden olabilirken, rezervuarlarda bu yüklerin bir kısmının işletme programına bağılı olarak daha biyolojik yaşam için kullanılma aşamasına gelmeden rezervuardan dışarı atılması söz konusudur (Lambou vd., 1983).

Besin maddesi düzeyi sınıflarının bugün halen kullanılan önemli özellikleri (Tablo 2.2)'de özetlenmiştir. Brezonik (1969), besin maddesi düzeyi indikatör parametrelerini daha genel anlamda ifade edip ve ötrofikasyon üzerindeki etkilerini (Tablo 2.3)'de belirtmiştir.

Bir göldeki besin maddesi zenginleşme olgusu bir çok fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametre tarafından kontrol edilmektedir. Bu parametrelerden en önemlisi, su kaynaklarının çoğunda üretimi kontrol eden faktör olarak belirlenen ve ilk olarak Naumann (1931), tarafından azot ile birlikte ötrofikasyon açısından önemli besin maddesi olarak ileri sürülmüş olan fosfordur. Bunun yanı sıra klorofil de önemli bir parametredir ve bazı araştırmacılara göre ötrofikasyonun en önemli sonucu olarak görülmektedir (Dillon ve Rigler, 1974). Klorofil, alg biyokütlesi ile yakından ilişkili olup fitoplankton patlamaları zamanında suyun renk kazanmasından sorumludur. Fiziksel bir parametre olan seki disk derinliği ölçümleri de besin maddesi düzeyinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu ölçümler diğerlerine oranla daha kolay ve ucuz olup bir çok su kaynağında toplam fosfor konsatrasyonu ile ilişkilendirilmiştir. (Dillon ve Rigler, 1974; Carlson 1977; Lambou vd. 1976, Taylor vd. 1979).

Besin maddesi düzeyi sınıflandırılmasında kullanılan parametrelerin sınırları da ötrofikasyonun tarifinde karşılaşılan zorlukların bir göstergesidir. Sawyer (1945; Lambou'dan 1982)'e göre aşırı alg üremelerine neden olan inorganik fosfor konsantrasyonu 15 mg/l dir. Sawyer (1947, Lambou'dan 1982) daha sonra bu değeri ilkbahar karışımı esnasında 10 mg/l olarak değiştirmiştir.

Tablo 22. Oligotrofik ve ötrofik Suların Özellikleri (Welch, 1952; Lambou'dan, 1982)

OLIGOTROFİK GÖLLER	ÖTROFİK GÖLLER
Çok derin, yüksek termoklin tabakası, hipolimnion hacmi büyük, hipolimnion suyu soğuk	Daha sığ, soğuk su yok veya minimum
Dipte ve süspanse halde organik madde miktarı çok az	Dipte ve süspanse haldeki organik madde miktarı aşırı
Elektrolit miktarı az ve değişken, C,P ve N açısından genelde fakir	Elektrolit miktarı değişken, C,P, ve N aşırı miktarlarda
Bütün yıl boyunca tüm derinliklerde çözünmüş oksijen yüksek	Derin ve tabakalaşmış göllerde çözünmüş oksijen miktarı yüksek, hipolimnionda minimum veya hiç yoktur
Büyük su bitkileri nadirdir.	Büyük su bitkileri aşırı bulunur.
Plankton sayısı sınırlı; spesiler çok; aşırı üremeler nadir; Cholorophyceae dominant	Plankton sayısı aşırı; spesi sayısı değişken aşırı üremeler genel; Myxophyceae ve diatomeler predominant.
Derin karışım, soğuk su balıkları genel ve aşırı	Soğuk su balıkları genelde bulunmaz; sıcak su balıkları için uygun.

Tablo: 2.3 Trofik İndikatörler ve Ötrofikasyon ile Değişimleri (Brezonik, 1969).

Fiziksel	Kimyasal	Biyolojik
Isık geçirgenliği (Seki dışı derinliği)	< Besin maddesi konsantrasyonları	> Alg patlamaları sık
Derinlik	< Klorofil a	>
Süspanse katı madde	> İletkenlik	> Litoral vegetasyon
	Çözünmüş katı madde	> Zooplankton
	Hipolimniondaki oksijen eksik.	> Balık
	Epilimniondaki oksijen doygunl.	> Dip faunası
		Primer üretim
		Fitoplankton biyokütlesi

> : artar, < : azalır

Amerikan Çevre Koruma Kurumu (EPA, 1976), göl rezervuarlarda biyolojik problemlerin ortaya çıkma sınırı olarak 25 mg/l toplam fosfor değerini kabul etmektedir. Buna karşılık her ne kadar aşırı alg üremelerinin hepsi zararlı etkilere yol açmazken EPA tarafından önerilen 25 mg/l sınır değeri, diğer araştırmacılar tarafından problemli alg patlamalarının oluştuğunun gözlemlendiği ötrofik bölgede kaldığı belirtilmektedir (Taylor, 1978).

Günümüzde kullanılmakta olan sınır konsantrasyonlar 10 mg/l ve 20 mg/l'dir. Ortalama toplam fosfor konsantrasyonu 10 mg/l'nin altında bulunan göller oligotrofik; 20 mg/l'den yüksek toplam fosfor konsantrasyonuna sahip göller ötrofik; iki sınır değeri arasında bulunan göller ise mezotrofik olarak sınıflandırılmaktadır (OECD, 1982).

Göllerin besin maddesi düzeyinin belirlenmesinde bir yöntem olarak çok sayıda sayısal "Besin Maddesi Düzeyi Göstergesi" (trofik indeks = TI) geliştirilmiştir

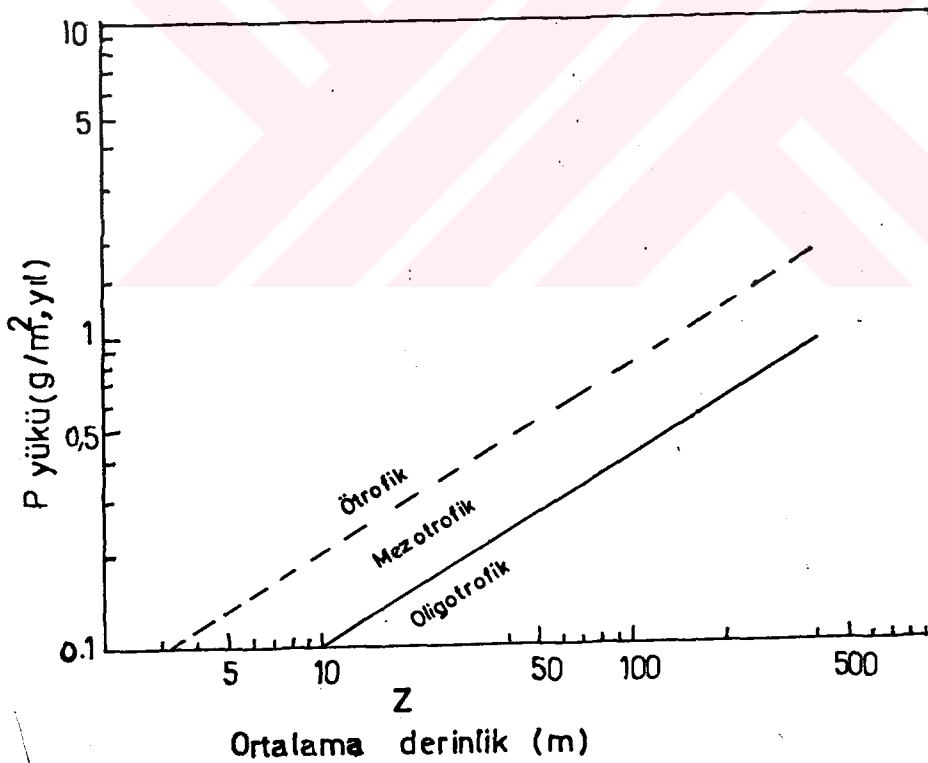
(Baker vd. 1971; Uhlman vd. 1976, Carlson, 1971). Bu indisler genelde kolay ölçülebilen ve bir su kaynağının besin maddesi düzeyinin gelişmesini yansıtabilecek birkaç parametreye (berraklık, klorofil ve fosfor konsantrasyonları, elektriksel iletkenlik vs.) dayanmaktadır. Ancak bu bir gölün oligotrofik durumdan ötrofik duruma geçişi süreklilik arzeden bir olgu olduğundan "Besin Maddesi Düzeyi Göstergeleri"nin en önemli dezavantajı ardışık düzeyleri arasındaki geçişleri iyi tarif edememesidir (Lambou vd., 1983). Ayrıca parametrelerin birisine göre ötrofik olan bir gölün diğer bir parametre açısından ötrofik sınıfa dahil edilmesi gerekebilmektedir (Carlson, 1977).

Bu olguyu şöyle özetlemek mümkündür:

Fosfor, fitoplanton gibi biyolojik partiküllerin bir bileşenidir. Fitoplankton yoğunluğu arttıkça fosfor konsantrasyonu da artarken seki disk derinliği azalır. Bununla beraber fosfor aynı zamanda tabii su kaynaklarında bulunan inorganik partiküllerin çoğunun da önemli bir bileşenidir. Bunun sonucu olarak ışık geçirgenliğinin azalması, bulanıklılığın kaynağından bağımsız olarak, genelde daima toplam fosfor düzeyini yükselten kirleticilerin varlığını gösterir. Işık geçirgenliğinin azalması ise özellikle yüksek askı maddesi taşıyan sularda fitoplankton popülasyonunun ve dolayısıyla klorofil düzeyinin düşmesine neden olur. Lambou (1983)'e göre diğer parametrelerle karşılaştırıldığında berraklığın bir ölçüsü olan seki disk ölçümleri alg biyokütlesinin tahmini açısından çok faydalı olmamakla beraber USA'da, göllerdeki toplam fosfor konsantrasyonunu vermesi açısından diğer pahalı ölçümlerden daha iyi sonuçlar vermiştir ve ortam toplam fosfor konsantrasyonu açısından çok kullanışlı bir göstergedir.

2A. Matematiksel Modeller

Bir gölün besin maddesi düzeyinin tespiti çerçevesinde besin maddesi konsantrasyonları, fitoplankton üretimi, berraklık ve hipolimnion oksijen tüketimi gibi parametrelerin mühendislik analizlerinde uygulanmaları zordur. Buna karşılık göldeki besin maddesi düzeyinin bir göle dışarıdan giren ve göl içerisindeki besin döngüsündeki besin maddesi yükleri ile arasındaki ilişkinin matematiksel ifadesi daha gerçekçidir. Bu konuda ilk olarak Vollenweider (1968, OECD'den, 1982) tarafından "Göl Ortalama Derinliği- Yıllık Fosfor Yükü-Trofi Düzeyi" ilişkisi bir model çerçevesinde ortaya koyulmuştur (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Yıllık Fosfor Yükü ile Göl Ortalama Derinliği-Besin Maddesi Düzeyi ilişkisi (Vollenweider 1968; Imboden 1974'den).

Bu ilk modelde göle deşarj yapılan noktanın yatay uzantısına olan dikey mesafelerin o gölün besin düzeyi ile ilişkili olduğundan hareket edilmektedir. Bu model besin düzeyinin yanısıra, göllere yapılacak azot ve fosfor yüklemelerinin müsaade edilebilecek ve tehlike arz edecek sınırlarını, vermesi nedeni ile ilk yıllarda genel kullanım bulmuştur. Şekil 2.10'un çizimine temel teşkil eden ve istatistiksel olarak elde edilmiş olan değerler Tablo 2.4'de görülmektedir.

Tablo 2.4. Göllerde Azot Ve Fosfor Yüklenme Sınırları.

Derinlik (m)	Müsaade edilebilir yük (g/m ² yıl)		Tehlike arz eden yük (g/m ² yıl)	
	N	P	N	P
5	1.0	0.07	2.0	0.13
10	1.5	0.10	3.0	0.20
50	4.0	0.25	8.0	0.50
100	6.0	0.40	12.0	0.80
150	7.5	0.50	15.0	1.00
200	9.0	0.60	18.0	1.20

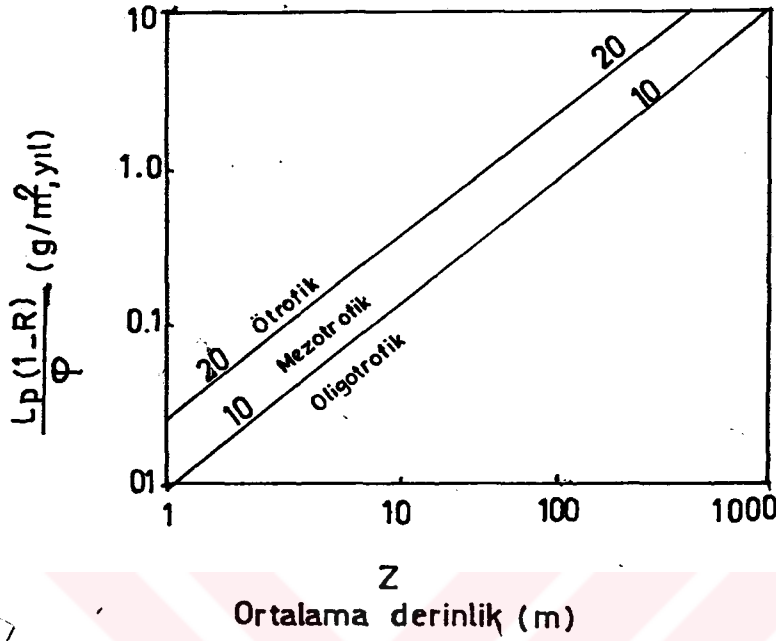
Aradan geçen süre içerisinde diğer araştırmalar tarafından bu modelin kullanımında ortaya çıkan uyumsuzluklara dikkat çekmeye başlanmıştır. Edmondson (1970), çalışmasında bu modelin faydalarını belirtmekle birlikte modelin sınırlarına işaret etmiş ve bir gölün fosfor yükünün artmasının, göle giren akım miktarının yanısıra konsantrasyonlara veya her ikisine de bağlı olabileceğini dolayısıyla besin maddesi yükü ile su yükünün ilişkisi üzerinde de durulması gerekliliğini belirtmiştir. Schindler (1978), modele göl yüzey alanı ile su yenilenme süresinin dahil edilmesi gerekliliğini belirtmiştir.

Kanada'da, yüksek fosfor yükü nedeniyle Vollenweider'e göre ötrofik olması gereken Comeron Gölü'nde yapılan araştırmada göldeki klorofil-a konsantrasyonunun düşük ve berraklığının (seki disk derinliği) yüksek olduğu tespit edilmiştir. Dillon (1975), bu olguyu göldeki suyun hidrolik boşalma oranının yüksek olması (16 yıl^{-1}) ile açıklamaktadır. Aynı bölgede bulunan ve Cameron Gölü'nün fosfor yükünün ancak % 5'ine sahip olan Four Mile Gölü'nde yapılan çalışmada ilkbahar karışımı esnasında her iki gölün fosfor konsantrasyonlarının aynı olduğu görülmüştür. Biri diğerinden 20 kat daha fazla fosfor yükü almasına rağmen aynı fosfor konsantrasyonlarına sahip olmaları Dillon (1975), tarafından hidrolik boşalma oranı (ϕ) ile açıklanmıştır Cameron Gölü'nde ϕ değeri 16 yıl^{-1} iken Four Mile Gölü'nde bu oran $0,24 \text{ yıl}^{-1}$ dir. Bu çalışmanın sonucunda Dillon (1975), $Z \propto P$ yükü şeklindeki Vollenweider modelini, hidrolik boşalma oranı (ϕ) ve fosfor alıkonma katsayısı (R) ile geliştirerek,

$$\frac{L_p(1-R)}{\phi} \propto Z \text{ şeklinde ifade etmiştir (Şekil 2.11).}$$

Burada ;

- L_p : Yıllık alansal P yükü ($\text{g/m}^2, \text{yıl}$)
- R : Alıkonma katsayısı
- ϕ : Dolma-boşalma oranı ($1/\text{yıl}$) = Q/V
- z : Ortalama derinlik (m)



Şekil 2.11. Besin Maddesi Düzeyinin, Göle Giren P Yüğü ve Derinliğe Bağlı Olarak Değişimi (Dillon, 1975).

Dillon (1975)'in çalışmaları ile eş zamanlı olarak Vollenweider (1975) orijinal modelini, su hidrolik bekleme süresini (T_w) dahil ederek geliştirmiştir. Bugün ülkemizde de göllerin besin maddesi düzeyinin tespitinde kullanılan bu model (Şekil 2.12),

$$L_c = P_c \cdot q \left[1 + \sqrt{\frac{Z}{q_s}} \right] \text{ şeklindedir.}$$

Burada;

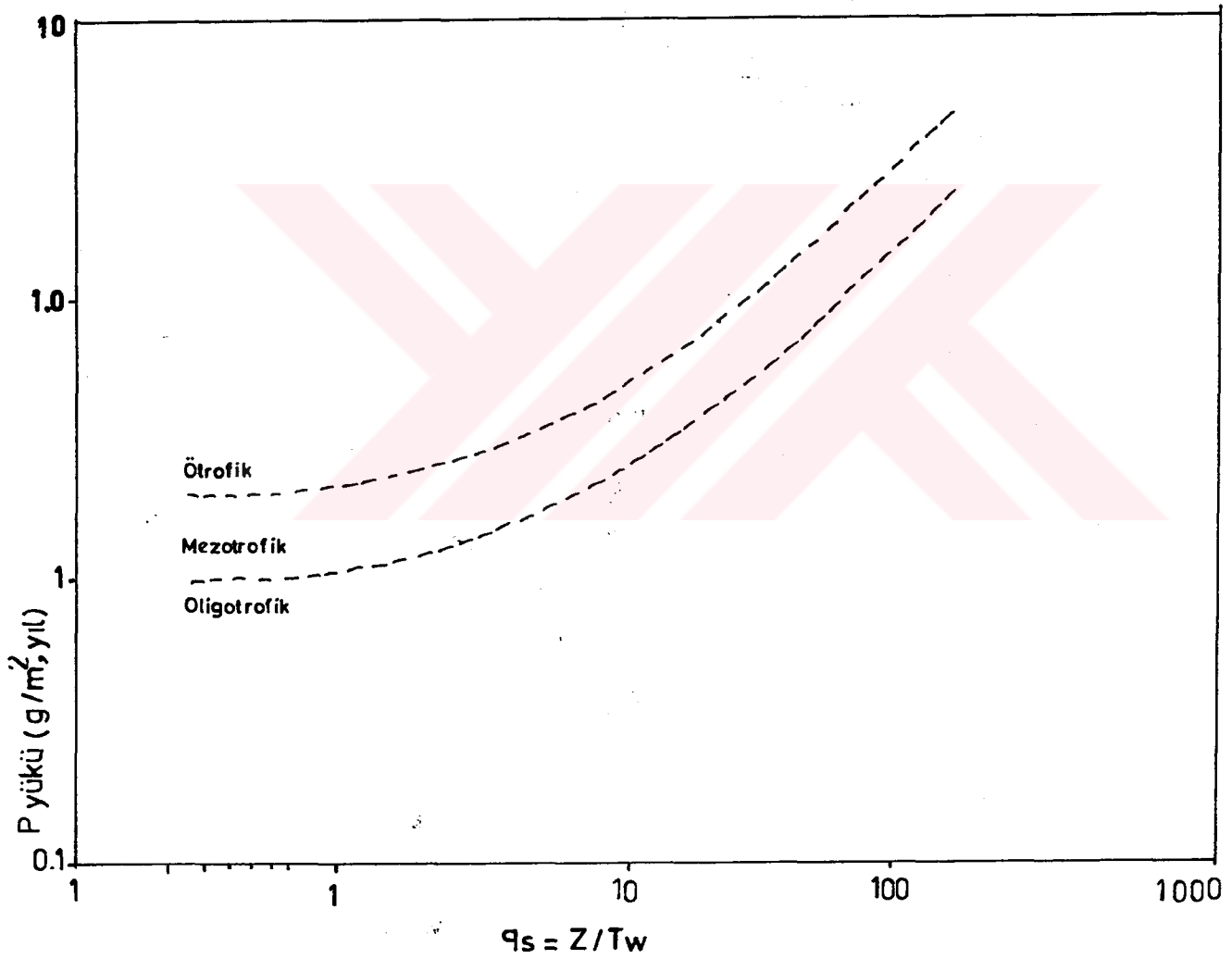
L_c : Yıllık kritik fosfor yükü ($\text{g}/\text{m}^2, \text{yıl}$)

P_c : İlkbahar karışımı esnasındaki kritik fosfor kons. (g/m^3)

q_s : Yıllık hidrolik yük ($\text{m}/\text{yıl}$) = Z/T_w

z : Ortalama derinlik (m)

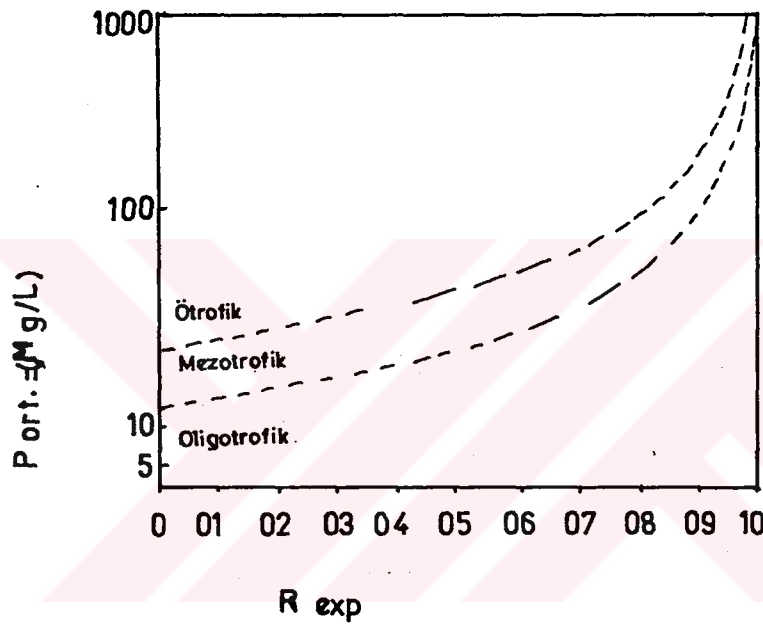
T_w : Hidrolik bekleme süresi, (yıl)



Şekil 2.12. Göllerin Besin Maddesi Düzeyinin Hidrolik Yük ve Fosfor Yükünden Faydalananarak Belirlenmesi.

Larsen ve Mercier (1977), fosfor yükleme modellerine alternatif olarak geliştirdikleri bir diğer modelde bir göle giren ortalama fosfor konsantrasyonu ile fosfor bekleme (alıkonma) katsayısının ilişkisinden hareket etmişlerdir (Şekil 2.13). Fosfor bekleme katsayısı R_{exp} :

$$R_{exp} = 1 - \frac{\text{Çıkan toplam fosfor}}{\text{Giren toplam fosfor}} \quad \text{şeklinde hesap edilmektedir.}$$



Şekil 2.13. Göllerde Ortalama Fosfor Konsantrasyonu, Fosfor Alıkonma İlişkisi (Larcel, 1977).

Lambou vd. (1978), yukarıda değinilen üç modeli karşılaştırdıkları çalışmalarında göllerdeki ortam fosfor konsantrasyonu baz alındığında en iyi yaklaşımın Larsen ve Mercier modeli tarafından gerçekleştiğini, bunu Dillon modelinin takip ettiğini, en zayıf ilişkinin ise Vollenweider modeli tarafından elde edildiğini belirtmişlerdir. İlk iki model de göllerdeki fosfor alıkonma kapasitesi dikkate almakta ve fosfor yükü (L)'nin ortalama derinliğe (z)'ye bölünmesinin ortalama giriş konsantrasyonuna yakın olduğunu ileri sürülmektedir. İki model arasındaki tek fark Dillon tarafından kullanılan hidrolik boşalma oranı (ϕ)'dir.

Fosfor alıkonma kapasitesini dikkate almayan Vollenweider modeli ile hesaplanan besin maddesi düzeyinin güvenirliği diğerlerine oranla zayıf kalmıştır.

Her ne kadar Larsen ve Mercier ile Dillon modelleri birbirlerine yakın sonuçlar verse de Larsen ve Mercier modeli daha az bilgiye ihtiyaç duymaktadır (Hidrolik boşalma süresi ϕ , ve ortalama derinlik z 'ye ihtiyaç duyulmamaktadır). Dillon modelinin zayıf tarafının, ortalama derinliğin, detaylı batimetrik araştırma yapılmadan, yeterli hassasiyetle tespit edilememesinde olduğu bulunmuştur.



3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada materyal olarak, çeşitli kaynaklardan, ülkemiz gölleri ile ilgili yapılan çalışmaların sonuçları kullanılmıştır (DSİ, TÇSV, Güven). Bu veriler tablo halinde Tablo 3.1 a-b'de görülmektedir. Bu tablonun incelenmesinden, verilerin homojenlik göstermediği ve besin düzeyi tespitinde kullanılan modellerin tüm göllere uygulanmasının mümkün olmadığı görülmektedir. Göller farklı amaçlar için ve bir defaya mahsus olmak üzere incelenmişlerdir. Dolayısıyla Tablo 3.1 a ve b'deki veriler o anki durumu göstermektedir ve göllerdeki besin maddesi düzeyinin gelişmesi hakkında fikir vermemektedir.

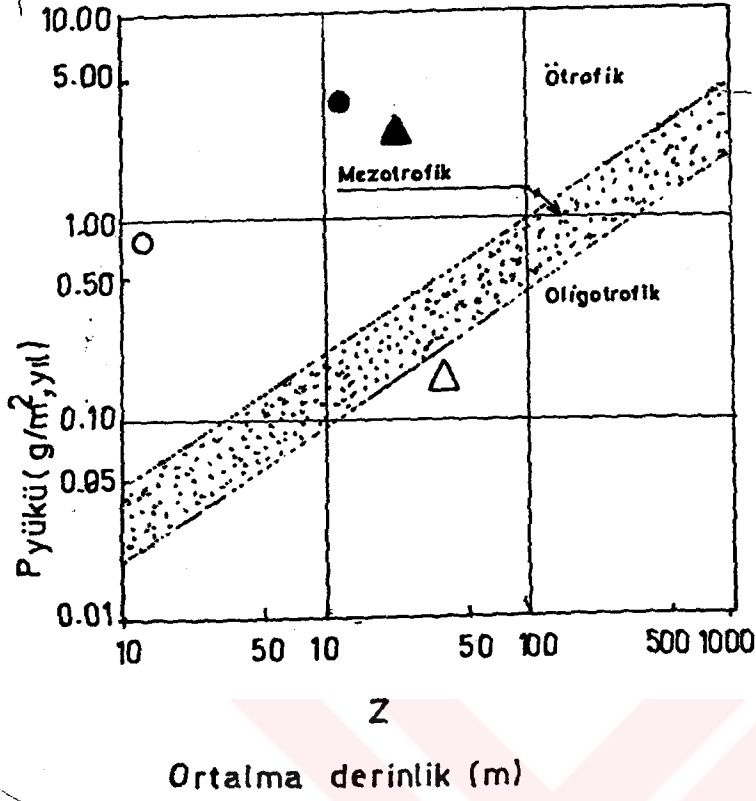
Modellerin karşılaştırmasının yapılabilmesi için DSİ tarafından incelenmiş olan Apolyont Gölü, Büyük Çekmece Baraj Gölü, Sapanca Gölü ve Keban Baraj Gölü araştırma kapsamına alınmıştır. Bu göllere ait ilgili verilerden hesaplanan ve modellerin çiziminde kullanılan büyüklükler Tablo 3.2'de toplu halde verilmiştir. Şekil 3.1-3.2-3.3-3.4'de ise model karşılaştırmaları görülmektedir.

Gölün Adı	İspolvent	Alışır	Boşaltır	Buğur	B. Ç. Kırıcı	Bar	Eğirdir	Hava	Bursa	Karamk	Keban B.	Sapanca	Terkoz	Van
İ	Bursa	Konya	Konya	Buğur	İstanbul	İzmir	İzmir	Buğur	1985-87	1985-86	Buğur	Adapazarı	İstanbul	Van
Araç Yılı	1985-87	1985-86	1985-86	1985-86	1987	1985-86	1985-86	1985	1985-87	1985-86	1985-86	1984	1980	1984
Den. Al. km ²	10413	7340	4052	3351	7340	5000	3351	264	10413	342	657	311	622	12522
Alan km ²	180	353	651	194	11	104	517	82	310	30	155	25.36	42	3754
Derinlikm	1.9	4.5	8.5	45	10.43	3	9	225	60	6	10	52	6	170
T-min. °C	5				4.5			5	2		7.45	8	6	172
T-Max. °C	28				25			28	28		27	23	28	21
pHMin.	8.1			9	7.5			7.6	7.9	7	8.6	8.1	8.4	
pHMax.	8.1			8.4	9.6			9	9.3	8.4		8.5	8.5	
İz. M. phos/cm	329			15500	603			1800	680	520		180	252	
İz. Mz. phos/cm	810			22500	13280			1800	1150	800		285	584	
T. K. Min. mg/l					405			1.8	474				140	
T. K. Max. mg/l					12480			3.8	720				288	
Q. K. Min. mg/l		5	2	1	70	5	1			1			7	
Q. K. Max. mg/l		205	14	28	2077	440	11			18			288	
B. len. k. min				0.5	8					0.5			0	
B. len. k. max				1	232					20			54	
len. k. min					15					30			15	
len. k. max					180					40			50	
Se. k. disk. min			0.7	0.3			1.4			0.4			1	
Se. k. disk. max			3.1	0.6			2.5			2.5				
Cl. min. mg/l				3860	923			8.8		39		1.4	0.5	
Cl. max. mg/l				4153	4899			11.1		170		9.9	0.5	
W. Hg. k. min. mg/l	0.01				0				0.028	0.2		0	0.04	
W. Hg. k. max. mg/l	1.08				1.3				0.81	1.1		1.3	0.36	
W. O ₂ k. min. mg/l					0				0	0.3		0	0	
W. O ₂ k. max. mg/l					4				0.4	0.6		0.09	0	

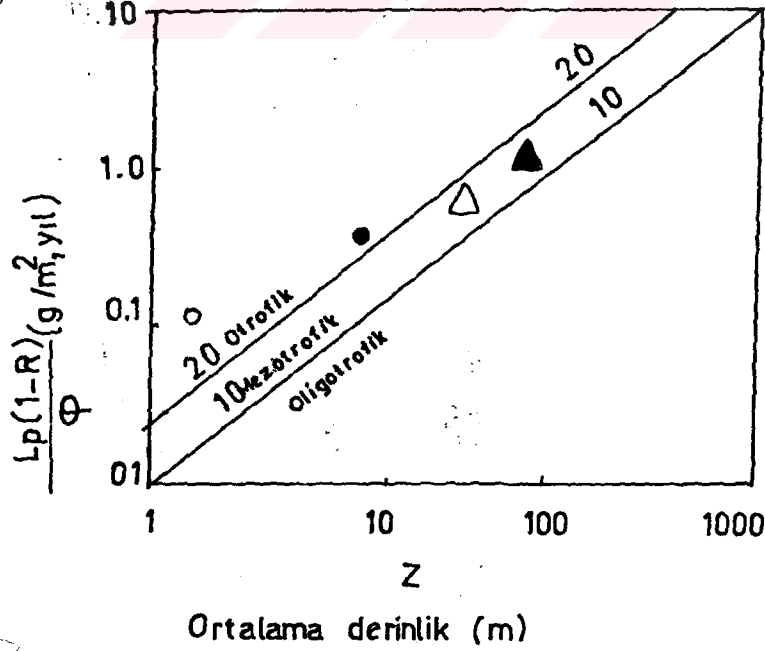
[illegible]

Tablo 3.2. Çalışma Kapsamındaki Göllerde Elde Edilen Matematiksel Değerler.

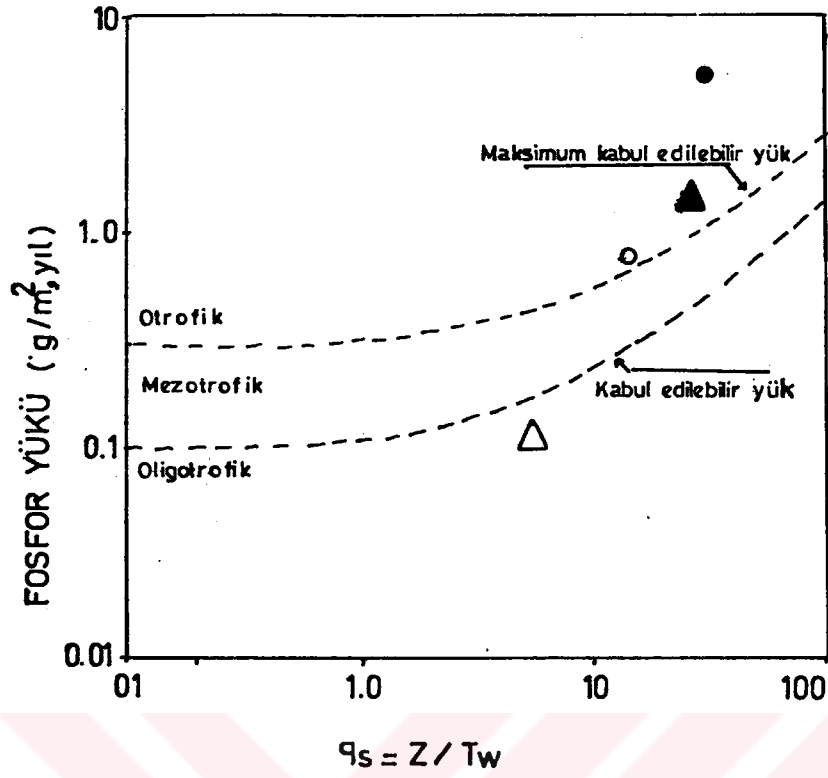
	Yüzey Alanı A	Hacim V	Giren/Çıkan Su Q _y	Ort. Derinlik z	Göle Giren P Miktarı	Göle Giren P Miktarı L _p	Gölden Çıkan P Yüklü	T _w = V/Q _y	q _s = (z/T _w)	φ= Q/V	R _{exp} = 1-Çıkan Yüklü Giren Yüklü	P _{ort} = Yıllık Giren P/Yıllık Giren Su	L _p (1-R)/φ
	m ²	m ³	m ³ /Yıl	m	g/Yıl	gP/m ² .Yıl	g/Yıl						
Apolyont Gölü	160x10 ³	300x10 ⁶	2600x10 ⁶	1875	140427x10 ³	0,877	140006x10 ³	0,115	16,25	0,886	0,752	54,01	0,251
B. Çekmece Baraj Gölü	11x10 ³	159,5x10 ⁶	111x10 ⁶	145	50479x10 ³	4,539	30418x10 ³	1,435	10,13	0,695	0,263	454,76	0,309
Sapanca Gölü	44,7x10 ³	1155x10 ⁶	212,739x10 ⁶	2535	8352x10 ³	0,142	2100,9x10 ³	5,43	4,76	0,184	0,112	29,25	0,268
Keban Baraj Gölü	179,12x10 ³	8563,7x10 ⁶	5336,3x10 ⁶	3664	511816x10 ³	2,351	170660x10 ³	1,23	29,79	0,813	0,265	95,91	1,174



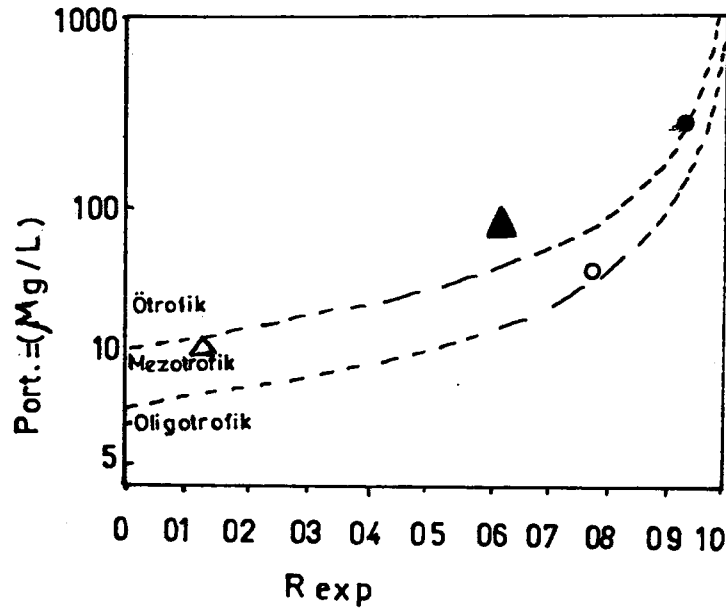
Şekil 3.1. Göllerde Fosfor Yüğü-Ortalama Derinlik İlişkisi (Vollenweider).



Şekil 3.2. Dillon Tarafından Önerilen Model.



Şekil 3.3. Vollenweider Tarafından Geliştirilen Model.



Şekil 3.4. Larten Tarafından Önerilen Model.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Şekil 3.1-3.2-3.3-3.4'den görüldüğü gibi Büyük Çekmece Baraj Gölü her üç model için de ötrofik karakterdedir. Apollont Gölü Şekil 3.1-3.2-3.3'de görüldüğü gibi ötrofik, Şekil 3.4'e göre mezotrofik karakterdedir. Sapanca Gölü Şekil 3.1-3.3'de görüldüğü gibi oligotrofik, Şekil 3.2-3.4'de mezotrofik karakterdedir. Keban Baraj Gölü Şekil 3.1-3.3-3.4'de görüldüğü gibi ötrofik, Şekil 3.2'de görüldüğü gibi mezotrofik karakterdedir.

Görüldüğü gibi göllerin besin maddesi düzeyi kullanılan modele göre farklılık göstermektedir. Bir gölün besin maddesi düzeyinin bilinmesi ise göl su kalitesi ile ilgili işlemlerin seçiminde hayati öneme sahiptir. İncelenen göller için hangi modelin daha uygun olduğunun, mevcut verilerden hareket ederek söylenmesi mümkün görülmemektedir. Çünkü çalışmanın sonuçları sadece birkaç yıllık verilere dayanmaktadır ve göldeki biyolojik bileşen incelenmemiştir.

Tabii ve antropojen etkiler sonucu her geçen gün hız kazanan ötrofikasyonun tehdidi altında bulunan göllerimizdeki su kalitesi değişimleri detaylı olarak araştırılması çeşitli nedenlerden ötürü mümkün olmamaktadır. Bu olguda bir çok parametrenin ölçülmesi-izlenmesi ve yeterli hassasiyette belirlenerek matematiksel modeller ile ifade edilmesi zaman ve kaynak tasarrufu sağlayacaktır.

Ötrofikasyon konusunda uzun yıllardan beri çalışılmakta olup çok sayıda matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modellerin genel, gerçekçi ve hassas olma gibi üç önemli özelliğe sahip olması gerekmektedir. Ötrofikasyon modelleri özellikle azot ve fosfor ile alg üretimi arasındaki ilişkiye dayanırlar.

Besin maddesi konsantrasyonları, fitoplankton üretimi, berraklık ve hipolimnion oksijen tüketimi, parametrelerin mühendislik analizlerinde doğrudan uygulanmaları zordur. Buna karşılık, göldeki besin maddesi düzeyi bir göle

dışarıdan giren ve göl içerisindeki besin döngüsündeki besin maddesi yükleri ile arasındaki ilişkinin matematiksel ifadesi daha gerçekçidir. Vollenweider tarafından göl ortalama derinliği-yıllık fosfor yükü-trofi düzeyi ilişkisi bir model çerçevesinde ortaya konulmuştur. Aradan geçen süre içerisinde diğer araştırmacılar tarafından elde edilen veriler bu modelin kullanımında ortaya çıkan uyumsuzlukları ortaya çıkarmıştır.

Ülkemizde göl kirliliği araştırmaları üniversitelerin yanısıra özellikle DSI tarafından yürütülmektedir. Çalışmalar fiziksel ve kimyasal parametreler açısından yeterli iken, tespit edilen bu parametrelerin söz konusu göllerdeki bitkisel ve hayvansal üretim üzerindeki etkileri hakkında bilgi bulunmamaktadır. Örneğin sadece Van Gölü için klorofil-a değeri mevcuttur. Göllerin mevcut kirlilik durumu, alınabilecek önlemlerin kapsamı, modelleme vs. gibi çalışmalar için daha detaylı bilgilere ihtiyaç vardır. Örneğin tespit edilen fosfor konsantrasyonlarının ne kadarının biyolojik kullanılabilir formda olduğu, sedimente depo edilen fosfor miktarı ile sediment-su ilişkisi, fosfor bekleme süresi, çökelme katsayısı gibi örneğin Vollenweider modelinde yer alan parametreler hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Bunun yanısıra N ve P değerlerinin göllerin kırıltık dönemi olan ilkbahar karışımı esnasında ölçülmüş olması gerekmektedir. Bu dönemde göl suyunda mücadele edilebilecek fosfor konsantrasyonu 10 mg/m^3 iken incelenen bütün göllerde minimum P konsantrasyonu olarak $0,01 \text{ mg/m}^3$ değeri verilmektedir ki bu değer genelde standart yöntemler kapsamında bulunan yöntemler kullanılarak tespit edilebilen değerdir. Bu konuda uygulanan yöntemin ve minimum tespit edebileceği değer önem kazanmaktadır. Ayrıca, antropojen etkilere karşı önlem alabilmek için gölün bitki besin maddeleri ile tabii yüklenmesinin boyutları da araştırılmalıdır. Ülkemizde halen DSI tarafından noktasal ve dağınık kaynaklardan göllere gelen yükler incelenerek trofik düzey

belirlenmesi yapılmaktadır. Bu amaçla Vollenweider tarafından geliştirilmiş model kullanılmaktadır.

Yurdumuzda su kaynaklarının kalitesi ile ilgili geniş çaplı araştırma yapılmasının gerekliliği açıktır. Bu amaçla USA'da örneği bulunan NES (National Eutrophication Survey) türü bir yapılanma oluşturularak yüzeysel su kaynaklarının kirlenmesi ve çok amaçlı kullanımı üzerinde hassasiyetle durulması gereklidir. Bu çalışmalar çerçevesinde göller ile ilgili hidrolojik veriler toplandıktan sonra kirlilik düzeylerinin tespiti için özellikle mevcut su kalitelerinin belirlenmesi, temel parametrelerin, bunların ölçüm zamanlarının ve laboratuvar uygulama kriterlerinin tespiti ve elde edilecek verilerin bir veri tabanında toplanması en uygun yol olacaktır. Halen uygulanmakta olan koordinesiz çalışmalar ülkemizin zaten kıt olan kaynaklarının israfına neden olmakta ve elde edilen verilerin çok amaçlı kullanımına imkan vermemektedir.

Ülkemizde su kirlenmesi sorunu, doğal kaynaklarımızın bilinçsiz kullanımı, sanayileşme ve kentleşmenin düzensiz ve denetimsiz oluşu gibi nedenlerle son yıllarda önemli boyutlara ulaşmıştır. Söz konusu su kaynakları bazen önlem alınamayacak durumlara gelmekte, kaynaklar kirlendikten sonra alınabilecek önlemler ise çoğu zaman daha güç ve pahalı olmaktadır. Bu nedenle Türkiye gibi kalkınmakta olan ve sınırlı ekonomik, teknik olanaklara sahip ülkelerde doğal kaynakların kirlenmeye karşı korunması ayrı bir önem taşımaktadır.

Ülkemizde su kirlenmesinin önlenmesi ve giderilmesi konusunda bugüne kadar yapılan çalışmalar ne yazık ki, gerekli etkinliği gösterememiştir. Su kirlenmesi sorunuyla ilgili tek bir sorumlu kuruluşun olmaması, kuruluşlar arasındaki iletişim ve koordinasyon eksikliği bir çok araştırmanın gereksiz yere tekrarlanmasına neden olmuş, buna karşın bazı sorunlu bölgelerde hiç bir çalışma

yapılmamıştır. Bu nedenlerle su kirlenmesi sorunlarının çözümünde ilgili kamu kuruluşlarınca yürütülecek araştırmalarda koordinasyonunun sağlanması önem kazanmıştır.

Göl kirliliği araştırma sahalarının büyüklüğü, kirlenmenin düzeyi ve kirletici kaynakların çeşitliliği düşünüldüğünde araştırma süresince kullanılan örneklenen noktaların, örnekleme sayısının ve ölçüm yapılan parametrelerin yetersiz kaldığı görülebilir. Nitekim analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde zaman zaman elde edilen veriler yetersiz kalmıştır. Ancak su kirlenmesi konusunda denetim ve yaptırım olarak hiç bir yasal yetkisi ve sorumluluğu olmamasına karşılık DSİ, su kaynaklarının geliştirilmesiyle ilgili sorumlu bir kuruluş olmasının getirdiği bir bilinçle yurt çapında bir çok bölgede araştırma projelerini yürütmektedir.

Ülkemizde yaşanan ve yöresel olarak bazı bölgelerde çok tehlikeli boyutlara varan çevre kirlenmesi sorunlarının en önemlilerinden olan su kirlenmesi sorunu ne yazık ki sahipsiz bir durumdadır. Diğer bir ifadeyle bir çok kuruluş görev alanı gereği su kirlenmesi sorunuyla uğraşmakta, ancak yasal olarak hiç bir kuruluşa su kirlenmesi sorunu denetim ve yaptırım gücüyle birlikte görev olarak verilmemektedir. Bu durum yapılan araştırmaların uygulamaya dönük somut önlem ve öneriler getirmesine engel olmakta, bazı yörelerde de aynı kanunun birden fazla kuruluşca incelenmesi gibi zaman ve para israfına yol açmaktadır. Bugün ülke düzeyinde varılan sonuç kuruluşlar arasındaki görev bölümüne açıklık getirecek düzenlemenin bir an önce kesinlikle ve açıklıkla yapılmasıdır. Böylesine bir kararın verilmesinde 11.08.1983 tarihinde çıkan "Çevre Yasası" çerçevesinde Çevre Bakanlığı'na büyük görev ve sorumluluklar düşmektedir. Çevre Bakanlığı'na bağlı Çevre Bölge ve İl Müdürlükleri'nin daha duyarlı çalışmalar yapması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- ARCEIVALA, S.J., (1981). **Wastewater Treatment and Disposal**. Marcel Deckker N.Y. USA. 355 s.
- AYDIN, A. ve BAYKURT, F., (1987). **Çevre Sorunları ve Korunma**. İ.Ü. yayını, No: 3449; İstanbul 150 s.
- BAKER, L., BREZONIK, P. ve KRATZER, C., (1971). **Nutrient Loading Models for Florida Lakes**. *Lake and Res. Man. Practical Appl* NewYork. pp. 253-258.
- BERKES, F. ve KIŞLALIOĞLU, M., (1990). **Ekoloji ve Çevre Bilimleri**. Remzi Kitabevi, İstanbul. sa. 135.
- CARLSON, R.E., (1971). **A Trophic State Index for Lakes**. *Limnol. Oceanogr.* 22, London. pp. 361-369.
- DEMİRCİOĞLU, C. ve SAMSUNLU, A., (1986). **Evsel Atık Suların Nitrifikasyon, Denitrifikasyon Metodu ile Arıtılması ve İzmir Arıtma Tesisi Azot Sorununa Bir Yaklaşım**. Ege Üniv. AKM Çevre 1986 Sempozyumu Tebliğleri, 2-5 Haziran 1986, İzmir.
- DILLON, P.J. ve RIGLER, F.H., (1974). **The Phosphorus-Chlorophyll Relationship in Lakes**. *Limnol. Oceanogr.* 19, NewYork. pp. 767-773.
- DILLON, P.J., (1975). **The Phosphorus Budget of Cameron Lake, Ontario: the Importance of Flushing Rate to the Degree of Eutrophy of Lakes**. *Limnol. Oceanogr.* 20, NewYork. pp. 89.
- DSİ. (1984a). **Sapanca Gölü Kirlilik Araştırması**. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. DSİ. Genel Müd. İçme Suyu ve Kanalizasyon Dairesi Başk. Ankara. sa. 90-96.

- DSİ. (1984b). **Bursa Bölgesi Su Kaynakları Kirlilik Araştırması**. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. DSİ. Gen. Müd. İçme Suyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı. Ankara. sa. 122-125.
- DSİ. (1987). **İstanbul Büyükçekmece Baraj Gölü Kirlilik Araştırması Raporu**. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, DSİ. Gen. Müd. İçme suyu ve Kanal. Dairesi Bşk. Ankara. sa. 79-82.
- EKINGEN, G., (1983). **Su Ürünleri ve Bahkçılık**. Fırat Üniv. Veteriner Fak. yayınları: 32. Ankara Basım evi Matbası, Ankara sa. 185.
- ERENÇİN, Z. ve KÖKSAL, G., (1981). **İç Sular Temel Bilimleri**. Ankara Üniv. Veteriner Fak. Yayın no: 375, sa. 160.
- ERGENE, A., (1987). **Toprak Biliminin Esasları**. Atatürk Üniv. Basımevi yayın no: 635, Erzurum. sa. 138-141.
- GELDIAY, R., ve KOCATAŞ, A., (1983). **Genel Ekoloji**. Ege Üniv. Fen Fakültesi Baskı İşleri. İzmir. sa. 313.
- GÜNER, H., (1985). **Göl Suyunda Karbondioksit Devri ve Hidrobotanik**. Ege Üniv. Fen Fakültesi. Yayın no: 91 İzmir. sa. 39.
- GÜVEN, A., (1993). **Hazar Gölünde Su Kirliliği ve Zooplankton Gelişimi Üzerindeki Etkisi**. Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, sa. 22-26.
- HAMMER, M.J. ve MAC KICHAN, K., (1981). **Hydrology and Quality of Water Resources**. John Wiley, Canada. pp. 485.
- HAMMER, M.J., (1986). **Eutrophication, Water and Wastewater Techonology**. John Wiley. Canada, pp. 175-179.

HEYMAN, U. ve LUNDGREN, A., (1988). **Phytoplankton Biomas and Praduction in Relation to Phosphorus**. Hyrobiologia, 170 pp. 211-227.

HICKMAN, M. (1980). **Phosphorus, Chlorophyll and Eutropic Lakes**. Arch. Hyrobiologia, 88, London. pp. 137-145.

IMBODEN, D. M., (1974). **Phosphorus Models of Lake Eutrophication**. Limnol. Oeconogr. 19, pp. 297-304.

INANDIK, H., (1965). **Türkiye Gölleri**. İ.Ü yayın no 1155 Baha Matbaası.İstanbul. sa. 49-52.

KARPUZCU, M., (1988). **Çevre Mühendisliğine Giriş**. İTÜ. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul. sa. 345.

LAMBOU, V. W., TAYLOR, W. D., HERN, S. C. ve WILLIAMS, L.R., (1983). **Comparisons of Trophic State Measurements**. Water Res. 17, 11, pp. 1619-1626.

MARSDEN, M. W., (1989). **Lake Restoration by Reducing External Phosphorus Release** **Freshwater Biology**. USA. pp. 142.

MUSLU, Y., (1985). **Su Temini ve Çevre Sağlığı**. İTÜ. İnşaat Fak. Matbaası, İstanbul. sa. 620-625.

OECD, (1982). **Eutrophication of Waters: Monitoring, Assessment and Control**. Paris, pp. 152.

RAMALHO, R.S., (1983). **Eutrophication Introduction to Wastewater Treatment Proceses**. Academic press NewYork, pp. 420.

RAVERA, O., (1983). **Assessment of Trophic State of a Water Body**. Analysis Limnol. 19, (3) pp. 229-234.

- SALİHOĞLU, İ. (1989). **Türkiye'nin Çevre Sorunları Su Kirliliği**. TÇSV Sorunları Vakfı, Dördüncü baskı, Önder Matbaası, Ankara, sa. 159.
- SCHIDLER, D.W., (1978). **Factors Regulating Phytoplankton Production and Standing Crop in the World's Freshwaters**. *Limnol Oceanogr.* 23, pp. 478-486.
- ŞEN, B. ve TOPKAYA, B. (1993). **Türkiye'de Göl Kirliliği Araştırmaları**. I. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi. 5-7 Ekim 1993, İzmir.
- TAYLOR, L.R., (1978). **A Variety of Diversities** Waloff, N. (Ed) Insect faunas, pp. 1-18. Blackwell.
- TÇSV, (1992). **Türkiye'nin Çevre Sorunları**. Ankara, sa. 484.
- USLU, O. ve TÜRKMAN, A., (1987). **Su Kirliliği ve Kontrolü**. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müd. Yayınları No: 1, Ankara, sa. 345.
- UHLMAN, D. ve HRBACEK, J., (1976). **Kriterien der Eutrophie Stehender Gewässer**. *Limnologia*, 10, pp. 245-253.
- WETZEL, R.G., (1975). **Limnology**. B. Saunders Company, Philadelphia, London, Toronto, pp. 743.
- VOLLENWEIDER, R. A., (1969). **Möglichkeiten und Grenzen Elementarer Modelle der Stoffbilanz von Seen**. *Arch. Hydrobiol.* 66, pp. 1-36.
- VOLLENWEIDER, R.A., (1970). **Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes Flowing Waters With Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication**. OECD, Paris, pp. 181
- VOLLENWEIDER, R.A. (1974). **A Manual of Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments**. IEP Handbook no 12. Blackwell Scientific Publ. Oxford, pp. 320.

- VOLLENWEIDER, R.A., (1975). **Input-Output Models with Special Reference to The Phosphorus Loading Concept in Limnology.** Schweiz. Z. Hydrol. 37, pp. 532-552.
- VOLLENWEIDER, R.A., (1982). **Advances in Defining Critical Loading Levels for Phosphorus in Lake Eutrophication.** CCiw, Burlington, Canada. pp. 243.



EK-1**Kütle Dengesi ve Model Gelişimi****1. Süreklilik Denklemi**

Vollenweider (1970) tarafından geliştirilmiş olan matematiksel model kütle dengesi prensibine dayanmaktadır. Bu modelin dayandığı temel kabule göre, göl açık bir sistemdir ve kütle dengesi denklemi göl dinamiğine dahil olan her madde için uygulanabilir:

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = I - O - (S - R)$$

(1)

I : Dış yük

O : Çıkış ile kayıp

S : Sedimente depolama ile kayıp

R : Sedimenten geri dönüş (iç yük)

 $\frac{\Delta M}{\Delta t}$: Δt süresi için depolama kayıp ve kazancı.

(1) denklemindeki terimler doğrudan yapılacak ölçümler ile belirlenebilirse de, (S-R) teriminin doğrudan ölçümünün zor olduğu ve (1) denklemindeki ölçümü daha kolay olan diğer terimlerden elde edilebileceği belirtilmektedir (Vollenweider, 1970).

Bu denklem geliştirilen her model için temel teşkil etmektedir. Imboden (1974) bu denklemi sadece epilimnionun yanısıra epilimnion ve hipolimnion arasındaki karşılıklı etkileşimini kapsayacak şekilde iki kısım halinde incelemiştir.

2. Kararlı Durum

(1) denkleminde $\frac{\Delta M}{\Delta t} = 0$ alınması ile kararlı durum elde edilir.

Gerçekte hiçbir göl kısa veya uzun zaman aralıklarında kararlı durumda değildir. Buna karşılık bitki besin maddesi yüklerinin uzun yıllar sabit ortalama değerler etrafında değişmiş olan göllerin belirli bir kararlılık göstereceği düşünebildiği belirtilmekte olup (Vollenweider 1974), bu düşünce matematiksel modellerin geliştirilmesinde kullanılan bir diğer kabuldür.

3. Model Geliştirilmesi

3.1. Genel

Vollenweider (1976) tarafından son hali verilen ve OECD (1982) tarafından gerçekleştirilen geniş kapsamlı bir çalışmaya temel teşkil eden ve burada tariflenecek olan matematiksel modelin dayandığı bir diğer temel kabul, söz konusu olacak göllerin tam karışımli reaktörler olacağıdır. Bu kabul göllerin çoğunluğu için kısmen doğru olup, bazı durumlarda verilen gölün piston akımlı veya seri bağlanmış tam karışımli reaktör şeklinde kabul edilmesi daha doğru olmaktadır.

Bu kabullerin hiçbirisi tam doğru olmamakla beraber, dinamik modelleme için önemli bir temel olan çoklu reaktör düşüncesinin uygulanması ve karşılaştırmalı çalışmalar yapılması mümkün görülmemiştir. Bunun sonucunda Avrupa ve Kuzey Amerika'daki gölleri içeren çalışmalarda tam karışımli reaktör düşüncesi, istatistik tekniklerle birleştirilerek kullanılmıştır (OECD, 1982).

3.2. Anlık Kütle Dengesi Denklemleri

Herhangi bir t zamanı için bir göldeki kütle depolanmasındaki değişimler genel kütle dengesi denkleminden türetilir.

$$\frac{dM_{\lambda,t}}{dt} = \sum (Q_{i,t}[M]_{i,t} - Q_{w,t}[M]_{w,t} - A_e F_e(M) + A_s F_s(M)) \quad (2)$$

Bu denklemde,

$Q_{i,t}$: t anında göle giren i akımının debisi (m^3/s)

$[M]_{i,t}$: t anında göle giren i akımının konsantrasyonu (mg/m^3)

$Q_{w,t}$: t anında gölden çıkan debi (m^3/s)

$[M]_{w,t}$: t anında gölden çıkan akımın konsantrasyonu (mg/m^3)

A_e : Epilimnion alanı

A_s : Sediment alanı

$F_e(M)$: Epilimniyondan M maddesinin akışı ($mg/m^2.s$)

$F_s(M)$: Sedimentten M maddesinin akışı ($mg/m^2.s$)

(2) denkleminin çözümü, her terimin uygun ölçümlerle tespitine dayanmakta olup bu denklemin çözülebilmesi için bazı kabul ve basitleştirmeleri yapılması gereklidir.

Herhangi bir t zamanı yerine, (2) denklemini Δt zaman aralığında geçerli olacak şekilde bir fark denklemini olarak yazılır ve Δt hesap kolaylığı açısından bir yıl olarak alınır.

Bu durumda $\sum Q_i$ bir yılda göle giren toplam su miktarı olur.

Kütle hesabı için gerekli olan konsantrasyon da yaklaşık olarak "ortalama konsantrasyon" ile tahmin edilir.

Aynı düşünce şekli diğer terimler için de geçerlidir ve

$$A_e F_e (M) = A_e \bar{s} [M]_{\lambda} \quad \text{kabul edilir.}$$

Burada;

$[M]_{\lambda}$:Maddenin göldeki ortalama konsantrasyonu

s : Ortalama çökelme hızı (m/yıl)'dır.

3.3. Genel Hesaplama Modeli:

Aşağıdaki basitleştirme ve tarifler ile,

$$[\bar{M}]_w = [\bar{M}]_{\lambda} \quad \text{gölden çıkan kons. = Ortalama göl suyu konsantrasyonu}$$

$$\frac{\sum \sum Q_i [\bar{M}]_i}{\sum \sum Q_i} = [\bar{M}]_j \quad (\text{göle değişik kaynaklardan giren tüm madde}$$

$$\text{konsantrasyonu} = [\bar{M}]_j)$$

$$\sum Q_i = \sum Q_w = \bar{Q}_y \quad \text{göle giren debi = gölden çıkan debi}$$

(2) denklemi,

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \bar{Q}_y [\bar{M}]_j - \bar{Q}_y [M]_k - A_e \bar{S} M_k + A_s \cdot F_s(M) \quad (3)$$

şeklini alır.

Denklemin her iki tarafının göl hacmi V_0 ile bölünmesi ile,

$$\frac{\Delta M}{V_0 \Delta t} = \left(\frac{\bar{Q}_y}{V_0}\right) [\bar{M}]_j - \left(\frac{\bar{Q}_y}{V_0}\right) [M]_k - \left(\frac{A_e}{V_0}\right) \bar{S} [M]_k + \left(\frac{A_s}{V_0}\right) \cdot F_s(M) \quad (3a)$$

elde edilir.

Kararlı durum şartları için, ortalama göl konsantrasyonu :

$$[\bar{M}]_k \cong \frac{\left(\frac{\bar{Q}_y}{V_0}\right) [\bar{M}]_j + \left(\frac{A_s}{V_0}\right) F_s(M)}{\left(\frac{\bar{Q}_y}{V_0}\right) + \left(\frac{A_e}{V_0}\right) \bar{S}} = \frac{\text{Toplam hacimsel yük (iç ve dış)}}{\text{Eliminasyon fonksiyonu}} \quad (4)$$

Bu denklemde kullanılan,

$$\frac{V_o}{Q_y} = T_{(w)} \equiv \frac{\text{Dolma zamanı}}{\text{Yıllık çıkan hacim}} \quad \text{olur.}$$

Ayrıca

A_e ve A_s yaklaşık olarak yüzey alanı A_o 'a

V_o/A_e ve V_o/A_s yaklaşık olarak göl ortalama derinliği z 'ye eşittir.

Diğer tarifler :

$$\frac{\overline{Q}_y}{A_o} = q_a \quad : \text{Hidrolik yük (m/yıl)}$$

$$[\overline{M}]_k \cdot q_a = L(M) \quad : \text{Gölün M maddesi ile alansal yüklenmesi (mg/m2,yıl)}$$

$$\frac{L(M)}{\overline{z}} = L(M) \quad : \text{Gölün M maddesi ile hacımsal yüklenmesi (mg/m3,yıl)}$$

$$T_{(w)} = \frac{V_o}{Q_y} = \frac{\overline{z}}{q_a} \quad : \text{Su yenilenme süresi.}$$

(4) denkleminin pay ve paydasının $\left(\frac{V_o}{Q_y}\right)$ terimi ile çarpılıp, $A_e=A_s=A_o$

kabulü ile,

$$[\bar{M}]_h = \frac{[\bar{M}]_j + \frac{T_{(w)}}{z} \cdot F_s(M)}{1 + \frac{T_{(w)}}{z}} \equiv \frac{[\bar{M}]_j + \frac{F_s(\bar{M})}{q_a}}{1 + \frac{\bar{s}}{q_a}} \equiv \frac{M_j \cdot q_a + F_s(\bar{M})}{q_a + \bar{s}}$$

olur.

(4) denkleminin daha genelleştirilmiş hali,

$$[\bar{M}]_h = \frac{[\bar{M}]_j + F_s(M) \cdot f_1(T_{(w)}, z)}{1 + \bar{s} \cdot f_2(T_{(w)}, z)} = \frac{[\bar{M}]_j + F_s(M) \cdot f_1(q_a, \bar{z})}{1 + \bar{s} \cdot f'_2(q_a, \bar{z})} \quad (4a)$$

şeklinde yazılabilir.

İç yükün sıfır (0) olduğu ($f_1=0$) durum (4a) denkleminin önemli bir sınırlayıcı halidir. Bu durumda:

$$[\bar{M}]_h = \frac{[\bar{M}]_j}{1 + \bar{s} \cdot f(T_{(w)}, \bar{z})} \quad \text{olur.} \quad (4b)$$

$\bar{s} \cdot f(T_{(w)}, \bar{z})$ terimi istatistik analiz sonucu bulunur. Bunun için

$$\frac{[\bar{M}]_h}{[\bar{M}]_j} = \Pi_r = \frac{1}{1 + \bar{s} \cdot f(T_{(w)}, \bar{z})} \quad \text{eşitliği kullanılır.}$$

Vollenweider, 1969, 1975 ve 1978'da yaptığı araştırmalarda (4b) denklemini fosfor açısından uygulamıştır. Vollenweider'in 1969 yılında ilk olarak ortaya attığı denklem,

$$[\bar{P}]_A = \frac{C(P)}{\bar{z} \cdot \frac{1}{T_{(w)}} + \sigma} \quad \text{şeklindedir.}$$

Bu denklem (4b) şeklinde şöyle yazılabilir.

$$[\bar{P}]_A = \frac{[\bar{P}]_j}{1 + \sigma T_{(w)}} \quad (5)$$

veya başka şekilde

$$[\bar{P}]_A = \frac{[\bar{P}]_j}{1 + \sqrt{T_{(w)}}} \quad (6)$$

(5) denklemindeki $\sigma \equiv \bar{s} / \bar{z}$ dir. Burada;

$$\bar{s} = 10-20 \text{ m/yıl}$$

(6) denklemi, $\sigma = \sqrt{T_{(w)}}$ alındığında (5)'e eşdeğer olur. Her iki denklem de mevcut verilerin istatistiksel analizi ile elde edilmiştir.

(6) denkleminde,

$$[\bar{P}]_A = P_c \quad ; \quad [\bar{P}]_j = \frac{L_c}{q} \text{ 'den faydalanarak}$$

$$P_c = \frac{L_c / q}{1 + \sqrt{T_{(w)}}} = \frac{L_c / q}{1 + \sqrt{\frac{z}{q}}}$$

Buradan

$$L_c = P_c \cdot q \left[1 + \left(\frac{z}{q} \right)^{0.5} \right] \text{ elde edilir.} \quad (7)$$

Burada;

L_c : Kritik fosfor yükü ($g/m^2, \text{ yıl}$)

P_c : İlkbahar karışımı esnasında kritik fosfor konst. (g/m^3)

q_s : Yıllık hidrolik yük, ($m/\text{yıl}$) = Z/T_w

z : Ortalama derinlik, (m)

T_w : Hidrolik bekleme süresi, (yıl)'dır.

(7) denklemini Vollenweider modelinin ülkemizde olduğu gibi dünyanın bir çok yerinde yapılan besin maddesi düzeyi tespit çalışmalarında kullanılan şeklidir (Hammer, 1981).

Göl suyunda bulunan fosfor konsantrasyonunun genel olarak kabul edilen sınır değeri, ilkbahar karışımı esnasında 10 mg/m^3 'dür. Bu değerin altındaki göllerin oligotrofik olduğundan hareket edilebilmektedir. Fosfor konsantrasyonunun 20 mg/m^3 'den büyük olduğu durumlarda ise gölde ötrofik şartların hakim olduğu sonucuna varılmaktadır (Hammer, 1981).