



## Ekolojik Restorasyon ve Göl Restorasyon Metotları

Bülent ŞEN<sup>1</sup> Mehmet A. T. KOÇER<sup>2</sup> M. Tahir ALP<sup>1</sup>

1. F. Ü. Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Anabilim Dalı, Elazığ
2. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Elazığ

### Özet

Ekolojik restorasyonun amacı, doğal bir ekosistemi bozulmadan önceki koşullarına dönüştürmektir. Ekosistem restorasyonu çoğu zaman, ekolojik bozulma olmadan önceki fiziksel koşulların yeniden yapılandırılmasını, toprak ve suyun kimyasal özelliklerinin ayarlanmasını, doğal flora ve faunanın ortama yeniden kazandırılmasını kapsayan biyolojik uygulamaları gerektiren bir yönetim aracıdır.

Göllerin restorasyonu ve koşullarının iyileştirilmesi için çok sayıda metot geliştirilmiştir. Göl restorasyon metotları genellikle dış yüklenmenin kontrolü ve göl içi uygulamalardan oluşur. Fosfor çökeltme, havalandırma, sediment arıtma ve uzaklaştırma, makrofit kontrolü ve biyomanipülasyon günümüzde kullanılan en yaygın göl ve sulak alan restorasyon uygulamalarıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Ekolojik restorasyon, Göl restorasyonu, Göl restorasyon metotları

### Giriş

Göl ekosistemleri, su toplama havzaları ve kıyı alanlarındaki çok çeşitli aktivitelerden kaynaklanan baskılara maruz kalmaktadır. Bu baskılar çoğunlukla gölün su kalitesinde önemli değişikliklere neden olmaktadır.

- Aşırı nutrient ve organik madde yüklenmesi sonucu ötrofikasyon,
- Hidrolojik ve fiziksel değişimler sonucu su seviyesi düşmesi,
- Erozyondan kaynaklanan sedimentasyon,
- Toksik ve potansiyel olarak toksik metaller ve organik bileşiklerle kontaminasyon,
- Ekzotik türlerin girişi sonucu habitat bozulması ve tür çeşitliliğinin değişmesi,
- Atmosferik kaynaklardan veya maden deşarjı sonucu ortaya çıkan asidifikasyon günümüzde yaygın olarak karşılaşılan ve göllerin kalitesinin bozulmasına neden olan başlıca etkenler ve sonuçlarıdır (NRC, 1992):

Su kalitesi karakteristikleri değiştiğinde, ekosistem bozulan karakteristiklerini kendi içerisinde onarabilme özelliğine sahiptir. Bununla birlikte, sucül ekosistemlerin doğal olarak kendini onarması uzun zaman almaktadır. Bu nedenle, kısa sürede gölü kullanabilmek için restorasyon uygulamaları yürütülmelidir.

Göl yönetiminde restorasyon nispeten yeni bir uygulamadır. Restorasyon terimi önceleri rekrasyon, balıkçılık ve su temini gibi amaçlar için göl koşullarını iyileştirmeye yardımcı bir uygulama olarak kullanılıyordu. Bu uygulamalar gölün bazı ekolojik özelliklerinin iyileşmesini sağlamakla birlikte, çoğu göl restorasyon projesinin kesin amacı, bir gölün insan aktivitelerinden etkilenmeden önceki koşullarına döndürülmesi olmayabilir. Su ve toprak kullanımının göl üzerindeki etkilerini hafifletmek veya göl koşullarını iyileştirmek amacıyla yürütülen böyle uygulamalar için günümüzde **mitigasyon** ve **rehabilitasyon** terimleri kullanılmaktadır.

Restorasyon çalışmalarında başarılı olabilmek için, problemin kaynağını kontrol altına almak zorunludur. Ötrofikasyon için bu durum, su toplama havzası kaynaklarından, özellikle başta fosfor olmak üzere, nutrient girişini azaltmak anlamına gelmektedir. Dış kaynaklardan nutrient girişini engellemek veya azaltmak çoğu zaman göllerin eski koşullarına dönmesi için yeterli olabilmektedir. Bununla birlikte, dış kaynaklı nutrient yüklenmesini azaltarak biyotadaki değişiklikleri, habitat kaybını, taban sedimentinde ve göl hidrolojisindeki değişiklikleri kabul edilebilir bir süre içerisinde onarmak genellikle mümkün değildir.

Göllerini restore etmek ve koşullarını iyileştirmek için çok sayıda metot geliştirilmiştir. Bu metotlar, etkinlik, sürdürülebilirlik, maliyet, ters etki ve uygulanabilirlik hususlarında farklılık göstermektedir. (Tablo 1). Bu çalışmada ağırlıklı olarak göl içi restorasyon uygulamalarına yer verilmiştir.

### Ekolojik Restorasyon Terminolojisi

Restorasyon terimi, çoğu zaman benzer içerikli olan ve birbirine karıştırılan terimlerle bir arada kullanılır. Bu terimlerin anlamı değişebilmekle birlikte, yaygın olarak hangi anlamda kullanıldığını belirlemek ve terimleri doğru olarak tanımlamak yararlı olacaktır.

**Restorasyon** terimi sözlükte “bir şeyi önceki durumuna/konumuna veya bozulmamış/mükemmel bir duruma onarma işlemi”, restore etmek “bir şeyi asıl durumuna veya sağlıklı/kuvvetli duruma getirmek” olarak tanımlanır. Ekolojide restorasyon kavramı genellikle “bozulmuş sucul işlevlerin ve ilişkili fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin onarılması” anlamına gelir (Lewis, 1989; Bradshaw, 1996). En genel ifadeyle ise restorasyon “sistemi bozulmadan önceki koşullarına döndürmek amacıyla önlemler almak” olarak tanımlanabilir (Björk, 1985).

**Rehabilitasyon**, “bir şeyi önceki bir koşula veya duruma onarma işlemi” olarak tanımlanır. Rehabilitasyon, restorasyona benzer görünmekle birlikte, anlamda ince bir farklılık vardır. Rehabilitate edilen bir şeyin, restore edilmiş gibi ilk durumunda veya sağlıklı bir durumda olması beklenmez.

**Remediasyon** “iyileştirme işlemi”dir. İyileştirme “düzeltme, iyi yapma” anlamını verir. Burada, ulaşılan son noktadan ziyade işlem vurgulanmaktadır.

**Reklamasyon**, “toprağı ekime hazır/kullanışlı duruma getirmek” olarak tanımlanır. Reklamasyonda amaç, kaynağı önceki durumuna getirmek olmayıp kullanılabilir duruma getirmektir.

**Mitigasyon**, çoğu zaman restorasyonla birlikte kullanılan bir terim olup, “bir şeyin kötülüğünü hafifletmek veya ılımlılaştırmak” olarak tanımlanmaktadır.

Restorasyonun amacı, bir ekosistemi daha önceki doğal koşullarına döndürmek iken, reklamasyon ve rehabilitasyon terimleri bir alanın özel bir amaca hizmet edecek yeni veya değiştirilmiş bir duruma getirmektir. Mitigasyon ise, restorasyonun bir sonucu olabilmekle beraber, etkiyi hafifletme restorasyondan farklıdır (Bradshaw, 1996; Race ve Fonseca, 1996).

## Göl ve Sulak Alan Restorasyon Metotları

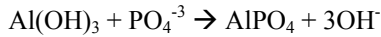
Göl restorasyon metotları temel olarak, su toplama havzasından nutrient ve sediment yüklenmesinin kontrol altına alındığı göl dışı uygulamalar ve ekosistemin kendini onardığı/iyileştirdiği göl içi uygulamalardan oluşur (NRC, 1992). Göl içi restorasyon uygulamaları ise sedimentten nutrient salınımını azaltma/sudan nutrient giderme ve makrofit azaltma/giderme olmak üzere iki ana gruba ayrılır (Pettersson, 1993).

Göldeki bitki biyomasının artmasına neden olan dış kaynaklardan aşırı nutrient girişi dış yüklenmeyi teşkil ederken, sedimentten göl suyuna nutrient salınımı ise iç yüklenmeyi oluşturur. İç yüklenme dış yük girişine eklendiğinde, birincil üretimde hızla artış şeklinde ani ve dramatik değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, bütün göl sisteminin hızla bozulmasına yol açtığından ileri derecede zarar görmüş göllerdeki iç yüklenmenin giderilmesi için kullanılacak restorasyon metotları, dış yüklenme normale yaklaşıma kadar azaltıldıktan sonra uygulanmalıdır (Björk, 1994a). Göl restorasyon çalışmalarında fosfor çökeltme, havalandırma, sediment arıtma, sediment uzaklaştırma, makrofit kontrolü ve biyomanipülasyon en yaygın işlemlerdir.

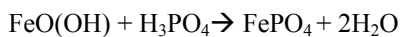
### 1. Fosfor Çökeltme

Su kolonundan fosfor çökeltmeyle, bir yıldan fazla su dinlenme süresine sahip göllerde iyileşme elde edilmektedir. Bu amaç doğrultusunda yaygın olarak alüminyum (alüminyum sülfat) ve demir (demir-III-klorür) bileşikleri kullanılmaktadır. Bu maddeler fosforu bağlayarak jelatinimsi bir yığın şeklinde sedimente çökelen nispeten kararlı bileşikler oluşturmalarının yanı sıra, sediment yüzeyinde ek bir fosfor bağlama kapasitesi de yaratırlar. Bu nedenle, her göl içi çökeltme aynı zamanda bir sediment arıtma olarak da görülebilir.

Alüminyuma en iyi bağlanan fosfor formu ortofosfat fosfordur. Alüminyum sülfat, fosfatı doğrudan veya alüminyum hidroksite adsorbsiyonla bağlar:

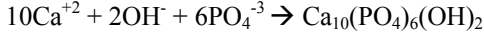


Alüminyuma benzer şekilde fosfat, demir-III-fosfat mineralleri şeklinde bağlanır veya demir oksit-hidroksite adsorbe olur:



Fosfor formları arasında demirle en iyi inorganik fosfat bağlanır. Demire kıyasla alüminyum sülfat kullanımı daha ekonomiktir. Her iki bileşiğin de göldeki organizmalar üzerine toksik etkileri, metodun önemli bir olumsuz etkisidir.

Alüminyum ve demirin yanı sıra bazı araştırmacılar fosforu çökeltmek için kireç kullanımını da önermektedir. Bu durumda suya, aşırı doymuş kalsiyum oksit ve hidroksit solüsyonları uygulanır. Kalsiyum, hidroksit ve fosfatla birleşerek apatiti oluşturur:



Su kolonundan fosfor çöktirme metotlarının en uygun olduğu alanlar küçük sığ göllerdir. Göl-İçi fosfor arıtma uygulamasında etkili ve uzun süreli sonuçlar elde etmek için, arıtmanın su toplama havzasından nutrient girişi azaltıldıktan sonra yapılması gereklidir. Dış yük girişi devam ederse, arıtmanın olumlu etkileri çok kısa bir sürede bozulabilmektedir (Wolter, 1994).

## 2. Havalandırma

Bir göl ekosisteminde artan organik madde üretimi ve girişinin neden olduğu oksijen azalması, ekosisteme oksijen kazandırmak suretiyle dengelenebilir. Diffüz havalandırma/destratifikasyon ve hipolimnetik teknikler, havalandırma uygulamalarında kullanılan en yaygın metotlardır. Seçilecek metot ve göle eklenecek oksijen miktarı, gölün oksijen yetersizliğine maruz kalma şiddetine ve süresine bağlıdır. En basit şekliyle, ekosisteme eklenecek oksijen miktarı artan prodüksiyonun neden olduğu oksijen ihtiyacını karşılamaya yeterli olmalıdır. Bir başka deyişle, organik madde üretimi ve oksidasyonu dengelemelidir.

Sığ göller normal ilkbahar ve sonbahar sirkülasyon periyotlarına ek olarak, rüzgârın neden olduğu geçici sirkülasyonlara maruz kalırlar. Bu sirkülasyonlar düzensizdir ve sirkülasyonlar arasındaki dönemde ısı tabakalaşması oluşabilir. Isı tabakalaşmasının oluşmasıyla su ve sediment arayüzünde, nutrientlerin serbest kalmasına neden olan oksijen eksikliği ve hatta anaerobik koşullar gelişebilir. İzleyen sirkülasyon periyodu süresince, bu nutrientler fotik zona taşınır ve primer üretime katkıda bulunur. Su sediment arayüzünde tabakalaşmayı önlemek ve suya yeterli oksijen sağlamak için diffüz havalandırma/destratifikasyon tekniği uygulanır.

Derin göllerde sonbahar ve ilkbahar sirkülasyon periyotlarının devam etme süresi, şiddeti ve buna bağlı olarak suya oksijen girişi değişebilmektedir. Sirkülasyonun sürmesi ve tamamlanması için diffüz havalandırma/destratifikasyon metodu bir veya birkaç hafta uygulanabilir. Sirkülasyon periyodu süresince kazanılan oksijen sedimentte tüketildiğinde, hipolimnetik havalandırma önerilir (Verner, 1994).

## 3. Sediment Arıtma

Restorasyon önlemlerinin amacı göl koşullarının hızla iyileştirilmesi ise, iyileştirmedeki gecikme sediment arıtımıyla hızlandırılabilir. Kısa sürede elde edilen iyileşme, dış kaynaklı nutrient veya organik madde girişi sonucu göldeki oksijen konsantrasyonunun azalmasına ve metabolizmanın sınırlandırılmasına bağlı olarak bozulacaktır. Bu nedenle, göl içi önlemler su toplama havzasından yük girişini durdurma önlemleriyle artırılması gerekir.

Su toplama havzasından nutrient veya organik madde girişiyle göldeki üretimin artması, sedimentin yüzey tabakasında ayrışabilir organik madde birikimine yol açar. Bunu substratum zenginleşmesi, sediment yüzeyinde anoksik koşullar gelişmesi sonucu bakteriyel aktivitelerin artışı izler. Oksidasyon potansiyeli azalır ve mineralizasyon için oksijen yerine diğer elektron akseptörler (denitrifikasyon, desülfirikasyon, metan üretimi) kullanılır.

Sediment arıtmada genellikle ilk hedef, üst sediment tabakasına oksijen sağlayarak mineralizasyonu artırmaktır. Sedimente oksijen temini su hareketini de beraberinde getirdiğinden, sediment yüzeyindeki reaksiyonları artırır. Sediment arıtmada potasyum permanganat ve peroksitler gibi çok güçlü oksitleyici maddeler kullanılabilirken beraber, çözünmüş oksijenin kaybı sonucu bu maddelerin çok düşük bir oksidasyon etkinliğine sahip olduğu ve kısmen de olsa sediment yüzeyini sterilize ettiği kanıtlanmıştır. Havalandırma önlemleri, arıtılacak sediment alanı küçük ve demir-mangan çözünme problemi olmayan derin içme suyu rezervuarlarında iyi bir etkinlik göstermiştir (Ripl, 1994).

**Tablo 1.** Yaygın göl restorasyon metotlarının karşılaştırılması (Jorgensen ve Vollenweider, 1988 ile Olem ve Flock, 1990'dan düzenlenmiştir).

İşlem	Amacı	Etkinlik	Uzun ömürlülük	Güvenilirlik	Uygulanabilirlik	Olumsuz etkileri	Maliyet
Alum arıtma	Fosfor çöktürme	M	İ	İ	M	O-İ	İ
Gölün taranması	Sediment giderme	K	M	M	K	O-İ	K
Göl giriş alanlarının taranması	Sediment ve nutrient giderme	M	M	M	M	İ	O
Seyreltme	Nutrient giderme	O	O	O	K	O	K
Yapay sirkülasyon	Nutrient giderme	O	O	K	O	O	K
Hipolimnetik havalandırma	Nutrient giderme	O	O	O	O	O	K
Sediment oksidasyonu	Nutrient giderme	İ	İ	K	O	İ	O
Hipolimnetik suyun çekilmesi	Nutrient giderme	İ	İ	İ	İ	O-K	İ
Su seviyesini düşürme	Makrofit kontrolü	O	O	O	K	O-K	O
Mekanik makrofit kontrolü	Makrofit kontrolü	İ	K	İ	İ	O	O
Biyolojik makrofit kontrolü	Makrofit kontrolü	İ	İ	O	İ	O-K	İ
Herbiseid ekleme	Makrofit kontrolü	İ	K	İ	O	K	İ
Algisid ekleme	Alg kontrolü	İ	K	M	O	K	İ
Biyomanipülasyon	Alg, makrofit ve nutrient giderme	İ	B	K	O	B	M

**M:** mükemmel; **İ:** iyi; **O:** orta; **K:** kötü; **B:** bilinmiyor

Ötrofik göllerin çoğunda sedimentin önemli bir kısmı uzun zaman sonucunda birikmiş olup, ötrofikasyon süresince biriken kısım çok küçük bir tabakadır. Bir başka ifadeyle, ötrofikasyon öncesi sedimentasyon, ötrofikasyon süresince oluşan sedimente oranla on kat veya daha fazladır. Bu durumda, bir taraftan fosfor bağlama ve diğer taraftan ayrışabilir organik madde oksidasyonunun uygulandığı kombine bir arıtma çözüm olabilir.

Göl restorasyon çalışmalarıyla uygulanan sedimenti kararlı duruma getirme önlemleri; a) morfolitik koşullara, sistemin su taşıma kapasitesi ve modeline göre değiştiğini, b) toplam göl alanına dayanarak standart alanlar veya standart kimyasal madde deşarjları verilemeyeceğini, c) arıtma uygulamasının her göl için ayrı olarak hazırlanması gerektiğini ortaya koymuştur. Arıtma alanları her gölde belirli zamanlarda sediment örnekleme istasyonlarında yapılan araştırmalarla belirlenmelidir.

İlk uygulamalarda kimyasal maddeler, sediment yüzeyinde sürüklenen tırmık benzeri bir araçla sedimente enjekte edilmekteydi. Bu arıtımın mükemmel sonuçlar verdiği görülmüşse de, uygulamanın maliyeti oldukça yüksektir. Son zamanlarda kimyasal maddelerin göle giren akarsularla dağıtıldığı veya restorasyon tesisinden fosforu giderilmiş ve nitratlaştırılmış akıntılarla karıştırıldığı bazı denemeler de gerçekleştirilmiştir. Doğru uygulandığında bu tür arıtmaların daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Ripl, 1994).

#### 4. Sediment Uzaklaştırma

İleri derecede bozulmuş göl havzalarında biriken nutrientçe zengin sedimentlerin uzaklaştırılması, böyle gölleri restore etmek için en radikal ve kesin metot olarak kabul edilir. Bu metot, yalnızca şiddetli sediment birikimine maruz kalan sığ su kütlelerinde uygulanmaktadır. Açık bölge özelliğini korumaya yeterli derinliğe sahip göllerde, öncelikle üst sediment tabakasından su kolonuna fosfor girişini durdurarak iç yüklenmenin ve metabolizmanın normalleştirildiği diğer metotlar kullanılmalıdır. Bu metotlar, sediment uzaklaştırmaya kıyasla daha hızlı, ucuz ve teknik olarak daha az karmaşıktır. Bununla birlikte, hızlı yaşlanma işlemlerinin olduğu sığ göllerde, sürdürülebilirliği sağlamak ve sistemi dengelemek için sedimentin uzaklaştırılması gerekir.

Köklü makrofit gelişiminin olmadığı üst sediment tabakasının uzaklaştırılması için emme dreçleme uygulanmalıdır. Dreçleme süresince hortum burnu, taraklar ve pompalamanın oluşturduğu hareket sonucu sedimentin karıştırılmasıyla ortaya çıkacak bulanıklık sonucu, nutrientçe zengin arayüz suyunun gölün serbest su fazına tekrar karışması metodun olumsuz bir yönüdür.

Sığ ötrofik göllerde tipik olarak yüzey altı (submers) bitkiler bulunmazken, yüzücü yapraklı ve su yüzeyine çıkabilen (emers) litoral bitkiler yaygındır. Sedimentte canlı köklerin varlığı çoğu zaman emmeyi olanaksızlaştırdığından, büyük problemlere neden olmaktadır. Kökleri ile tabana tutunmuş bitkilerin (Ör: *Nuphar*, *Nymphaea*, *Potamogeton* vb) yaygın olduğu kirletilmiş göl sedimentleri, taranmadan önce yaprak sapları ve kökleri göl tabanının hemen üzerinden kesilmeli ve uzaklaştırılmalıdır. Rizomlar ve köklerden kurtularak taramayı mümkün kılmak için, taramaya başlamadan en az bir yıl önce göl tabanında ön arıtma yapılmalıdır.

Uygulanan projelerden kazandıkları deneyimlere dayanarak limnolojistler, emme dreçleme uygulamalarında aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamaktadırlar (Björk, 1994b):

- Bulanıklık yaratılmamalıdır.
- Pompalama için yeterli olandan fazla su, sedimentle çekilmemelidir. Nutrientçe zengin üst sediment hiç su ekmeden çekilebilir.
- Homojen sediment çekildiğinde, sediment ve su oranı sabit olmalıdır.

#### 5. Makrofit Kontrolü

Rekreasyon, ornitoloji, sivrisinek-salyangoz kontrolü ve navigasyon, göl ekosistemlerinde makrofit gelişimi kontrolünün başlıca nedenleridir. Flora ve faunada yüksek bir çeşitlilik sağlayacak çevresel koşullar yaratmak tüm amaçlar için yeterlidir. Bazı kuş türleri yuva yapmak için geniş saz yataklarına ve bazı türler geniş açık su alanına ihtiyaç duymakla birlikte, makrofit toplulukları-açık su mozaiği çoğunlukla çeşitlilik için en uygundur. Genç su kuşlarının besin gereksinimlerinin yanı sıra göç, yuva yapma ve tüy dökme dönemlerinde çevresel gereksinimlere dikkat etmek gereklidir (Reimer, 1984; Björk, 1994c).

Arzu edilmeyen vejetasyonun azaltılması için mekanik, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç farklı kontrol metodu kullanılmakla birlikte, sürekli ve tam kontrol yalnızca mekanik yöntemlerle sağlanabilmektedir.

Mekanik kontrol için kullanılan teknik ekipman basit tırpan ve kesme aracı taşıyan küçük botlardan, pahalı hasat araçlarına kadar geniş bir spektrumu kapsar. Yüze çıkabilen çok yıllık bitkileri kesmek için en uygun zaman, en yüksek nutrient konsantrasyonuna sahip oldukları sürgün dönemidir. Bir sulak alandan yüze

çıkabilen bitkilerin uzaklaştırılması, ekosistemin toplam nutrient kapasitesinde belirli bir azalmaya yol açmakla birlikte, bu azalma toplam nutrient bütçesi bakımından önemli değildir. Bununla beraber *Ceratophyllum*, *Myriophyllum* gibi yüzey altı bitkileri, ayrışmaya başlamadan önce sulak alandan uzaklaştırılmalıdır (Björk, 1994c).

Kimyasal kontrol, makrofitleri öldürmek, tohumların çimlenmesini önlemek ve nadiren de olsa gelişimlerini değiştirmek için herbisid denilen kimyasal bileşiklerin kullanıldığı uygulamalardır. Bu amaç doğrultusunda, kullanılan en yaygın herbisidler Bakır Sülfat, 2,4-D, Endothall, Diquat, Dichlobenil, Glyphosate ve Fluridone'dur.

Biyolojik kontrol, "bir canlı popülasyonunu kontrol altında tutmak için bir diğer canlı organizmanın kullanılması" olarak tanımlanabilir. Kontrol eden organizmaya kontrol etmeni veya kontrol ajanı denilir. Son 40 yıla kadar makrofitlerin kontrol altına alındığı başarılı bir biyolojik kontrol çalışması bulunmamakla birlikte, 1960'larda bu konu üzerine çok sayıda araştırma yapılmış ve sucul ekosistemlerde biyolojik kontrolün asıl kullanıldığı alanlar olan karasal sistemlerden daha başarılı sonuçlar alınmıştır.

Kontrol etmeni olarak farklı organizma gruplarının kullanılması mümkündür. Yaygın olarak kullanılan organizmalar aşağıda verilmiştir (Reimer, 1984):

- Eklembacaklılar (*Agasicles*, *Disonycha*, *Aminothrips* ve *Vogtia* cinslerine ait bazı türler)
- Salyangozlar (*Pomacea australis* ve *Marisa cornuarietis*)
- Balıklar: Kontrol etmeni olarak kullanılan en yaygın türler ot sazanı (*Ctenopharyngodon idella*), adi sazan (*Cyrinus carpio*) ve *Tilapia* türleridir (*T. zilli*, *T. aurea*, *T. mossambica*, *T. nilotica*)
- Kaz ve ördek
- Memeli hayvanlar
- Bitkiler
- Bitki patojenleri

## 6. Biyomanipülasyon (Besin Zinciri Yönetimi)

Göl ekosistemlerinde balık stoku ve plankton arasında en az fiziksel ve kimyasal faktörlerin etkisi kadar önemli ilişkiler bulunmaktadır. Ötrofikasyonun sonuçlarını ve su kalitesi problemlerini indirgemede biyolojik faktörlerden yararlanılan önlemler için biyomanipülasyon terimi ilk kez Shapiro ve ark. (1975) tarafından kullanılmıştır. Bugün çoğu limnolojist biyomanipülasyonu "alg gelişimini kontrol altına almak için, büyük herbivor zooplankton gelişimine olanak sağlayan balık komünite yapısının yönetilmesi" olarak tanımlamaktadırlar (Shapiro, 1990). Biyomanipülasyon kısaca, balık stoklarının yönetilmesini ifade eder. Göl yönetimi bakımından biyomanipülasyon, bazı su kalitesi parametrelerini iyileştirmek için etkili ve doğayla dost bir yöntemdir (Matena ve ark. 1994).

Balık stokunu gölden uzaklaştırarak büyük zooplanktonun gelişimini hızlandırmak, alg biyomasının azalmasını sağlar. Ancak, çoğu zaman gölden balıkları uzaklaştırmak pratik değildir ve arzu edilmez. Bu nedenle, göldeki mevcut balık popülasyonu büyük piscivor türlerle baskınlaştırılarak, daha küçük planktivor balıkların biyoması azaltılır. Böylece herbivor zooplankton biyoması artırılarak alg biyoması azaltılabilir. Sonuçta göl suyu kalitesinde de iyileşme elde edilebilir (Shapiro ve Wright, 1984).

Biyomanipülasyondan önce ve sonra fitoplankton biyomasının karşılaştırılması, bir başarı kriteri olarak kullanılabilir. Gelişme mevsimi boyunca öfotik tabakada çözünmüş reaktif fosfor konsantrasyonunun artışı etkili biyomanipülasyonun bir göstergesidir.

Biyomanipülasyonun düşük fosfor girişi düzeylerinde daha etkili olduğu bilinmektedir. Yüksek dış ve iç fosfor yüklenmesi durumunda arzu edilen ilerlemeler başarılamayabilir. Yaklaşık 0.6 g P/m<sup>2</sup>-yıl yüküne ulaşmak, "biyomanipülasyon etkinlik eşiği" olarak kabul edilir. Bu nedenle biyomanipülasyon, fosfor yüklenmesi azaltıldıktan sonra gölün iyileşmesini hızlandıran etkili bir araç olarak önerilir.

Biyomanipülasyon (balık stoklarını yönetmek) için olası birkaç yaklaşım vardır (Matena ve ark. 1994):

- Arzu edilmeyen planktivor türlerin seçici avcılığı,
- Piscivor balık stokunun artırılması,
- Planktivor balıkların yumurtlama döneminde su seviyesi manipülasyonu.

Planktivor balık biyomasının azaltılması, zooplanktonun tür kompozisyonunda değişikliğe neden olur. Genellikle *Daphnia pulicaria* gibi büyük türler daha küçük türlerin (*D. galeata*, *D. cucullata*) yerini alır. Büyük *Daphnia* türleri daha küçük türlere kıyasla genellikle daha etkili alg filtratörleridir.

Herbivor zooplanktonun fitoplankton üzerinde artan beslenme baskısı, özellikle kolonial mavi-yeşil algler gibi tüketilemeyen büyük türleri baskımlaştırabilir. Fitoplanktonun mevsimsel gelişimindeki ve tür kompozisyonundaki değişiklikler biyomanipülasyonun beklenmeyen sonuçları olabilir. Sığ göllerde biyomanipülasyon aşırı makrofit gelişimine neden olabilir. Işık geçirgenliğinin artışı ve yüksek fosfor düzeyleri sonucu, tüketilemeyen fitoplankton ve makrofit gelişiminin nasıl önleneceği biyomanipülasyonun karşısındaki en temel sorundur. Bu bakış açısından biyomanipülasyon, “yeterli ışık ve yüksek fosfor düzeylerinde düşük fitoplankton biyoması elde edilen yapay bir durum” olarak değerlendirilebilir (Matena ve ark. 1994).

#### Kaynaklar

- Björk, S., 1985, Scandinavian lake restoration activities, EWCPA International Congress Lakes Pollution and Recovery, Proceedings preprint, April 1985, Rome, 293-301.
- Björk, S., 1994a, Internal nutrient control, In: M. Eiseltova (ed.), Restoration of Lake Ecosystems a holistic approach, IWRB Publications 32, Gloucester, 62-63.
- Björk, S., 1994b, Sediment removal, In: M. Eiseltova (ed.), Restoration of Lake Ecosystems a holistic approach, IWRB Publications 32, Gloucester, 82-88.
- Björk, S., 1994c, Macrophyte control, In: M. Eiseltova (ed.), Restoration of Lake Ecosystems a holistic approach, IWRB Publications 32, Gloucester, 89-96.
- Bradshaw, A.D., 1996, Underlying principles of restoration, Can.J.Fish.Aqua.Sci.,53(1), 3-9.
- Jorgensen, S.E. ve Vollenweider, R.A., 1988, Remedial techniques, In: S.E. Jorgensen and R.A. Vollenweider (eds.), Guidelines of Lake Management Volume 1: Principles of Lake Management, ILEC/UNEP, 99-115.
- Lewis, R. R. III 1989. Wetland restoration/creation/enhancement terminology: Suggestions for standardization. Wetland Creation and Restoration: The Status of the Science, Vol. II. EPA 600/3/89/038B. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 102p.
- Matena, J., Vojtech, V., and Simek, K., 1994, Food web management, In: M. Eiseltova (ed.), Restoration of Lake Ecosystems a holistic approach, IWRB Publications 32, Gloucester, 97-102.
- NRC, 1992, Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology and Public Policy, National Academy Press, Washington D.C., 535p.
- Olem, H. and Flock, G., 1990, Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual, 2nd edition, EPA 440/4-90-006, 326p.
- Petterson, K., 1993, Lake Restoration From Dredging to Biomanipulation, In: J. Salanski and P. Biro (eds.), Limnological Bases of Lake Management, Proceedings of ILEC/UNEP International Training Course (11-23 October 1993), Hungary, 172-175.
- Race, M. S. and M. S. Fonseca, 1996, Fixing compensatory mitigation: What will it take? Ecological Applications, 6(1):94-101
- Reimer, D.N., 1984, Introduction to Freshwater Vegetation, Krieger Publishing Company, Florida, 205p.
- Ripl, W., 1994, Sediement treatment, In: M. Eiseltova (ed.), Restoration of Lake Ecosystems a holistic approach, IWRB Publications 32, Gloucester, 76-81.
- Shapiro, J., 1990, Biomanipulation: The nexy phase-Making it stable, Hyrobiologia, 200/201: 13-27.
- Shapiro, J., Lamarra, V., and Lynch, M., 1975, Biomanipulation: An ecosystem approach to lake restoration, In: Proceedings of a Symposium on Water Quality Management Through Biological Control, P. L. Brezonik and J.L. Fox (eds), University of Florida, Gainesville, 85-96.
- Shapiro, J., and Wright, D.I., 1984, Lake restoration by biomanipulation: Round Lake, Minnesota, the first two years, Freshwater Biology, 14: 371-383.
- Verner, B., 1994, Aerasyon, In: M. Eiseltova (ed.), Restoration of Lake Ecosystems a holistic approach, IWRB Publications 32, Gloucester, 69-75.
- Wolter, K.D, 1994, Phosphorus precipitation, In: M. Eiseltova (ed.), Restoration of Lake Ecosystems a holistic approach, IWRB Publications 32, Gloucester, 63-68.