

## Uygulanmış Bazı Göl İyileştirme Çalışmaları ve Sonuçları

Hakan Didinen, \*Y.Ömer Boyacı, Behire Işıl Didinen

Süleyman Demirel Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, 32500, Eğirdir, Isparta, Türkiye  
\*E mail: yboyaci@sdu.edu.tr

**Abstract:** *The recovering studies of some lakes and their results. Most of lakes on the world have been damaged by a lot of activities of humans. The lakes unfortunately were deserted and taken care of itself. However, some countries realized the worth of the water sources and they started recover over again from the beginning. It is attracted attention that these studies are very complex procedures in the long term and are much cost price at the same time. These studies are carried out in mostly European countries and they continued on this time. However, the success of the performed studies will appear to the results of observations during many years. In this review the lake restorations studies in Sweden, Denmark, England, Holland, Germany and Turkey is taken in to consideration.*

**Key Words:** Lake ecosystems, restoration, Cyanophyta, Chlorophyll-a.

**Özet:** Genellikle insan kaynaklı bir çok faaliyetler neticesinde, Dünya üzerinde bir çok göl ağır tahribata uğramıştır. Bu durumdaki göller, maalesef kendi kaderine bırakılmış ve yok olmaya terk edilmiştir. Ancak bazı ülkeler bu yitip giden değerlerin farkına varmış ve bunların tekrar kazanımı için çalışmalar başlatmıştır. Bu çalışmaların çok komplike ve uzun süreli olmasının yanı sıra çok yüksek bütçeli olması dikkat çekmiştir. Bu tip çalışmalar, daha çok Avrupa ülkelerinde yoğunlaşmış olup, günümüze kadar gelişerek süre gelmektedir. Yapılan bu çalışmaların başarısı, ancak yıllarca sürecek gözlem aşamaları sonucu belli olacaktır. Yapılan bu derlemede daha çok İsveç, Danimarka, İngiltere, Hollanda, Almanya ve Türkiye'deki göl restorasyonu çalışmaları yer almaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Göl Ekosistemi, Restorasyon, Mavi Yeşil Alg, Klorofil-a.

### Giriş

Göller; gerek canlıların yaşamı için kaçınılmaz olan tatlı suyun temini açısından ve gerekse, kendilerine has ürettikleri kaynakları ile yüzyıllar boyu insanoğlunun ilgisini çekmiştir. İnsanın tarihsel süreci açısından bakılırsa, birçok önemli uygarlık tatlı su kaynaklarının bulunduğu alanlara kurulmuş ve kök salmıştır. Ancak, insanoğlunun aşırı çoğalması ve ekosisteme karşı duyarlılığı, birçok çevre sorununu peşinden getirmiştir. Bu sorunlar son yüzyılda daha da ivmelenmiş, çok büyük boyutlara ulaşmıştır. Son zamanlarda yaşam için gerekli tatlısu rezervlerinin hızla tükenmesi insanlık için kaygı verici boyutlara ulaşmıştır. Konunun ciddiyeti ve önemi, gelişmiş hatta gelişmekte olan birçok ülke tarafından anlaşılmış olup, insanlar tarafından bozulan ekolojik dengenin, yine insanlar tarafından yeniden kurulabileceği ve korunabileceği bilincine varılmıştır (Kocataş 1992).

Tüm insanlığın istediği sürdürülebilir bir dünya için ekolojik dengenin ve biyolojik çeşitliliğin korunması gerekmektedir. Bunun için savurgan bir toplumdan, sürdürülebilir bir dünya toplumuna geçmedeki uyum modelinde en iyi çözümleri maddenin sakınımı ve enerji kanunu belirler. Savurgan toplumlar genelde endüstrileşmiş kesimdir, madde ve enerji kaynaklarını hızla tüketerek, çevrenin kirlenmesinde önemli rol oynarlar. Bundan dolayıdır ki, doğal dengenin korunmasında azami gayreti gene bu toplumlar üstlenmektedir (Kocataş 1992).

Göl ekosistemlerinin sürdürülebilirliği, bu ekosistemlerin ve ilişki içinde oldukları doğal ve kültürel çevrenin korunması

ve geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Küresel ölçekte bu bağlamda yapılan çalışmalar, en uygun aracın "göl yönetimi" olduğunu belirtmektedir. Göl yönetimi, bugünkü ve gelecekteki su ihtiyacının karşılanması için, göl ve göl ile bağlantılı diğer ekosistemlerin ve bunların kaynaklarının korunması ve geliştirilmesidir. Bu çerçevede Dünya Göl Vizyonu, göl yönetim planlarında, insan ve doğa arasındaki uyum, uygun coğrafi yönetim birimi, önleme stratejisi, bilimsel bilgiye dayalı karar üretimi, akılcı kullanım, katılımcılık ve iyi bir idareyi temel prensipler olarak belirtmektedir (Baylan 2006).

Bir göl iyileştirme projesinde başarıya giden yol, bu sistemlerin çok iyi bilinmesi ve bilimsel birikimler ışığında bunların yorumlanmasından geçer. Birçok göl iyileştirme projesinde, bilim adamlarıyla yöneticilerin ortak ve uyumlu çalışmaları başarı getirmiştir. Halkın da bu çalışmalara dışarıdan destek vermesi başarıyı daha da perçinlemektedir. (Carpenter ve Lathrop 1999).

Göl ekosistemleri sürekli ve yavaş bir değişim içindedir. Her yıl rüzgarların etkisiyle dalgaların kıyıları aşındırması, akarsularla taşınan alüvyonların göle girmesi, biyomas atıkları, mineral çökmesi gibi etkenlerle göl dibi yavaş bir tempoda dolar. Göllerin zamanla yok olmaya doğru meyleden bu gidişine "gölün evrimi" adı verilir. Bu evrim büyük ve derin olan oligotrof göllerde yüzyıllar boyu yavaş bir şekilde sürer. Nadir olmakla beraber, bir gölün yok oluşunu izlemeye bir insan ömrü bile yeterli olabilir. Göllerin hızlı evrimleşmesinde ötrofikasyonun önemli bir rolü vardır. Özellikle tarımsal ve evsel atıkların karıştığı göllerde azotlu ve fosforlu besleyici tuzların suda artması ötrofikasyonu hızlandırır (Tanyolaç 2000).

Aşırı besin elementi girişi, gölün ötrofikasyonunda diğer nedenlerden daha çok dikkat çekmiştir. Besin maddesi girişi noktası belli olan durumlarda, bunlar arıtma tesisiyle kontrol edilebilir. Kaynağı bilinmeyen ya da kontrol edilemeyen besin maddesi girişi de erozyon ya da yer altı suyu vasıtasıyla olur. Bunlar tarımsal ve şehir atıkları şeklinde kontrolsüz bir şekilde su ortamına girerek ekosistemde gübreleme yaparlar. Kaynağı bilinmeyen kirliliğin kontrolü ise karada bazı önlemleri almayı gerektirir (Carpenter ve Lathrop 1999).

Göl kenarındaki aşırı bitkisel oluşum ve sulak alanlar toprağın üst kısmından yıkanarak akan besleyici elementlerin su ortamına girişini engeller ya da geciktirirler. Zooplankton ise; ortamın alg (fitoplankton) biyomasının yükselmesini önler ve etkin şekilde daha üst gıda zincirine besin aktarımını sağlar. Bu esnada ışık geçirgenliği artan su, sucul makrofitlerin gelişmesine uygun ortam hazırlar. Ortamdaki besin tuzlarının büyük miktarı bunlar tarafından depolanır (Carpenter ve Lathrop 1999).

Ekosistemdeki besin ağ yapısı büyük yırtıcı (predatör) balıklar tarafından düzenlenir. Bu balıkların popülasyon yoğunluğu aşırı avcılıkla azaltılırsa zooplankton ve bentoz ile beslenen balıklarda aşırı çoğalma görülür. Sonuçta zooplankton üzerinde yoğun bir predasyon baskısı kaçınılmazdır. Hızla zooplankton komünitesi azalır ve yok olma seviyesine gelir. Böylece ortama giren besleyici elementler fitoplankton biyomasında birikir. Bunlar arasında özellikle mavi-yeşil algler ön plana çıkar. Bunu daha ilerideki aşamada alg patlamaları, algal toksin salınımı ve oksijen yetersizliği izler. Bu söz konusu durum, Moss ve diğ. (1991), Padisak ve Reynolds (1998), Bürgi ve Stadelmann (2002) ve Jacquet ve diğ. (2005) tarafından da sıkça bildirilmiştir. Sucul makrofit yatakları, suyun ışık geçirgenliği azaldığı için kaybolma aşamasına girer. Phillips ve diğ. (1999) ve Perrow ve diğ. (1999) a göre, bu duruma en iyi örnek olarak, Güney İngiltere'nin Norfolk bölgesindeki göllerde gözlemlenen durum gösterilebilir. Buradaki göllerde *Rutilus rutilus* ve *Abramis brama*'nın aşırı baskın olduğu balık komünitesi, su omurgasızları üzerinde olumsuz etkiler göstermiş ve bu durum, mavi-yeşil toksin alglerin baskın olduğu alg patlamasıyla sonuçlanmıştır.

Dünya genelinde, son 50 yıldan beri sayısız göl iyileştirilmesi metodu geliştirilmiş ve denenmiştir. Çoğunlukla amaç yüksek fitoplankton yoğunluğunun neden olduğu ve genellikle gölün su kalitesinin ve biyolojik çeşitliliğinin bozulmasına neden olan ötrofikasyonla mücadele etmektir (Sondergaard ve diğ. 2000). Günümüzde bu tip çalışmalar çok büyük başarılar elde etmiştir. Ancak, bu tür çalışmalar, ekosistemin kendini yenileme yeteneğini aşan kirlilik durumunda yapılmalıdır (Lytras 2007).

Göllerde besin tuzları yükü azaltılırsa su kalitesinde iyileşme görülebilir. Sedimentte yüksek oranda nütriyent birikimi olduğunda salınan fosfor kimyasal olarak bir değişime sebep verebilir. Yüksek miktardaki besin tuzları birikimi biyolojik yapının da değişmesine neden olabilir (Sondergaard ve diğ. 2000).

Bir göl için iyileştirme programı, hedeflerin

belirlenmesiyle başlar (Şekil 1). Burada genellikle seçilen hedefler, toksik mavi-yeşil alg gelişiminin önüne geçmek ve söz konusu gölü eski durumuna döndürmektir (Van der Molen ve Boers 1999).



Şekil 1. Mecklenburg-Batı Pomerina'daki (Almanya) yeniden geliştirme ve iyileştirme programının şematik dizilimi (Mathes ve diğ. 2003).

## Uygulanmış Göl İyileştirme Çalışmalarından Bazıları

**1. Eymir Gölü'nün (Türkiye) İyileştirilmesi:** 25 yıl boyunca atık suların Eymir Gölü'ne bırakılması sonucu zamanla, suyun ışık geçirgenliğinde azalmalar meydana gelmiştir. Bu durum baskın olan yüksek su bitkilerinin de azalmasına yol açmıştır. 1995 yılında alınmış başarılı ve etkin tedbirlerle toplam çözünmüş azot ve fosforun alan yükünde % 88-95 oranında azalma kaydedilmiştir. Planktivor olan *Tinca tinca* ve bentivor olan *Cyprinus carpio* göl balık komünitesinde baskındı. Bir yıldan daha fazla süren gölde balık kaldırma çalışmaları sonucunda balık stoklarında %57 azalma sağlanmış ve bunun sonucu olarak ta secchi diski görünürliğünde 2,5 kat artış sağlanmıştır. Bu artış askıda inorganik katı madde konsantrasyonlarında 4,5 kat azalmayı da beraberinde getirmiştir. Büyük boyutlu fitoplankton süzücülerin, sayılarında ve boyutlarında pozitif etkiler açıkça görülmüştür. Örneğin *Daphnia pulex*'in boyutu balıklar azaltıldıktan sonra önemli oranda arttı. Suyun ışık geçirgenliğinin artmasıyla sucul makrofitlerde belli bir gelişim tespit edildi. Ancak, bu gelişim yetersiz olarak görüldü. Gelişimin zayıf olması, sedimentin olumsuz şartlarına ve *Fulica atra* (Sakar meke) yoğunluğundaki artıştan ileri gelmiştir (Beklioğlu ve diğ. 2003). Ancak, Güney İngiltere'de değişik trofik seviyelerdeki göllerde yapılan bir araştırma, bu kuşların baharda koloni oluşturma fazında ve yazın büyüme periyodu boyunca, sucul makrofitlerin azalmalarında pek bir etkilerinin olmadığını bildirmiştir (Perrow ve diğ. 1997).

**2. Danimarka'da Uygulanan Göl İyileştirme Projeleri:** Danimarka göllerinin yarısında ortalama su derinliği 1,6 m den

daha düşüktür. Diğer göllerin ise, sadece % 10'unda ortalama su derinliği 5 m'den yüksektir. Çoğu göl kentsel atıklardan dolayı besin tuzları zengindir. Son 20 yıl esnasında, nütriyent yükünün azaltılması için büyük çaba harcanmasına rağmen, bu göllerin yaklaşık yarısı ötrofik ve bu göllerde yazın ortalama toplam fosfor 0,15 mg/l'den daha yüksektir. Yazın ortalama secchi diski görünürlüğü, bu göllerin yarısında 0,85 m'den daha azdır ve bu göllerin sadece yaklaşık % 13'ünde ortalama secchi derinliği 2 m'nin üzerindedir (Sondergaard ve diğ. 2000).

Ötrofikasyondan etkilenmiş göllerin balık komünitesinde, etkilenmemiş göllere göre önemli değişimler görülür. Predatör balıkların (*Perca fluviatilis*, *Esox lucius*, vb.) sayısı azalırken zooplanktonla beslenen balıklar baskın hale gelirler. Özellikle *Rutilus rutilus* ve *Abramis brama* gibi balıklar baskın hale gelirler. Genellikle besince zengin göllerde balık biyomasının ortalama % 80'i ya da daha fazlası bu balıklar tarafından oluşturulur. Bunun bir sonucu olarak, etkin fitoplankton süzücü olan büyük boyutlu Cladocer'lerin sayısı (*Daphnia* sp. gibi) azalır (Sondergaard ve diğ. 2000).

İyileştirilme çalışmalarında temel amaç suyun ışık geçirgenliğini arttırmaktır. Bu da ya göl sedimentinden gelen fosfor yükünün sınırlandırılması ya da fitoplankton üzerindeki zooplankton baskısının artırılması yoluyla (zooplankton uyarılması da dahil) yapılabilir (Sondergaard ve diğ. 2000).

Balık stokları üzerinde yapılan biyomanuplasyon, Danimarka'da 20'den fazla gölde uygulanmıştır ve bu metot çok sık olarak kullanılmaktadır. Bu biyomanuplasyonlar, ya zooplankton üzerinden beslenen balıkların (özellikle *Rutilus rutilus* ve *Abramis brama*) uzaklaştırılması, ya da predatör balıkların (genellikle *Esox lucius* ya da daha nadir *Perca fluviatilis*) stoklanması şeklinde yapılmaktadır. Balık biyomanuplasyonunun amacı, zooplankton üzerindeki predasyon baskısının azaltılmasıdır. Böylece büyük zooplanktonun gelişimi artırılarak fitoplankton yoğunluğu sınırlandırılacaktır (Sondergaard ve diğ. 2000).

Zooplankton üzerinden beslenen balıkların seçilerek gölden alınması genellikle pound ağlar ya da trol kullanılarak yapılır. Bunların yanı sıra balık tuzakları, galsama ağları ve elektrikle balık avcılığı da kullanılmaktadır. Predatör balıkların stoklanmasında temel amaç, zooplankton tüketen balıkların her yıl ortaya çıkan yavrularının tüketilmelerini sağlamaktır. Bunun için bahar aylarında littoral zon boyunca *Esox lucius* yavruları göle bırakılır (Sondergaard ve diğ. 2000).

Sucul makrofitlerin yoğunluğunu ve dağılımını arttırmak amacıyla 5 göle sucul makrofit dikimi yapılmıştır. Suyun ışık geçirgenliğinin artırılmasına rağmen, sucul makrofitlerin gelişimi yavaş olabilir. Muhtemelen bunun nedeni, makrofitlerin tohum kapasitelerinin düşük oranda olması ve bitkilerin yayılım gösterebileceği yerlere olan mesafelerin uzak olmasıdır. Bunun yanında, su kuşlarının beslenme aktivitelerinin sucul makrofit gelişimini olumsuz yönde etkileyebileceği de düşünülmektedir. Engelsholm Gölü'nde yapılan kapsamlı bir deneyde gölün 900 m<sup>2</sup>'lik bir alanına sucul makrofitler dikilmiştir. Burada genellikle, doğal etkilere ve ötrofikasyona dayanıklı türlerden olan *Potamogeton*

*pectinatus* ve *Potamogeton crispus* kullanılmıştır (Sondergaard ve diğ. 2000).

Büyük ölçüde sediment uzaklaştırılması sadece sığ özellikteki Brabrand Gölü'nde (göl alanı 150 km<sup>2</sup>, ortalama derinliği 0,8 m) yapılmıştır. Burada amaç, nütriyentlerce zengin üst sediment katmanının uzaklaştırılarak, buradan fosfor salınımını azaltmaktır. Bunun yanı sıra bir diğer amaç ta, yıllık sediment artışını (yaklaşık 1 cm) engellemektir. Bu gölde 7 yılı aşkın bir periyot boyunca toplam ortalama 500.000 m<sup>3</sup> sediment uzaklaştırılmıştır (Sondergaard ve diğ. 2000).

Hipolimnetik oksidasyon sadece iki gölde yapılmıştır. Şimdiye kadar yapılan en kapsamlı uygulama Hald Gölü'nde (göl alanı 340 km<sup>2</sup>, ortalama derinliği 13m ve maksimum derinlik 31m) yapılmıştır. 12 yıl boyunca yazları gölde tabakalaşma olduğundan hipolimniyon kesimine saf oksijen pompalanmıştır (1mm çapa sahip her biri yaklaşık 50.000 delikli 8 dağıtıcı tarafından). Buradaki amaç; sedimentteki fosforun demirle oksidasyonunu sağlayarak bağlamak ve profundal zonda yaşayan hayvanların (özellikle *Chironomus anthracinus*) hayatta kalma oranlarını arttırmaktır. Hipolimniyona verilen yıllık ortalama oksijen miktarı yaklaşık 210 tondu (Sondergaard ve diğ. 2000).

Kalsiyum nitratın hipolimniyona ilavesi, sadece Lygn Gölü'nde (ortalama derinlik 2,4m ve maksimum derinlik 7,6m) iki yaz periyodu boyunca 5m derinliğe, 8-10g NO<sub>3</sub>- N/m<sup>2</sup> dozajda uygulanmıştır. Bu uygulama haziran sonundan Ağustos sonuna kadar haftada bir kez ortalama dozda sürmüştür. Burada amaç, oksijensiz şartlarda nitratın ortamda oksidasyon etkisi sağlamasıdır (Tablo 1) (Sondergaard ve diğ. 2000).

Sığ göllerde başarılı ve kalıcı bir iyileştirme için en önemli şart, göldeki nütriyent yükünün önceden tespit edilmesidir. Denge şartları altında toplam fosfor yükünün 0,05-0,1 mg/l seviyelerine düşürülmesi gereklidir (Sondergaard ve diğ. 2000).

Bu çalışmaların sonunda zooplankton tüketen balıkların en az %80'i uzaklaştırılabilmiş ve trofik seviyelerde önemli iyileşmeler görülmüştür. Uzaklaştırılmak istenen balık uzun vadeli olarak yavaş yavaş kaldırılmalıdır ki, gelişim ve üremesine devam edebilmesi sağlanmalıdır.

Bu nedenle 270 km<sup>2</sup>'lik alana sahip bir gölde bu uygulama 5 yıllık bir periyotta yapılmıştır. Buna benzer bir biyomanuplasyon, Feldberger Haussee Gölü'nde uygulanmış ve etkileri 10 yıl sonra görülebilmştir (Mehner ve diğ. 2001). Bentik omurgasızların kaybı *Perca fluviatilis* üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir. Çünkü *Perca fluviatilis*'in gelişimi makro omurgasızların yoğunluğu ile pozitif ilişki içindedir. Bu nedenle yüksek yoğunluktaki *Abramis brama*, makro omurgasızlarla beslenmede yavru *Perca fluviatilis* bireyleriyle rekabete girecek ve onların predatör safhaya geçmesi engellenecektir. Ayrıca, bazı kaynaklara göre sedimenti besin aramak için karıştıran *Rutilus rutilus* ve *Abramis brama* gölde bulanıklığa neden olur ya da besin tuzu salınımını artırır. Göl iyileştirme programlarında, *Esox lucius* yavrularının stoklanmasına daha az başvurulmuştur. Eğer stoklama yoluna gidilirse de stoklama yoğunluğu yıllık yaklaşık 1 birey/10m<sup>2</sup> olmasının

faydalı olabileceği tespit edilmiştir. Bu işleme gölde Tablo 3) (Sondergaard ve diğ. 2000). stabilizasyon sağlanana kadar devam edilmelidir (Tablo 2,

**Tablo 1.** Geçmiş 15 yıl esnasında 5 km<sup>2</sup> alandan daha büyük Danimarka göllerinde uygulanan iyileştirme yöntemleri.

Restorasyon Çalışması	Proje Sayısı	Göl Alanı, Ortalama Derinlik, (P) Miktarı	Restorasyonun Amacı
Balık uzaklaştırma	20-30	10-850 km <sup>2</sup> 1,1-4,3 m 0,08-0,7 mg/l	Zooplankton ve bentosla beslenen balıkların sayısını azaltarak büyük zooplanktonun şartlarını iyileştirmek. Suyun ışık geçirgenliğini artırarak, submers makrofitlerin, bentik alglerin ve bentik omurgasızların yoğunluğunu yükseltmek.
Yırtıcı balık stoklanması	20-30	10-850 km <sup>2</sup> 1,2-3,5 m 0,08-0,27 mg/l	
Submers makrofit ekimi	5	13-150 km <sup>2</sup> 0,8-2,6 m 0,1-0,5 mg/l	Suyu temizlemesi için submers makrofitlerin dağılımlarını ve yoğunluğunu arttırmak. Büyük zooplanktonun korunması için ortam sağlamak.
Sedimentin taranması	1	150 km <sup>2</sup> 0,8 m 0,9 mg/l	Fosforca zengin sedimentin uzaklaştırılmasıyla fosfor yükünü azaltmak.
Hipolimnetik havalandırma	2	8-340 km <sup>2</sup> 5-13,1 m 0,1-0,5 mg/l	Hipolimnionda ve sediment yüzeyindeki redox şartlarını geliştirerek fosfor yükünü azaltmak. Bunun yanı sıra ortamda canlı gelişimini desteklemek.
Hipolimnetik ortama nitrat ilavesi	1	10 km <sup>2</sup> 2,4 m 0,5 mg/l	

**Tablo 2.** Balık uzaklaştırılmasından sonra balık stoklarındaki değişimler.

Kısa Süreli Bir Periyotta Yoğun Olarak Balık Uzaklaştırılması	Uzun Vadede Düşük Yoğunlukta Balık Uzaklaştırılması	Orta Derecede Balık Uzaklaştırılması
Kalan balıkların gelişim oranı(özellikle <i>Perca fluviatilis</i> ) suyun berraklığını takiben artar. <i>Perca fluviatilis</i> predatör balıklarda baskın olur. <i>Esox lucius</i> 'un durumu belirsizdir. Balık uzaklaştırmasını takiben 1-2 yıl sonra predatör balık oranı önemli ölçüde artar.	<i>Abramis brama</i> 'nın biyomas oranında dereceli bir azalma. Bazen yırtıcı balık biyomasında artış olur. <b>Özellikle <i>Perca fluviatilis</i></b> in biyoması artar. Bununla birlikte genellikle yırtıcı balıkların yüzdesi % 20'nin altında kalır.	Zayıf ve etkisiz.

**Tablo 3.** Yoğun bir şekilde balık uzaklaştırıldıktan sonra farklı trofik seviyelerde görülen etkiler.

Parametreler	Gözlemlenen Etkiler
Zooplankton	Büyük türlerin yoğunluğu ve fitoplankton üzerindeki tüketilme baskısı arttı.
Fitoplankton	Yoğunluğu azaldı.
Bentik omurgasızlar	Yoğunluğu arttı. Yavru <i>Perca fluviatilis</i> için besin kaynağı arttı.
Submers makrofitler	Işık geçirgenliği ve tohum kapasitelerine bağlı olarak dağılımları ve yoğunlukları dereceli olarak artarken, herbivor su kuşu yoğunluğuna bağlı olarak azaldı.
Su kuşları	Yoğunlukları arttı(özellikle herbivor türlerden <i>Cygnus olor</i> (Sessiz kuğu) ve <i>Fulica atra</i> (Sakar meke).
Besin tuzu miktarı	Azaldı.
Secchi diski görünürlüğü	Arttı.

### 3. Finjasjön Gölünün Tarihsel Süreci Ve Restorasyonu:

Finjasjön Gölü İsveç'in güneyinde siğ ve ötrofik bir göldür. Ortalama derinliği 3 m, maksimum derinliği 12 m dir. Yaklaşık 11 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahiptir. Su yenileme zamanı 3 aydır. 5 adet besleyici ve bir adet dışarıya akan ırmağa sahiptir. 260 km<sup>2</sup>'lik havza alanı çoğunlukla kozalaklı ve geçici yapraklı ormanla çevrilidir. Bunun yanı sıra bu havzanın % 10-15'lik kısmı tarımsal kullanıma açıktır (Annadotter ve diğ. 1999). 1920'li yıllarda göl temizdi. Yazın suyun secchi diski görünürlüğü 2 m civarındaydı. 20. yüzyılın ilk yarısı döneminde kasabadan gelen artılmamış atıklar gölü kirletmeye başladı. 1940'lı yıllarda bir cyanobakteri olan *Gloeatrichia echinulata* yaz aylarında baskın olarak görülmeye başlandı. Bu patlama zaman zaman ağır bir şekilde

gerçekleşti ve insanların yüzme amaçlı suya girişi yasaklandı (Annadotter ve diğ. 1999).

İlk olarak 1949'da kentsel atıkları arıtma tesisi kuruldu. Bu tesis mekanik işlemlerle arıtım yapıyordu. Buna rağmen alg patlamaları durmadı. Arıtmanın yetersizliği açıldı ve göl hala kasaba atıklarını biriktiriyordu. Cyanobakterler azalacağı yerde daha yaygın olarak görülmeye başladı. *Microcystis* sp. ve *Anabeana* sp. gibi potansiyel toksik olan türlerin biyomasında önemli artışlar kaydedildi. Bu türlerin bir etkisi olarak gölde yüzen kişilerin derilerinde kızarıklıklar ve alerjik belirtiler görüldü. 1963 yılında atık su arıtma tesisine aktive edilmiş çamur ünitesi eklendi. Ancak kasaba nüfusundaki artıştan dolayı fosfor yükünde yükselme devam etti (Annadotter ve diğ. 1999).

1970'lerin başında kasaba belediyesi göldeki su kalitesini arttırmak amacıyla arıtma tesisi çıkışını, göle giren ırmak yerine, gölden çıkan ırmağa vermek istedi. Ancak buna devlet yönetimi izin vermedi. Çünkü bu durum, kasaba sınırlarının genişlemesini engelleyecekti. Bunun yanında belediye yönetiminin bu önerisini geri çeviren bir diğer düşünce de, göl suyunun, atık suyunu seyrelteceği ve göl içinde bu atıkların ayrışma uğrayacağıdır (Annadotter ve diğ. 1999).

1977'de arıtma tesisine, kimyasal işleme atık çökmesi ve üç aşamalı filtrasyon sistemi eklendi. Bu gelişmeye rağmen göl kronik cyanobakteri patlamalarından kurtulamadı ve beklenen aksine fosfor yükü azaldı, klorofil-a miktarı da arttı. 1970'lerin sonuna doğru gölün ışık geçirgenliği daha da azaldı. Bazı kuş türleri (*Bucephala clangula* ve *Aythya ferina*) kayboldu (Annadotter ve diğ. 1999).

1980'li yıllarda göl hipertrofik aşamaya geçti ve belediye umutsuzluğa düştü. Çünkü göl yaklaşık 25.000 kişinin içme suyunu sağlıyordu. Gölde çok yönlü limnolojik araştırma ve restorasyon çalışması yapılması gerekliliğine karar verildi. 1980'lerin ortalarında kasaba belediyesi restorasyon çalışmalarını başlattı. Anaerobik sedimentten fosfor salınımı, göldeki besin yükünün azaltılmasında ve gölün kurtulmasında en büyük engel olarak görüldü. Bu nedenden dolayı ilk uygulama olarak sedimentin taranması önerildi. Sedimentten fosfor salınımını azaltmak için diğer bir metot ise, Ripl ve Leonardsson tarafından önerilmiştir. Bu araştırmacılar sedimentin denitrifikasyon kapasitesini arttırmışlardır. Kalsiyum nitratın sedimente ilavesiyle 12 m derinlikteki denitrifikasyon işlem hızının, 7 m derinlikte gerçekleşene göre 2 kat daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Nitrat ilavesi yapılmayan sedimentlerde yüksek oranda fosfor salınımı görülür ve özellikle de 12 m derinlikteki sedimentlerde bu salınım daha fazladır. Bu sonuçlar temelinde bu araştırmacılar, belediyenin nitrite olan atıklarını gölün 8 m den daha derin bölgelerine bırakmasının gerekliliğini ifade etmişlerdir. Bunun yanında sediment içine nitrat enjeksiyonu (Riplox uygulaması) tamamlayıcı bir ek önlem olarak ifade ediliyordu (Annadotter ve diğ. 1999).

Belediye, sedimentin taranması ve sedimente nitrat ilavesi metotları arasında bir seçim yaparak sedimentin taranmasına karar verdi. Sedimentte yapılan araştırmalar, 0,5 m'lik üst kısmın % 30 dan daha fazla fosfor konsantrasyonuna sahip olduğunu ve fosfor/demir oranının sedimentin diğer kısmından biraz daha fazla olduğunu gösterdi. Belediye bu üst kısmın uzaklaştırılmasını önerdi (sedimentin taranmasından sonra 2 m kalınlığındaki siyah katmanın hala fosforca zengin kalmasına rağmen) (Annadotter ve diğ. 1999).

Sedimentin taranması ve emilmesi işlemi 1987'de büyük ölçüde başlatıldı. Burada amaç, 6,6 km<sup>2</sup>'lik sedimentin taranmasıydı. Bu işlem toplam 10 milyon sterline mal oldu. Ayrıca su içindeki sedimentin ayrılması amacıyla gölün yakınına 10 adet sedimentasyon barajı kuruldu. Üç yıl sonunda bu restorasyon projesi sert bir şekilde eleştirildi. Eleştirilerin odak noktası, taranmış sedimentle, taranmamış olanın kimyasal yapısı arasında pek bir farklılığın olmaması

ve göl havzasının besin tuzu yükünün göz ardı edilmesiydi (Annadotter ve diğ. 1999).

Sedimentin taranması ve emilmesi işleminin başarılı olup olmadığını belirlemek amacıyla 1990-1991 yılları arasında sediment araştırmaları yapıldı. Tarama yapılan sedimentlerdeki fosfor miktarı, taranmamış olanlara göre % 30 daha düşüktü. Ancak bu farklılığın tatmin edici seviyede olmadığı düşünülürdü. Bu sonuçlar, sediment taranmasının gölün suyunu iyileştirmede pek bir etkisinin olmadığını ortaya koydu. 1991 yılına kadar sedimentin taranması için 5 milyon sterlin harlandı. Göl dibinden 134 ton fosfor uzaklaştırılmasına rağmen bu, cyanobakteriyel patlamaların boyutunu azaltamadı (Annadotter ve diğ. 1999).

1987 ve 1993 yılları arasında cyanobakterilerden kaynaklanan toksitenin yıldan yıla daha güçlü bir şekilde değiştiği görüldü. Toksik türlerin varlığından dolayı bu gölde yüzmek hala yasaktır (içme suyu olarak hala kullanılmasına rağmen). Bunun yanında göl suyundan içen büyükbaş hayvanların karaciğerlerinde hasarlar rapor edilmiştir. Cyanobakteriler fotik zonda toksiktir ve bu zonun altından alınan örneklerde toksik değildiler. Toksik cyanobakterilerin insan sağlığına zarar verebilme kaygısının yanında, bunların yüksek yoğunluğu su arıtma tesis filtrelerinin tıkanmasına yol açmaktadır (Annadotter ve diğ. 1999).

Bu arada alternatif bir strateji önerildi. Gölün restorasyonunda biyomanipulasyon kullanılıp kullanılmayacağını anlamak için standart avcılık testleri yapıldı ve balık komünitesinde cyprinid balıkların baskın olduğu (% 72 cyprinid, % 28 yirticiler) görüldü (Annadotter ve diğ. 1999).

Bu çerçevede yeni bir strateji oluşturuldu. Bu fikre göre internal fosfor yükünü azaltmak mümkün olabilecekti. Zaten gölün hala ana problemi internal fosfor yüküydü. Bu temele dayanan 2 strateji ortaya çıktı,

1) Cyprinidlerin azaltılmasıyla besin zincirine müdahale etmek ve fitoplankton miktarında düşüş oluşturma.

2) Hem havzadan, hem de atık su arıtma çalışmalarından kaynaklanan external besin yükünün ilave olarak azaltılması.

Internal fosfor yükünün gerçek nedeni (düşük redox şartları, yüksek pH, sediment yüzeyinde alg birikimi,...vb.) hakkında araştırmacılar arasında farklı görüşler vardı. Bütün bu şartların fitoplankton biyomasının yoğunluğundan kaynaklanmasından dolayı yeni restorasyon stratejisinin esas odaklandığı konu, bahar ve yaz mevsiminin başlangıcında fitoplankton biyomasının düşürülmesi olmuştur. 1992 yılında sedimentin taranması ve emilmesi işlemine son verildi (Annadotter ve diğ. 1999).

1992'den 1994'e kadar trol ağlarıyla cyprinidler azaltıldı. Trol avcılığı için 2 adet bot özel olarak dizayn edildi. Botların güvertesinde balık tasnifleme masası vardı. Botlar pelajik zonda, 7x30 m boyutlarında trol ağlarıyla avlandı. Bir yıl sonra bunların kapasitelerinin yetersiz olduğu görüldü. Bu nedenle, 1993'ün Ağustos ayında daha küçük iki bota trol ağı kurularak littoral zonda balık avcılığı yapıldı. Littoral zonda aynı zamanda daha büyük olan pelajik troller de kullanıldı. Burada yakalanan tüm predatör balıklar tasnifleme masasında diğer

balıklardan ayrılarak tekrar göle bırakıldı (Annadotter ve diğ. 1999).

External besin yükünü azaltmak için 5 m'lik tampon zonlarda tarımsal faaliyetler (gübreleme,...vb) yasaklandı. Gölde external fosfor yükü 5 tondu ve bunun 1 tonu atık su tesisinden geliyordu. Besleyici ırmaklardan gelen fosfor yükünün, büyük ölçüde partikül fosfor olduğu görüldü. Atık su arıtma tesisinden gelen fosfor PO<sub>4</sub> şeklindeydi ve fitoplankton tarafından kolay olarak alınabilen bir formdu. Atık su arıtma tesisinden gelen akıntılar önemliydi ve akış besleyici ırmakların aksine devamlı göle boşalıyordu. Bu tesisden gelen PO<sub>4</sub>-P konsantrasyonu 0,15 mg/l civarındaydı. Buda toplam fosfor yükünün % 40'ı kadardı (Annadotter ve diğ. 1999).

Su arıtma tesisinden gelen akıntılardaki fosfor ve azotu azaltmak için 30 hektarlık sulak alan kuruldu. Alınan önlemlerin başarısı su kalitesi, plankton ve balıkların izlenmesiyle değerlendirildi. Fizikokimyasal ve fitoplankton analizleri için haftalık olarak gölün en derin kısmından örnekler alındı. Plankton, 1992 ve 1993 yıllarında ayda bir kez, 1994 ve 1995 yıllarında ise haftalık olarak örneklendi. Enstitü tarafından farklı bir avcılık metodu geliştirildi. 1994 Ağustos'una kadar 400 ton cyprinid'in yakalanmasıyla toplam stok, başlangıçtaki stoğun % 20 sine kadar düştü (Annadotter ve diğ. 1999).

1994 yazında zooplankton komünitelerinde gözlenen olumlu durum, balıklarda (özellikle cyprinid) azaltma yoluna gidilmesinin, doğru bir seçim olduğunun bir kanıtı oldu. *Daphnia cucullata* ve *Daphnia galeata* haziran ayında yüksek sayılara ulaştı. Bu durum, büyük cladocerler üzerindeki predasyon baskısının azalmasının bir sonucu olarak teyit edildi. Mevsim esnasında zooplankton komünitelerindeki değişim beraberinde diğer değişimleri getirdi. Kronik ve toksik *Microcystis* sp. patlamalarının yerini çeşitli fitoplankton komüniteleri (Diyatomeler, cryptomonadlar, cyanobakteriler, chrysofitler ve dinoflagellatlar) aldı. Fitoplankton komünitelerindeki bu değişimlere ilaveten toplam fitoplankton biyoması ve klorofil-a değerleri normalden çok düşük bulundu ve yazın ortalama secchi diski görünürlüğü önceki yılların 2 katı kadar oldu (Annadotter ve diğ. 1999).

Şubat 1995'te oluşturulan sulak alanlar işlev görmeye başladı. 1995 yılının kalan kısmında ortalama fosfor önceki yılların % 25'ine, toplam azot ise önceki yılların % 35'ine kadar düştü. Azottaki azalma düşünüldüğü gibi en yüksek yazın gerçekleşti ve Mayıs-Ekim ayı döneminde %31-%57 arasında düşüş görüldü (Annadotter ve diğ. 1999).

1994 yılına göre, 1995 yılında fitoplankton biyoması ve klorofil-a seviyelerinde, önemli ölçüde düşüşler kaydedildi. Bunun yanında fitoplankton tür kompozisyonu 1994 yılındakine göre daha az ötrofik türler içeriyordu. Yazın ortalama secchi diski derinliği 1994'te 0,9 m iken, 1995'te 1,5 m'ye çıktı (Annadotter ve diğ. 1999).

Bununla birlikte 1994 ve 1995 yıllarında internal yük önemli ölçüde azaldı. Göldeki fosfor ve demir değerleri ile içeriye giren sudaki değerlerler aynıydı. Bu pratikte, internal fosfor yükü artışının durduğunu gösteriyordu. Aslında aynı zamanda bu durum gösteriyor ki; bazı göllerde sedimentte

tarama yada sedimentte kimyasal madde ilavesi yapmaksızın internal fosfor yükünü azaltmak mümkündür (Annadotter ve diğ. 1999).

1992 yılında besin zincirine müdahale başladığında göl alanının sadece % 1'i submers su bitkileriyle örtülüydü. 1995'te göl alanının % 20'sinde *Myriophyllum spicatum*, *Elodea canadensis* ve *Patamogeton* spp. gibi submers su bitkileri dikilerek kolonize edildi (Annadotter ve diğ. 1999).

Suyun şeffaflığının artması ve submers bitkilerin tekrar kolonize olmasının bir sonucu olarak, gölde görülmeyen kuşlar 1994 yılı ve daha sonrasında tekrar gölde görülmeye başladı. Finjasjön Gölü'nde bundan sonra yapılacak çalışmalar internal fosfor yükünün, su kalitesinin ve plankton komünitelerindeki çeşitliliğin stabil kalıp kalamayacağı yönüne odaklanacaktır (Annadotter ve diğ. 1999).

### Sonuç

Bir gölün yok olması bilimsel temellere dayandırılarak açıklanabilmesine rağmen her bir iyileştirme projesi ortamın kendine özgü şartlarına göre özel bir ön çalışma gerektirir. Yapılan bu ön çalışmalar ışığında, iyileştirilecek göle özel bir restorasyon stratejisi oluşturulmalıdır. Göl iyileştirme programının uygulama aşamasında değişimler çok iyi bir şekilde tespit edilmeli ve yorumlanmalıdır. Beklenmeyen durumlarla karşılaşıldığında gerekirse uygulamaya müdahale edilmeli ve diğer alternatif yollar gözden geçirilmelidir. Elbetteki böyle bir sürecin yönetimi ve denetimi, bilgi birikimli ve deneyimli takım çalışmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Bu durumda, ilgili alanlarda çalışma yapan üniversitelere büyük iş düşmektedir.

Ancak göz ardı edilmemelidir ki, bu tip uygulamalar gerekli görüldüğü takdirde hayata geçirilmelidir. Aksi halde ekosistemin iyileştirilmesinde, başarı yerine daha olumsuz durumlarla karşılaşılabilir. Bilhassa bu tür çalışmalar, aşırı şekilde bozulmuş göl ekosistemlerine uygulanmalıdır. Göl ekosisteminin hastalık derecesiyle, bunu iyileştirecek uygulama dozajları doğru orantılı olmalı ve gereksiz yere daha fazla dozaj kullanımından kesinlikle kaçınılmalıdır.

İyileştirme çalışmaları bilimsel yönünün yanı sıra sosyal şartlarıyla da zorluklara sebebiyet verebilmektedir (Carpenter ve Lathrop 1999). Şu an ki iyileştirme deneyimleri bu programların uygulanmasının sadece işbirlikçi takım çalışmalarıyla mümkün olabileceğini göstermiştir. Bu özellikle farklı bölgelerde yaşayan toplulukların katılımıyla ilişkilidir ve genellikle proje maliyetlerinin bir kısmında bu toplulukların da payı olmalıdır (Mathes ve diğ. 2003).

Çoğu iyileştirme projesi 5-10 yıllık sürede uygulanmasına rağmen uzun vadeli etkiler ve stabilite henüz tam anlamıyla açıklanamamıştır (Sondergaard ve diğ. 2000). İyileştirme çalışmalarında başarı ve başarısızlıkların nedenlerini bildiren deneyimler oldukça yetersizdir. Ancak başarıya giden yolda sabrın önemli büyüktür. Unutmamak gereklidir ki, bir yüzyılda kaybedilen değerlerin birkaç yılda kazanılması pek mümkün değildir (Moss 2007).

**Kaynakça**

- Annadotter, H., G. Cronberg, R. Aagren, B. Lundstedt. 1999. Multiple techniques for lake restoration. *Hydrobiologia*, 395/396: 77-85.
- Baylan, E. 2006. The research on conservation and improving of natural and cultural environment in Lake Terkos (İstanbul) model, (in Turkish). *Tarım Bilimleri Dergisi*, 12(2): 151-161.
- Beklioğlu, M., O. Ince, I. Tuzun. 2003. Restoration of the eutrophic lake Eymir, Turkey, by biomanipulation after a major external nutrient control I. *Hydrobiologia*, 489: 93-105.
- Bürji, H., P. Stadelmann. 2002. Change of phytoplankton composition and biodiversity in Lake Sempach before and during restoration. *Hydrobiologia*, 469: 33-48.
- Carpenter, S., R. C. Lathrop. 1999. Lake restoration: capabilities and needs. *Hydrobiologia*, 395/396: 19-28.
- Jacquet, S., J.-F. Briand, C. Lebuolanger, C. Avois-Jacquet, L. Oberhaus, B. Tassin, B. Vinçon-Liète, G. Paolini, J.-C. Druart, O. Anneville, J.-F. Humbert. 2005. The proliferation of the toxic cyanobacterium *Planktothrix rubescens* following restoration of the largest natural French lake (Lac du Bourget). *Harmful Algae*, 4: 651-672.
- Kocataş, A. 1992. *Ekoloji ve Çevre Biyolojisi*. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi No: 142, 564s.
- Lytras, E. 2007. Developing models for lake management. *Desalination*, 213: 129-134.
- Mathes, J., I. Korczynski, J. Müller. 2003. Shallow lakes in north-east Germany: trophic situation and restoration programmes. *Hydrobiologia*, 506-509: 797-802.
- Mehner, T., P. Kasprzak, K. Wysujack, U. Laude, R. Koschel. 2001. Restoration of a stratified lake (Feldberger Haussee, Germany) by a combination of nutrient load reduction and long-term biomanipulation. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 86-2: 253-265.
- Moss, B., J. Stansfield, K. Irvine. 1991. Development of daphnid communities in diatom-and cyanophyte-dominated lakes and their relevance to lake restoration by biomanipulation. *The Journal of Applied Ecology*, 28(2): 586-602.
- Moss, B. 2007. The art and science of lake restoration. *Hydrobiologia*, 581: 15-24.
- Padisak, J., C.S. Reynolds. 1998. Selection of phytoplankton associations in Lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with special reference to the cyanoprokaryotes. *Hydrobiologia*, 384: 41-53.
- Perrow, M., J.H. Schutten, J.R. Howes, T. Holzer, F.J. Madgwick, A.J.D. Jowitt. 1997. Interactions between coot (*Fulica atra*) and submerged macrophytes: the role of birds in the restoration process. *Hydrobiologia*, 342/343: 241-255.
- Perrow, M.R., A.J.D. Jodwitt, S.A.C. Leigh, A.M. Hinds, J.D. Rhodes. 1999. The stability of fish communities in shallow lakes undergoing restoration: expectations and experiences from the Norfolk Broads (U.K.). *Hydrobiologia*, 408/409: 85-100.
- Phillips, G., A. Bramwell, J. Pitt, J. Stansfield, M. Perrow. 1999. Practical application of 25 years' research into the management of shallow lakes. *Hydrobiologia*, 395/396: 61-76.
- Sondergaard, M., E. Jeppesen, J.P. Jensen, T. Lauridsen. 2000. Lake restoration in Denmark. *Lakes&Reservoirs: Research and Management*, 5: 151-159.
- Tanyolaç, J., 2000. *Limnoloji: Tatlı Su Bilimi* (in Turkish). Hatiboğlu Yayınevi, 230s.
- Van der Molen, D.T., P.C.M. Boers. 1999. Eutrophication control in the Netherlands, *Hydrobiologia*, 395/396: 403-409.