

Göllerde Ötrofikasyon Problemleri ve Çözüm Yolları



Sibel Yiğit
Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi
Biyoloji Bölümü
Ankara
yigit@science.ankara.edu.tr



Ötrofikasyon nedir?

"Ötrofikasyon; özellikle göl ve nehir gibi su kaynaklarında, fosfor ve azot gibi besin maddelerinin artmasına bağlı olarak organik maddelerce zenginleşmesidir"

Ötrofikasyonun oluşumu yağmur suları, kayaların aşınması, göl tabanının toprak yapısı, orman yangınları, bitki polenleri ve erozyon gibi doğal nedenlerle oluşuyorsa buna "doğal ötrofikasyon" denir. Ötrofikasyon, endüstriyel ve insan faaliyetleri nedeniyle de oluşabilir. Kanalizasyon atıkları, endüstriyel - evsel atık sular, tarımsal arazilerden süzülen drenaj suları ve gübreleme ile göle giren fosfor ve azot, yapay ötrofikasyona neden olabilmektedir ki bu da "kültürel ötrofikasyon" olarak tanımlanır. Özellikle evsel atıklarda bulunan sentetik deterjanların içerdiği bol miktardaki fosfor, bu tür ortamlardaki ötrofikasyonu hızlandıran başlıca faktördür. Aslında ötrofikasyon olayı, bir gölün yaşam süresi boyunca doğal olarak gerçekleşen ancak çok yavaş ilerleyen bir süreçtir. Kültürel ötrofikasyon ise çok yavaş ilerleyen bu süreci önemli ölçüde hızlandırabilmektedir.

Günümüzde göllerin karşılaştığı en önemli ötrofikasyon tipi ve ortaya çıkan problemler kültürel ötrofikasyondan kaynaklanmaktadır.

(Şekil 1. Ötrofik bir gölden görünüm - üstte)

(Şekil 2. Aşırı makrofit artışı gösteren bir göl - yanda)

Ötrofikasyonun Göllerde Neden Olduğu Başlıca Problemler

Ötrofikasyon, başlangıçta alg ve bitki artışını meydana getirdiğinden, balıkların gelişmesi ve beslenmesi için iyi bir ortam yaratır. Ancak zamanla ekolojik denge bozulmakta, bir çok alg türü ve buna bağlı besin zincirindeki türler ortadan kalkmakta, göl kirlenmeye yönelmekte ve balık verimliliği giderek azalmaktadır. Göldeki su bitkileri aşırı bir artış gösterdiğinden, balık ağları ile balıkların yakalanması önemli derecede güçleşir (Şekil 2). Ayrıca, yoğun makrofitler, balıkların yaşam alanlarını daraltarak onların gelişmesini engellemektedir. Yaz ve sonbahar aylarında bu bitkilerin çürümesi, gölde ölen diğer organizmaların dibeye çökmesiyle, gölün dip kısmında organik bir tabaka oluşur. Ötrofikasyonun bu aşamasında önce oksijeni solunum yapan organizmaların aşırı faaliyeti ile organik materyalin ayrışması başlar, zamanla gölün dip kısmında oksijenin azalması ile oksijensiz ortam oluşumu gelişir. Organik materyalde zengin dip çamuru içinde anaerobik organizmaların faaliyeti sonucu gölden metan gazı, hidrojen sülfür (H_2S), amonyak (N_3H) ve tiololler ($R-SH$) gibi bileşikler açığa çıkar ve de gölde sülfürlü bileşiklerden ve amonyaktan kaynaklanan kötü bir koku oluşur. Bu aşamadan sonra oksijen miktarının iyice düşmesi gölde yaşayan omurgasız ve omurgalı hayvanların kitlesel ölümlerine yol açar.

Genel olarak ötrofikasyonun göllerde neden olduğu problemler iki başlık altında incelenir.

A) Ekosistem üzerindeki etkileri;

1. Gölde tür kompozisyonu ve dominant olan biota değişir, tür çeşitliliği azalır.

2. Aşırı alg ve bitki artışı meydana gelir; bu algler durgun su yüzeyinde "alg patlaması" denilen uzun yeşilimsi kümeler oluştururlar. Ayrıca aşırı oranda çoğalan iplikli algler balıkların solungaçlarına dolanarak ölümlerine neden olurlar.

3. Bulanıklık artar.

4. Sedimentasyon (sudaki partiküllerin çökmesi) oranı artar, göl sığlaşarak yaşama süresi kısalmış ve bataklığa dönüşür.

5. Anaerobik şartlar gelişir.

B) Gölün kullanımı ve gölden yararlanılması üzerindeki etkileri;

1. Su, içinde yaşayan organizmalar ve insan sağlığı için zararlı hale gelmeye başlar.

2. Gölde artmakta olan vejetasyon su akışını dolayısıyla göl suyunun kullanılmasını engeller.

3. Ticari değeri olan ve et kalitesi yüksek alabalık gibi soğuk su balıklarının zamanla yok olmasına neden olur.

4. Eğer gölden içme suyu temin edilecekse, elde edilen su, tat, koku ve kimyasal içerik bakımından uygun şartlara sahip olmaz.

5. Gölün rekreasyon amaçlı kullanımı engellenir.

Günümüzde göl ve rezervuarlardan rekreasyon amaçlı; bot sporculuğu, olta balıkçılığı, yüzme ve bunun gibi aktivitelerden faydalanma ihtiyacı giderek artmaktadır. Fakat ötrofikasyon nedeniyle yüksek oranda alg ve makrofit yoğunluğu suların bu tip amaçlı kullanımını engellemektedir. Yapılan araştırmalar ötrofikasyonun mevcut olduğu sularda yüzücülerin alg toksinlerinden kaynaklanan alerjik bir deri rahatsızlığına yakalanabildiklerini belirtir. Çok az miktarda dahi olsa bu suyun içilmesi durumunda da ishal, kusma şeklinde mide-bağırsak hastalıklarına, şiddetli kramp ve ağrıların neden olabileceği gözlemlenmiştir.

Ötrofikasyon nedeniyle göl su kalitesi ciddi bir biçimde bozulur. Örneğin, sudaki yüksek azot seviyeleri suda nitrit oluşumuna yol açar. Bu su içildiğinde sindirim sisteminde kanserojen madde oluşmasına neden olabilmektedir. Yüksek azot konsantrasyonlu bu suyu herhangi bir yolla alan çocuklarda öldürücü "mavi bebek" hastalığı riski söz konusudur. İngiltere'de ötrofikasyona uğramış bazı göllerde, dip çamurunda aşırı bakteri oluşumunun binlerce yabancı kuşun ölümüne neden olduğu belirlenmiştir. Bazı tropik bölgelerdeki ötrofik sularda bir mavi-yeşil alg (*Microcystis sp.*) gelişimiyle salgılanan toksinler ile suyu içen pek çok büyük baş hayvanın sürü halinde telef olmasına neden olmuştur. Gerçekten de bugün, Avustralya ve Afrika'da aşırı alg patlamalarının görüldüğü suların tüketilmesiyle oluşan çok miktardaki hayvan ölümleri çok ciddi bir problem teşkil etmektedir.

Ötrofikasyon Problemlerinin Çözülmesi

Ötrofikasyon problemlerini çözebilmek ve göl restorasyonunu sağlayabilmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu problemin çözümünde genelde iki yaklaşım vardır; ya problemi oluşturan etkenleri su kaynağına girmeden uzaklaştırmak, ya da oluşan kötü şartları iyileştirmektir. Bu çözüm yolları şunlardır:

Göle fosfor ve azot getiren su kaynaklarının denetimi

Göllerde ötrofikasyonun nedeni aşırı fosfor ve azot yüklemesi olduğu için yapılabilecek ilk çözüm, fosfor ve azotun havzalardan göllere ulaşmadan önce denetlenmesidir. Burada nokta kaynağı durumundaki evsel, endüstriyel, tarımsal ve kanalizasyon atıklarının göle verilmemesi ya da arıttıktan geçirildikten sonra verilmesi zorunlu olmalıdır. Bu noktada mevcut kanun ve yönetmeliklerin uygulanması ve denetlenmesi gerekmektedir. Ancak dışarıdan gelen fosfor ve azot girişi engellenebilse bile, göllerde sedimentten gelen bir iç fosfor yükü mevcuttur. Normal olarak fosforun sudan sedimente doğru bir akışı vardır. Ancak sedimentten açığa çıkması oksijen azalması sonucu gelişir ve bu alg artışının başlıca nedenidir. Sığ ve aşırı ötrofik olan göllerin sadece azot ve fosfor yükünün azaltılmasıyla, göl şartlarının iyileştirilemeyeceği düşünülmektedir.

Fosfor içermeyen deterjan kullanımının desteklenmesi

Avrupa topluluğu ülkelerinde 1950 ile 1980 yılları arasında göllerin yüzey sularında ölçülen fosforun % 50'sinin deterjan kullanımından kaynaklandığı saptanmıştır. 1980'li yıllarda Avrupa topluluğu ülkelerindeki deterjanlarda fosfor kullanımının yasaklanmasıyla yüzey sularına bu kaynakla ulaşan fosfor miktarı % 20'ye düşmüştür. Bu iki önemli faktör altında her su kaynağı için uygulanması gereken bir önlem olmakla birlikte, ötrofikasyon problemi olan göller için kesin çözüm yöntemi olamamaktadır. Bu tip göller için aşağıdaki çözüm yollarından birisinin veya birkaçının uygulanması gerekliliği kaçınılmazdır.

Alüminyum sülfat yöntemi

Bu metod, demir veya alüminyum tuzları gibi fosfor ile bağ yaparak onu çökelten kimyasal maddelerin göle direkt olarak verilmesi şeklinde, suda biriken fosfor miktarını azaltmak için uygulanır. Uygulanan bu kimyasal maddeler, fosforu inaktif hale getirerek sedimente çökmesini sağlar. Fakat kısa süreli bir iyileşme sağlayıp, uzun vadede kalıcı bir çözüm üretmez. Göle fosfor girişi devam ettikçe işlemin sürekli yinelenmesi gerekir. Ayrıca ilave edilen bu kimyasal maddelerin canlı yaşamı üzerindeki muhtemel toksik etkileri de bu yöntemin dezavantajıdır (Şekil 3).



Şekil 3. Göle alüminyum sülfat uygulanması

Hipolimnetik havalandırma

Bu metod, gölün dip (hipolimnion) bölgesine hava verilerek oksijen bakımından zenginleştirilmesi yöntemine dayanır. Hipolimnetik bölgeye verilen oksijen burada gölün diğer kısımlarıyla çok fazla karışmadan sirkülasyona neden olur. Gölün bu bölgesinde besin tuzlarının (azot ve fosfor) birikimini ve bu bölgedeki yoğun azot ve fosforun sedimente geçmesini engeller. Aynı zamanda aerobik organizmaların bu kısımda faaliyet göstermesi ile, anaerobik organizma faaliyetine engel olunabilir. Gölde oksijenli ortamın artırılması ile sedimentten suya fosfor salınımı azaltılır. Bu yöntemin göle fosfor girdisi devam ettiği sürece işlemin yinelenmesi gerekir. Uzun vadeli bir çözüm üretmediği gibi, maliyeti de yüksek bir yöntemdir.

Yapay sirkülasyon

Hipolimnetik havalandırma ile benzer bir yöntemdir. Temel hedef, suyun karıştırılmasını sağlayarak, suyun tabakalaşmasını önlemektir. Bu yöntemde, gölün üst tabakasında sirkülasyon oluşturulur. Burada amaç, üst tabakada birikmiş olan başta algal organizmalar olmak üzere organizmaların ve oksijence zengin olan yüzey suyunun, gölün alt tabakalarına doğru hareketinin sağlanmasıdır. Bu şekilde gölün üst tabakasında aşırı çoğalmış fotosentetik organizmaların yoğunluğu azaltılmaya çalışılır. Ayrıca oluşturulan sirkülasyonla alt tabakalarda birikme eğilimi gösteren besin tuzlarının daha etkili kullanımına olanak sağlar. Bu metod hipolimnetik havalandırmada olduğu gibi göle azot ve fosfor girişinin durdurulduğu durumlarda gölün kendini yenilemesini hızlandırmada etkilidir. Yoksa tek başına ötrofikasyonu engelleyici etkisi yoktur. Bu nedenle diğer bazı yöntemlerle kombine olarak uygulanması gerekmektedir.

Göl suyunun değiştirilmesi veya seviyesinin azaltılması

Göle besin tuzlarının girişinin engellenmesi ve yakında gölü doldurabilecek yeterli yeraltı suyunun bulunması durumunda, göl suyu, pompalama yardımıyla yakınlardaki arazilere deşarj edilmeye başlar. Azot ve fosfor bakımından zengin suyun verildiği arazilerde aynı zamanda gübreleme etkisi oluşacağından tarımsal faaliyetlerde verimliliğin artması da söz konusu olabilir. Bunun yerine, besin tuzları açısından fakir olan yer altı suyu yavaş yavaş göle verilir ve daha sonra oksijen ile zenginleştirilir. Bu metodla, göl suyundaki çoğu besin tuzunun uzaklaştırılması olanaklı iken sedimentteki fosforun uzaklaştırılmasında etkisi yoktur. Diğer bir alternatif olan su seviyesinin azaltılmasında ise, göl suyu tamamen boşaltılmadan sadece su seviyesi büyük oranda azaltılır. Bu arada azalan göl seviyesinden dolayı açıkta kalan makrofitlerin kuruması ve gölden alınması olanaklı hale gelir. Bu metodla özellikle makrofitlerin ve buna bağlı alg gruplarının kontrolü başarılabılır. Suyun çekilmesine bağlı olarak makrofitlerin tamamen kurumasını sağlamak için en az bir aylık süreye ihtiyaç vardır. Yalnız kısa süreli bir fayda sağlaması, azalan su seviyesi nedeniyle dipte yaşayan omurgasız hayvanlar ve balıkların bu durumdan zarar görmesi kaçınılmazdır. Göl suyunun tamamen boşaltılması ise, kullanışlı olmasına karşın aşırı maliyet ve işgücü gerektirir. Ayrıca gölü tekrar dolduracak temiz yer altı suyunun civarda bulunma zorunluluğu da vardır. Bunların yanında gölün suyunun boşaltılması da ekosistemde çok ciddi ve olumsuz etkilere sebep olabilir. Örneğin, hassas biotanın tahribine neden olabilir.

Bentik örtü oluşturulması

Bu yöntem, sediment- su arasındaki besin alışverişini önlemek ve makrofit gelişimini azaltmak için göl dibinin polietilen, sentetik kauçuk gibi genelde plastik bir örtü ile kaplanması esasına dayanır. Bu metod, azot ve fosfor ba-

kimından fakir olan mineral toprağın sediment üzerine uygulanma yöntemini de içermektedir. Bunun için kil, metal oksit gibi fosforu absorbe yeteneği yüksek olan maddeler kullanılabilir. Bu maddelerin suda yaşayan böcekler ve bentik organizmalar üzerinde olumsuz etkileri olabilmesi dışında, maliyeti oldukça yüksektir (Şekil 4).



Şekil 4. Bentik örtü oluşturulması

Sediment kazınması

Bilindiği gibi, ötrofikasyonun meydana getirdiği önemli problemlerden birisi de gölde sediment birikimi ve dolayısıyla gölün sığlaşmasıdır. Bu nedenle sediment uzaklaştırılması oldukça etkili bir yöntemdir. Göllerde sediment kaynaklı fosfor, göldeki toplam fosfor miktarının önemli bir kısmını teşkil etmektedir. Bu nedenle sediment taşınmasının, göl içi besin dolaşımını azaltılabileceği ve su kalitesinin geliştirilebileceği öngörülmüştür. Gölün derinleştirilmesi, sedimentteki diğer toksik maddelerin uzaklaştırılmasını amaçlar. Yöntemin bu faydalarının yanı sıra, maliyetinin oldukça yüksek olması, sediment kazınmasının canlı yaşamı üzerindeki olumsuz etkileri ve özellikle alınan sedimentin atık problemi bu yöntem için sorun olabilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Gölde sediment uzaklaştırılması

Kimyasal kontrol yöntemi

Bu metotta, göldeki istenmeyen su bitkilerinin ve alglerin yok edilmesi için suya özel bazı kimyasal maddelerin uygulanması söz konusudur. Ancak bu kimyasal maddelerin (örneğin, bakır sülfat) çok dikkatli uygulanması gerekir. Çünkü bazı durumlarda gölün kimyasallarına kirletilmesi mümkündür. Ayrıca, bu tip kimyasal maddeler düşük konsantrasyonlarda bile olsa, uzun bir süre kullanıldığında, bu maddelere dirençli alglerin gelişmesi mümkün olabilir. Bakır, zamanla sedimentte biriktiği için ileriye dönük olarak düşünüldüğünde zararlı etkisi, faydasından daha fazla olabilir. Kimyasal uygulama, ya suya sprey şeklinde ya da suya direkt karıştırılarak uygulanır (Şekil 6). Maliyeti oldukça uygundur.



Şekil 6. Gölde kimyasal ilaç uygulanması

Kesim yöntemi

Bu yöntem, aşırı gelişen zararlı makrofit ve yaşam şekli bakımından bunlara bağlı yaşayan alglerin kesilerek uzaklaştırılması esasına dayanır. Bu yöntem üç şekilde uygulanmaktadır:

a) El yardımıyla makrofit kesimi: Genellikle sığ göller ile derin göllerin kıyı bölgelerinde uygulanır. Bu işlemden tırmık benzeri aletler kullanılır. Makrofitlerin kökleriyle birlikte alınmaması nedeniyle kısa süreli etkisi olan bir yöntemdir. Bazen tırmıklama nedeniyle sedimentten suya besin tuzu salınımına neden olur ve dip canlıları zarar görebilir.

b) Makine yardımıyla makrofit kesimi: Büyük ve yüzelebilen makineler yardımıyla makrofitlerin kesilmesidir. Kullanılacak makinelerin; kesme, toplama, depolama ve göl dışına taşıma şeklinde tam bir donanıma sahip olması gerekmektedir. Özellikle derin ve büyük göller için uygulanan bir yöntemdir. Gölde makrofit uzaklaştırılması ile yaklaşık %60 oranında fosforun da azaltıldığı belirtilir. Bu yöntemdeki dezavantaj, kesim işlemiyle sediment tekrar süspansiyon olabileceği, kesilen gövdelerden organik madde salınımının gerçekleşebilmesidir. Ayrıca, bazı bitki türleri kesilen yerlerinden hızla büyüebilmekte ve kesimden sonra yine hızla uzamaktadır. Su bitkileri ile ilişkili olan

zooplanktonların, balık ve diğer omurgasız hayvanların, yaşam ve besin ortamlarının yok edilmesi durumu söz konusu olabilmektedir. Maliyeti yüksek olan bir yöntemdir (Şekil 7).



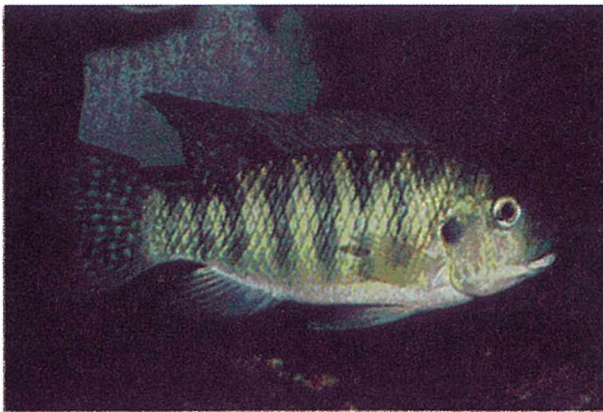
Şekil 7. Gölde makrofit kesim işlemi

c) Rotovasyon yöntemi: Rotavator adı verilen diğer bıçaklı makine benzeyen bir makineyle, makrofitleri dip çarpanından kokuyla birlikte çıkarılmasına sağlayan bir yöntemdir. Büyük ve geniş göller için uygundur. Bu yöntem sayesinde makrofitler büyük oranda azaltılarak, balıklar için faydalı olan ve göle ait doğal bitki türlerinin gelişimi sağlanabilir. Yalnız, göl içinde diğer makrofit bitki türleri de bulunabilir. Bu türlerin kullanımını sınırlanabilir. Bazen dipte yığılan omurgasızlar üzerinde olumsuz etkiye neden olabilir. Çıkartma yöntemi maliyet ve çalışma gerektirmesi nedeniyle, en çok tercih edilenler arasında değildir.

Biyolojik Kontrol Yöntemleri

Bu yöntemde alg ve bitki ile beslenen balıklardan yararlanılmaktadır.

Şiş balık ya da tuzlu su çipurası (Tilapia cinsi), Mississippi çipurası balığı (*Ameiurus carolinensis*) gibi balık türlerinin algın ve bitki kontrolünü yapabildiği gözlemlenmiştir. Çipura çipurası için model olarak alg ve bitki türleri su çipurası ile kontrol altına alınmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Tilapia ciliata (tuzlu su çipurası)

b) Bitki ile beslenen balıklar: Bunlardan en önemli ve etkiliisi ot sazandır (*Ctenopharyngodon idella*). Çin kökenli otçul bir balık olup, sonradan Avrupa ülkelerine getirilmiştir. Çin sazani da denilmektedir. Bu balığın, göl için zararlı bitkilerin biyo-kontrolünde etkin olduğu kanıtlanmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Ctenopharyngodon idella (ot sazani)

Kaynaklar

- Anonymous. 2002. Aquatic Plant Control Alternatives. Lake Teland Integrated Aquatic Plant Management Plan. Washington State Dept. Of Ecology. Water Quality Home. 1-11.
- Bofkin, D.B. and Keller, E.A. 1982. Environmental Studies. University of California, Santa Barbara. 485 pp
- Carter, D.R., Carter, S., and Allen, J.L. 1994. Submerged macrophyte control using plastic blankets. Water Science and Technology 29, 119-126.
- Cooke, G.D., Welch, E.B. and Peterson, S.A. 1986. Lake and reservoir restoration.
- Haag, E.H. and Haebler, D.H. 1991. Enhanced biological control of waterhyacinth following limited herbicide application. Journal of Aquatic Plant Management 29, 24-28
- Morison, J.D. 2000. Advantages and Disadvantages of Aquatic plant Management Techniques Engineer Research and Development Center, U.S.A. 27
- Murray, 1995. Eutrophication: Biology of Fresh Water Pollution, Depth. Of Biological and Chemical sciences. Univ. Of Essex, England. 356.
- Nyding, O.S. and Rost, W., 1989. The Control of Lakes and Reservoirs, 311.
- Sellers, B.H. and Markland, H.R. 1967. Dying Lakes. The origins and control of cultural Eutrophication, 264.
- Stearman, J.V. and Macagno, M.J. 1967. The Utilization of Grass carp, *Ctenopharyngodon idella* for hydrilla control in lake Bolowin, Florida. J. Fish Biol. 19, 629-637.