

# SU KİRLİLİĞİ

Suyun çevresel döngüsü (hidrolojik döngü) sırasında antropojenik kullanımdan kaynaklanan çok çeşitli yabancı madde ile karışması veya doğal olarak bulunabilen maddelerin çeşitli nedenler ile sularda zenginleşmesi, sularda önemli kirlenme sorunları meydana getirir. Ayrıca insanlar baraj, kapalı su iletim sistemleri, kanallar ve göletler gibi su yapıları oluşturarak hidrolojik döngüye yapay etkiler oluştururlar.

Yerleşim bölgelerinde ve endüstri bölgelerinde su kullanımı sonucunda önemli miktarlarda atık yük taşıyan kirli sular ortaya çıkar. Bu suların belirli düzeylerde arıtılmaması, diğer bir deyimle atık yük miktarları azaltılmadığı takdirde doğal sulara bırakılması durumunda, bu sistemlerin kendilerini yenileme kapasitesinin üzerinde atık maddeler ile bulaştırılması sonucu su kalitesi şiddetle bu değişimden etkilendiği gibi su yaşamı da zarar görür.

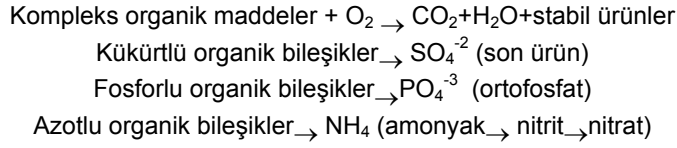
Suları kirlenme potansiyeli bakımından kirlenici kaynakları şöyle sıralayabiliriz:

- Endüstriyel organik atıklar,
- Endüstriyel inorganik atıklar,
- Endüstriyel atık ısı,
- Kanalizasyon atıkları,
- Tarımsal atıklar,
- Erozyon sonucu oluşan sedimentler,

- Asit maden suları,
- Petrol ve yağ kirlenmeleri.

Yüzey sularında doğal olarak bulunan veya kirlenici kaynaklardan sulara ulaşan çeşitli organik maddeler, ortamdaki mikroorganizmaların aktiviteleri sonucu anaerob veya aerob olarak belirli düzeyde ayrışır ve bu sırada suyun oksijen dengesini etkilerler.

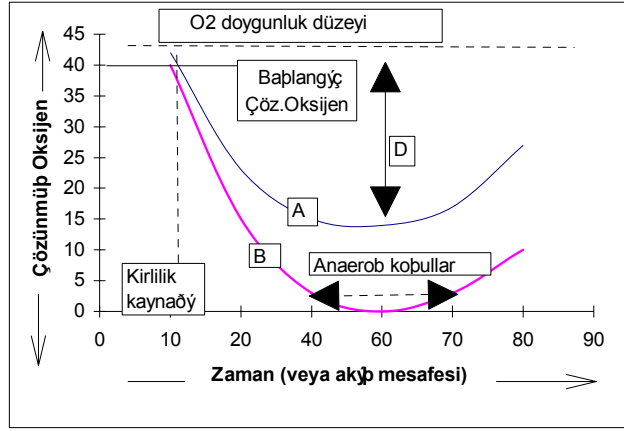
Aerob ayrışmanın basit eşitliği şu şekilde yazılabilir:



Ayrışmanın ikinci şekli olan anaerob ayrışmada, serbest oksijen bulunmadığından tamamen farklı mikroorganizma grupları biyolojik ayrışmayı gerçekleştirir.

İkincil reaksiyon sonucu meydana gelen bazı ayrışma ürünleri stabil değildir. Örneğin metan (CH<sub>4</sub>) bataklık gazı olarak tanınan yüksek enerjili bir bileşiktir. Fiziksel olarak stabil olmakla birlikte, biyolojik olarak kararsızdır ve dönüşüme uğrar. Kolay ayrışabilir nitelikli, yüksek enerjili bir organik bileşik ham atık su ile akarsulara ulaşırsa, deşarj ağızından itibaren bir seri değişiklikler meydana getirir. Özellikle sudaki çözünmüş oksijen (D.O = çözünmüş oksijen) düzeyinde azalma görülür. Bunun nedeni yukarıdaki reaksiyonlarda açıklandığı şekilde mikroorganizmaların organik bileşikleri parçalamaları ve bu sırada sudaki çözünmüş oksijeni tüketmeleridir.

Meydana gelen bu durum su ortamına yapılan yükleme düzeyi ve su sisteminin kendi kendini yenileme gücü ölçüsünde değişik nitelikler arzeder. Şayet kirlenme miktarı fazla ve kirlenici faktör birden fazla ise akarsuda önemli bir oksijen yetmezliği ve anaerob koşulların ortaya çıkması söz konusudur. Kirleniciyle yüklenmiş bir akarsuda zaman (mesafe) ile çözünmüş oksijen düzeyleri arasındaki ilişki gösterilmektedir (Şekil 5.1).



**Şekil 5.1.** Bir akarsuda kirlenme ve çözünür oksijen düzeyi arasındaki ilişkiler

Şekildeki A eğrisi anaerob koşulların oluşmadığı, B eğrisi de anaerob koşulların ortaya çıktığı çözünmüş oksijen düzeylerini göstermektedir.

Kirlenen bir su sisteminde organik artıkların ayrışması yolu ile tüketilen oksijen miktarı aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir:

$$\text{Oksijen kullanım oranı} = k_1 (L-y)$$

L = mg/l olarak organik madde ayrışması için gereken toplam oksijen miktarı

y = belirli bir t zamanında kullanılan O<sub>2</sub> miktarı (mg/l)

k<sub>1</sub> = oksijensizleşme (deoksijenasyon) katsayısı

Kirlenen su sistemi için oksijen kullanım oranı değeri, ayrışabilir organik madde miktarına bağlı olan L değeri arttıkça artış gösterir. Suda eksilen oksijenin atmosferden çözünme ile yeniden kazanımı K<sub>2</sub>D olarak ifade edilebilir. "D" herhangi bir t zamanı için çözünmüş oksijen açığını ifade etmektedir. bu değer sudaki teorik doygunluk oksijen düzeyi ile gerçek çözünmüş oksijen değeri arasındaki mg/l olarak farktır. Tekrar oksijenlenme (reoksijenasyon) katsayısı olarak tanımlanan K<sub>2</sub> ise akarsu akış hızı ve derinliği gibi niteliklere bağlı olan günlük (gün<sup>-1</sup>) katsayıdır.

$$\text{Şekil 5.1'deki A eğrisinde ki ; } D = \frac{k_1 \cdot L}{k_2 - k_1} \cdot (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D_a \cdot e^{-k_2 t}$$

olup  $D_a$  = kirlenme başlama noktasındaki oksijen açığıdır.

**Örnek:** Büyük bir nehirdeki " tekrar oksijenlenme" katsayısı ( $k_2$ ) değeri 0.4/gün 'dür. Nehir akış hızı 5 mil/saat ve kirlilik deşarj noktasındaki suyun oksijenle doymun olarak 10 mg/l düzeyinde oksijen içeriği kabul edilmektedir. Su ve atık su karışımının oksijen gereksinimi 20 mg/l ve deoksijenasyon katsayısı ( $k_1$ ) 0.2/gün dür. 30 mil mesafe için çözünmüş oksijen değeri ne olur?

**Çözüm:** Nehrin akış hızı satte 5 mil olduğuna göre akış zamanı  $30/5=6$  saattir.  $t = 6/24=0.25$  gün'dür,

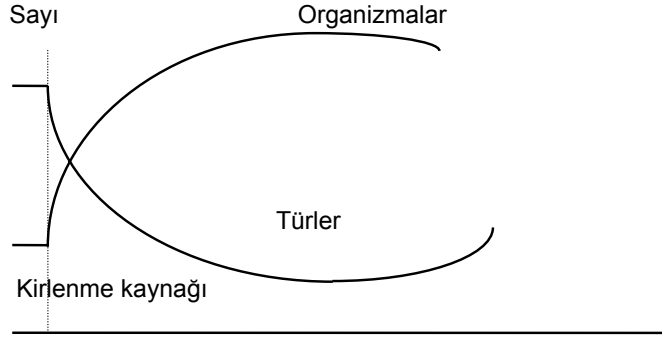
$D_a = 0$  (Çünkü doymunluk değeri kabul ediliyor)

$$D = \frac{0.2 \times 20}{0.4 - 0.2} (e^{-0.2(0.25)} - e^{-0.4(0.25)}) + 0 \cdot e^{-0.4 \cdot 0.25}$$

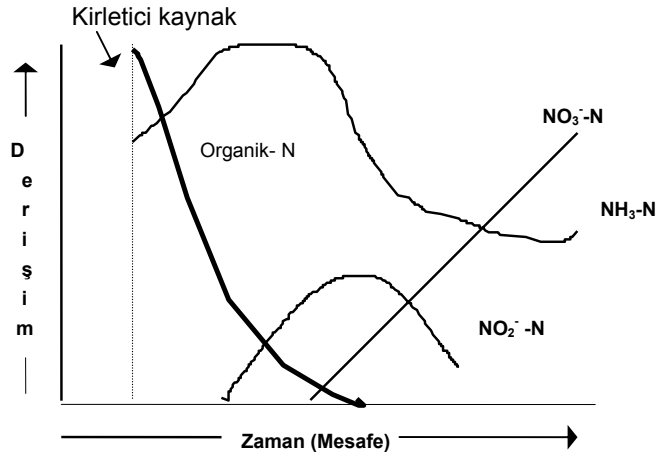
$$D = 20 (e^{-0.05} - e^{-0.1}) = 1.0 \text{ mg/l}$$

$$D \cdot 0 \text{ ( Çözünmüş oksijen) } = 10 - 1.0 = 9.0 \text{ mg/l}$$

Şayet nehirdeki oksijen kullanım oranı oksijen sağlanmasından büyük olursa, nehirde belirli mesafelerde anaerobik koşullar ortaya çıkar. Bu tip bölgeler veya akarsular kolayca farkedilir, zira diğer gazlar ile birlikte ayrışma ürünü olarak amonyak ( $\text{NH}_3$ ) ve kükürtlü hidrojen ( $\text{H}_2\text{S}$ ) oluşur. Bu gibi değişimler akvatik (su) yaşamı da etkiler. Kirlenme noktasından itibaren türlerin tipi ve sayılarında önemli değişimler ortaya çıkar. Artan bulanıklık, çökelen katı madde miktarı ve düşük çözünmüş oksijen, balık yaşamını azaltır. Kirlenmeye bağlı olarak zaman (mesafe) ile tür ve sayısal dağılımın etkilenmesi Şekil 5.2 ve 5.3'de görölmektedir.



Şekil 5.2. Bir akarsuda kirlenme ve organizma ilişkisi



Şekil.5.3. Bir akarsuda organik kirlenme noktasından itibaren azotlu bileşiklerde görülen değişim

### 5.1. Suyun Kirlenmesi veya Doğal Niteliklerinin Değişmesi

Çeşitli etkenlerin katılması ile suda doğal olmayan bir şekilde fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişiklikler meydana gelebilir.

Fiziksel değişiklik olarak, endüstri tesislerinden çıkan sıcak suların akarsulara karışması sonucu sıcaklık artışı, bulanıklık ve boyanma sayılabilir. Bu değişiklikler suda yaşayan bitkisel ve hayvansal canlılar üzerinde büyük ölçüde olumsuz etki meydana getirir.

Kimyasal değişikliklerin başında insanlar tarafından sulara karıştırılan ve kolay ayrılan organik materyal gelmektedir. Böylece hem suda çözünmüş olan oksijen miktarı azalır, hem de organik materyalin ayrışması sonucu ortama zararlı etkide bulunabilecek birçok zararlı madde meydana gelir. Su kirlenici diğer maddeler arasında fabrikaların sulara karıştırdığı tuzlar, ağır metaller, pestisidler ve detarjan gibi bileşikler sayılabilir.

Suda meydana gelen biyolojik değişiklikler ortamda bulunan organik materyal ve organizma yoğunluğuna bağlı olan ve saprobien basamağı adı verilen bir sistemle incelenebilir. Bu şekilde sular dört gruba ayrılmaktadır (Çizelge 5.1).

**Çizelge 5.1.** Su kalite sınıfı

Saprobien basamağı	Kirlilik derecesi	Su kalite sınıfı
Oligosaprob	Temiz	I
B-mesosaprob	Orta derecede kirli	II
$\alpha$ - mesosaprob	Fazla kirlenmiş	III
Polisaprob	Çok fazla kirlenmiş	IV

#### Polisaprob sular

Bu sulara kolay parçalanmış organik madde bol miktarda bulunmaktadır. Bu organik materyal içinde proteinler, polipeptidler ve karbonhidratlar belirtilebilir. Bu yüzden oksijen tüketimi çok yüksektir. Amonyak ve kükürtlü hidrojen oluşumu çok yoğun olabilir ve bu durum koku ile farkedilebilir. Siyah renkli demirsülfürün oluşumu bu sular için karakteristiktir. Bakteri popülasyon yoğunluğu 1 cm<sup>3</sup> suda milyonlarcayı bulabilir. Bu tür ortamlarda, alglerden sadece mavi algler ve yüksek hayvanlar dan bazı solucan türleri yaşar.

Kısaca belirtmek gerekirse Polisaprob sular taze veya henüz çürümeye başlamış organik kirli sulardır.

#### **α- Mesosaprob sular**

Bu tür ortamlarda oksidasyon olayları yoğun bir şekilde başlar ve protein parçalanması sonucu suda aminoasitlerin birikmesi gözlenir. Klorofil içeren küçük organizma sayılarında yoğun bir artış gözlenir. Oksijen tüketimi fazla olup % 50 nin üzerindedir. Koku farkedilmez. Yüksek su bitkilerinin bulunmayışı bu ortamlar için karakteristiktir. Bakteri sayısı polisaprob sulara oranla daha azdır (1 cm<sup>3</sup> suda 10<sup>3</sup> den az). Algler fazlaca çoğalarak **su çiçekleri** teşkil ederler. Hayvanlardan, birçok tek hücreliler, salyangozlar, midyeler, yengeçler, yılan balıkları ve sazan balıkları bu sularda yaşayabilirler. bu sulara örnek olarak nehir koyları, küçük göller ve su birikintileri, fazlaca gübrelenmiş balık (sazan) havuzları gösterilebilir.

#### **β- Mesosaprob sular**

Bu tür sularda oksidasyon daha ilerlemiştir. Oksijen tüketimi % 50, nin altındadır. Bakteri yoğunluğu oldukça azalmıştır. Çok çeşitli türde su bitkileri ve hayvanları bulunur. **Su çiçekleri** ne rastlanmaz. Karakteristik olarak yeşil algler, midyeler, küçük yengeçler ve yüksek su bitkilerine rastlanır.

Fazla kirlenmemiş nehirlerin belirli kısımları ile göllerin büyük kısımları bu su grubuna girmektedir.

#### **Oligosaprob sular**

Bu gruba giren sularda artık mineralizasyon ve oksidasyon olayları sona ermiştir. Su, duru ve oksijence zengindir. Organik materyal tamamen parçalanmış bakteri sayısı çok azalmıştır ( 1 cm<sup>3</sup> suda 100 den az), bu nedenle bakteriler ile beslenen organizma sayılarında da azalma görülür. Az miktarda mavi, yeşil ve kırmızı alglere rastlanır. Karakteristik olarak alabalık gibi oksijen gereksinimleri yüksek balıklara rastlanır. Böcekler ve larvaları da bu sularda bulunurlar. Bu ortamların organizmaları H<sub>2</sub>S gibi çürüme maddelerine ve düşük oksijen içeriğine karşı çok hassastırlar. Oligosaprob sulara örnek olarak dağların yukarı kısımlarında bulunan dereler ve göller verilebilir.

### **5.2. Su Kirliliğini Tanımlamakta Kullanılan Bazı Kavramlar**

**BOİ<sub>5</sub> (Biyolojik Oksijen İhtiyacı):** Kirli bir suyun kendiliğinden temizlenmesi sırasında 20 °C de 5 gün içinde tüketilen oksijen miktarıdır. Bu değer ya mg O<sub>2</sub> / l su veya g O<sub>2</sub> / m<sup>3</sup> su olarak belirtilir. Analiz için belirli bir miktar kirli su, bakteri içeren bir miktar çamur ile karıştırılarak üstte hava boşluğu kalacak şekilde cam bir kaba konur, manometreye bağlanacak şekilde sıkı bir durumda kabın ağzı kapatılır ve 20 °C de beş gün bekletilir. Manometre yardımı ile azalan hava basıncı ve buna bağlı olarak tüketilen oksijen miktarı belirlenir. İçme sularında bu değer ölçülemeyecek kadar küçüktür. Temiz nehir suyunda 1-3 mg O<sub>2</sub>/l, çok kirlenmiş sularda 5-8 mg O<sub>2</sub>/l, biyolojik temizlenmeye tabi tutulmuş sularda bu değer 30 mg O<sub>2</sub>/l den az olmalıdır. Evlerden çıkan kullanılmış sularda bu değer 200-300 mg O<sub>2</sub>/l arasında bulunur (Kişi başına günde 54 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>).

**KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı):** Sulardaki organik materyal kapsamına bağlı bir kavram olup, organik maddenin tamamının oksidasyonu için gerekli olan oksijen miktarını belirler. Bu amaçla belirli miktardaki su örneğinde bulunan organik madde K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> yardımı ile okside edilir. Böylelikle sulardaki tüm organik maddeler analiz kapsamına alınmış olur.

**TOK (Toplam Organik Karbon):** Bu amaçla organik olarak bağlı olan karbon tayin edilir ve mg C/l su şeklinde belirtilir. BOİ, KOİ ve TOK değerleri birbirine çevrilemez, çünkü organik maddelerin C, H, O<sub>2</sub> ve N içerikleri değişiktir. Yerleşim yerlerinden çıkan kirli sularda KOİ / BOİ oranı 1.4 tür.

Su kirlenmesinde diğer parameterler suyun oksijen içeriği (mg O<sub>2</sub>/l su), bulanıklık (görme derinliği veya fotometrik ölçüm ile saptanır) su bünyesinde bulunan ağır metal iyonları, pestisid kalıntıları, deterjanlar gibi kimyasal maddelerin konsantrasyon değerleridir.

**ÇO (Çözünmüş Oksijen) :** Sulardaki çözünmüş oksijen düzeyi özellikle ayrışabilir organik maddenin etkilediği su kirliliği koşullarında yukarıda verilen parametrelerle birlikte değerlendirmeye alınır. Bunun yanında çözünmüş oksijen düzeyi sıcaklık, erimiş tuzlar ve mevsimsel değişimlerle de ilgili olduğundan genel bir değerlendirme yapılmasına olanak sağlar, konunun ayrıntıları 5.8.3.1.'de verilmektedir.

**Askı Maddeleri:** Su sisteminde-özellikle akarsularda- değişik kaynaklardan gelerek su içinde taşınan mineral veya organik fraksiyonda katı tanecikler bulunur. Süspansiyon halinde taşınan bu katı fraksiyonun bir kısmı kolloidal nitelikte olduğundan kolaylıkla çözülmez. Bu maddeler 1m $\mu$  ile 1  $\mu$  çap büyüklüğünde olup, su rengini etkilerler ve bulanıklıktan sorumludurlar. İçme suyu temini için arıtım sırasında sorun oluştururlar. Bu tanecikler suda kararlı değildirler. Elektrolit derişimi yüksek sularda (Örneğin denizlerde) çökelirler



veya enzim etkileri ile organik fraksiyonlarda olanlar ayrışıp suda “ çözülmüş organik madde”yi oluştururlar.

Askıdaki katı maddeler toplam süspanser katı maddeleri tanımlamaktadır.

**Toplam Çökelebilen Katılar:** Suların kinetik enerjisiyle taşınan ve koloidal fraksiyonun üzerinde büyüklükte bulunan çökelebilir taneciklerden oluşmuş fraksiyondur. Bu katı maddeler de askı maddeleri gibi zemin aşınımından veya erozyon nedeniyle akarsulara ulaşan sedimentlerden oluşmaktadır. Bu parametre imhoff konilerinde 1000 litre su örneğinde belirli zamanda çökelen tanecikleri tanımlar.

### 5.3. Kirli Su Çeşitleri ve Bileşimleri

Kirlenmiş sular üreticilerine göre gruplandırılabilirler:

#### 5.3.1. Endüstri atık suları

Çevre kirlenici atık suları genel olarak hammadde işleyip endüstriye ana madde üreten işletmelerce atılır. Her işletme ürettiği madde artıkları ile onların yan ürünü olarak oluşan kirlenici atık suları ile belli bir orana kadar seyreltikten sonra atarlar. Ancak seyreltme ne kadar fazla olursa olsun atık sularındaki kirlenici maddeler eğer ayrışmıyor ve etkisiz formlara dönüşmüyorsa, bunların konsantrasyonları kabul edilen limitler dahilinde olsa bile ulaşacakları son noktanın içme suyu kaynağı olarak kullanılacak nehir ve göller olduğunu unutmamak gerekir. Atık maddelerin tek tek çevre üzerindeki etkileri bütün detayları ile bilinmemekte ise de göl ve nehirlerdeki ekolojik dengeyi bozdukları bilinmektedir. Bu dengeyi korumak için alınacak önlemler ne kadar etkili olursa olsun, hiç bir zaman tehlikeli maddelerin tamamen çeşitli su kaynaklarına ulaşması önlenemez.

- **Soğutma ve yoğunlaşma suları:** Bu tür kirlenmiş sular karışıkları akarsuların sıcaklığını yükselterek buradaki ekolojik koşulları değiştirebilirler. Bunun için akarsuyun sıcaklığının 1-2 derece bile artması yeterlidir. Atom reaktörlerinin sakıncalı noktalarından birisi de budur zira 100 megawatt gücündeki bir reaktör saniyede 3.5 m<sup>3</sup> soğutma suyunun sıcaklığını 10 °C artırır.
- **Kimya endüstrisi atık suları:** Bu sular terkettikleri tesise göre çeşitli maddeler içerirler. Asit, baz ve klor fabrikaları çeşitli asitler, bazlar, alkali ve toprak alkali katyonlar ve bunların tuzlarını suya bırakırlar. Klor

konsantrasyonu suda 250 mg/l yi geçince bitkiler için zararlı olur. Soda veya amonyak-soda fabrikalarının sularında, fazla miktarda kalsiyum klorür, boya fabrikalarının kirlenmiş sularında boya partikülleri yanında Cr, Pb ve As bulunur. Suni gübre fabrikaları suya H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve çeşitli anorganik tuzlar bırakırlar. Plastik endüstrisi suyu fenoller, aldehitler, asitler, bazlar ve karışık yapılı organik maddeler ile kirlenirler. İnşaat maddeleri, porselen ve seramik endüstrisi suya daha çok silikat ve karbonatlar salarlar ve sularda pH yükselmesine neden olabilirler.

- **Demir-Çelik endüstrisinin kirli suları:** Bu endüstri dalının kirli suları alkali ve toprak alkali elementler, siyanürler, naftalin ve fenoller içerirler. bu sularda özellikle Fe, CN, fenol ve naftalin konsantrasyonu ile pH yüksek olabilir.
- **Metal işleyen endüstri dallarının kirli suları:** Bu endüstri dallarının kirlenmiş sularında ağır metallardan Cu, Sn, Ni, Fe ve Pb' un yanında kromat, siyanür, sülfat, klorür nitrit, mineral asit ve bazlar bulunur. Burada özellikle siyanürler çok tehlikelidirler (1 mg siyanür /l balıklar için öldürücüdür).
- **Kömür endüstrisinin kirlenmiş suları:** Kömürün yıkanmasında kullanılan sular çeşitli çaplardaki partiküller ile bulanırlar. Bu sular aynı zamanda humin maddeleri, NaCl, Ca ve Mg tuzları içerirler. Kok fabrikaları suya fenol, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> ve HCN karıştırırlar.
- **Petrol endüstrisinin kirli suları:** Petrol çıkarılması sırasında bunun artıkları ve çeşitli tuzlar çevreye bulaşırlar. Rafinerilerin kirlenmiş sularında çeşitli katı maddelerin yanısıra fenol (8-60 mg/l), NH<sub>4</sub> (56-120 mg/l), sülfürler (1-38 mg/l) , fosfatlar ( 20-97 mg/l) ve klorürler (200-960 mg/l) bulunur. Ayrıca siyanür ve yağlar da karışabilir.
- **Selüloz ve kağıt endüstrisinin kirlenmiş suları:** Bu endüstrilerin atık sularında zararlı madde olarak özellikle sülfidler hakimdir. Ayrıca klor ve çeşitli mineral asitler de bulunur. Bu sularda bulunan fazla miktardaki selüloz lifleri, karbonhidratlar, lignin ve reçineler ayrışmaları nedeniyle sularda oksijen azalmasına neden olurlar.
- **Tekstil endüstrisi kirli suları:** Bu sularda arsenik, çeşitli ağır metaller, kromik asit, Na<sub>2</sub>S ve çeşitli organik ve anorganik boya maddeleri, çeşitli organik maddeler ve tekstil lifleri bulunur.
- **Besin maddeleri endüstrisinin kirli suları:** Bu işletmelerde su genellikle organik maddeler ile kirlenmiş olur (özellikle et işleyen işletmeler). Şeker fabrikalarını terkeden sularda pancar artıkları, karbon hidratlar, toprak, çeşitli organik asitler (limon asidi, sirke asidi, elma asidi, tereyağ asidi gibi) bulunur. Bira fabrikaları, suyu karbonhidratlar, proteinler, çeşitli

azotlu bileşikler ve tuzlarla kirlenirler. Konserve ve meyve suyu fabrikaları atık sularında da çeşitli organik maddeler bulunur.

- **Tarımsal işletmelerin etkileri:** Bu tür işletmeler nedeniyle kirlenen sular hayvan dışkıları gibi doğal organik maddeler içerirler. Bu suların çevre sağlığı yönünden de etkilerini gözden uzak tutmamak gerekir. Hemen ilave etmek gerekir ki, ileride toprak kirlenme konularında da göreceğimiz şekilde tarımda kullanılan çeşitli gübreler ve tarımsal mücadele ilaçları sulara karışabilirler. Çeşitli araştırmalara göre yılda 1 hektar araziden yıkanan fosfor miktarı 1 kg dan azdır. Buna karşılık yıkanan azot miktarı yılda 5-40 kg/ha düzeyindedir. Özellikle nitrat, amonyuma nazaran toprakta daha hareketli olup, yıkanma ile taban suyuna ve oradan diğer temiz su kaynaklarına karışabilir. Aynı durum klorür içinde söz konusudur. Bu besin maddelerinin (N,P) temiz su kaynaklarına ulaşması özellikle bu sularda yaşayan fotosentetik canlıların süratle çoğalmasına ve **ötrofikasyon** adını verdiğimiz biyolojik patlamaya neden olur ve suların doğal ekolojik dengesi, niteliği bozulur.

Endüstri atık sularının arıtılması işlemine girişmeden endüstrinin verdiği kirliliğin cinsi ve düzeyinin saptanması gerekir. ABD de endüstrinin günümüzdeki düzeyine henüz ulaşmadığı ve nüfusunun 170 milyon dolaylarında olduğu devrede yapılan saptamalara göre farklı endüstrilerin meydana getirdiği kirlenmenin insan metabolizma kirliliği cinsinden oranları şu şekilde belirtilmektedir:

Kağıt endüstrisinin oluşturduğu kirlilik	44 milyon insanın,
Fermentasyon endüstrisi (bira, şarap, alkol üretimi)	30 milyon insanın
Et işleme endüstrisi	13 milyon insanın
Tekstil endüstrisi	10 milyon insanın
Konserve endüstrisi	9 milyon insanın
Şeker pancarı	17 milyon insanın
Petrol rafinerisi	4 milyon insanın
Sentetik lastik, dericilik, sabun ve yağ işleme	5 milyon insanın karşısı

olan kirliliğe neden olmaktadır.

Belirtilen endüstriyel atıkların büyük bir kısmı kolayca ayrışabilecek ürünlerdir. Günde 2000 ton pancar işleyen bir şeker fabrikasının yıkama ve işleme sonucu oluşturduğu atık suyundaki organik madde miktarı, 200 000 nüfuslu bir yerleşim alanının kanalizasyon suları ile atılan metabolizma artıklarına eşdeğerde bulunmaktadır. Bu büyüklükteki şeker fabrikaları oluşturdukları kirliliğin yanında büyük miktarda su kullanırlar. Kullandıkları temiz

suyun BOİ değerini 5 mg/l den yaklaşık olarak 10 000 - 20 000 mg/l ye çıkarıp çevreye bırakırlar.

Gelişmiş ülkelerde bu kirliliği önlemek ve su kullanımını azaltmak için şeker fabrikalarında kurulan arıtma sistemi ile BOİ değeri 500 mg/l düzeyine indirilerek tekrar kullanılmaktadır. Arıtma uygulandıktan sonra atılan suların pH, bileşim, koku, sıcaklık gibi özellikler yönünden standartlara yakın olmaları gerekir. bu tip suların sıcaklığı 44 °C dereceden fazla olmayacağı gibi pH değeri 5-10 arasında bulunmalıdır. İçinde bulunacak yağların toplamı 400 mg/l süspansiyon halindeki katı partiküllerin 5000 mg/l ve siyanür kapsamının da 20 mg/l den fazla olmamalıdır. Temizlenen sular tekrar işletmede kullanılmayıp doğaya salınacak ise BOİ değeri 20-50 mg/l yi geçmemelidir.

### **5.3.2. Yerleşim yerlerinin atık (kanalizasyon) suları**

Dünyanın pekçok, özellikle geri kalmış veya gelişmekte olan ülkelerinde yerleşim alanlarının atık suları herhangi bir arıtma uygulanmaksızın düzensiz bir şekilde akarsu veya diğer su kaynaklarına bağlanmış durumdadır. Kanalizasyonlardan karışan suların içinde kirletici olarak sayısız patojen mikroorganizmanın yanında, fazla miktarda organik madde ile azot, fosfor, silisyum, potasyum gibi sularda kirlilik belirtisi olan ve alglerin şiddetle artışı teşvik eden elementler bulunmaktadır. Ayrıca fazla miktarda, tuz, sabun ve deterjan aynı yolla su kaynaklarına karışır. Sulara karışan organik maddelerin parçalanması için faaliyet gösteren mikro organizmalar, suda çözülmüş oksijeni tüketerek amonyak ve diğer zehirli maddelerin oluşmasına neden olurlar. Orta derecede beslenen bir insanın metabolizma artıklarını parçalamak için mikroorganizmaların faaliyeti için gerekli oksijen miktarı günde 54 g dır. Sularda azotun / fosfora oranı 10 olduğunda ciddi bir kirlenme durumu sözkonusudur. Fosforun suya geçişi insan metabolizması ve deterjanlar ile olmaktadır. Günde bir insanın 2 g metabolik, 2 g da deterjandan olmak üzere 4 g fosforu, pis sular ile, çevreye saldığı kabul edilmektedir. Sularda fosforun artması tatlı sularda mavi-yeşil ve yeşil alglerin süratli bir şekilde çoğalıp su yüzeyini kapamalarına ve suyun oksijenini tüketip balık ve diğer su ürünlerine zehir etkisi yapmalarına neden olur. İnsan faaliyeti sonucu suya karışan fosforun dışında tarım ve ticaret gübrelerinin yoğun olarak kullanıldığı yerlerde, yıkanma sonucu sulara karışan fosfor miktarı km<sup>2</sup> başına 69, tarımın az yoğun olduğu yerlerde 35 g düzeyindedir. Bunun saptanması akarsuyun debisi ile o suyun su toplama havzasının genişliğinin saptanması ile hesaplanır. bu durumda tarım faaliyetlerinin olduğu yerlerde akarsulara ortalama km<sup>2</sup> den 50 g fosforun intikal ettiği kabul edilmektedir.

#### 5.4. Kirlenmiş Suda Bulunan Maddelerin Etkileri ve Toksikolojisi

Kirli sulara çeşitli kaynaklardan karışması muhtemel kirlenmelerin türleri ve canlılara olan sınır konsantrasyonları belirtilmiştir.

##### 5.4.1. Oksijen eksikliğinin nedeni olarak kolay ayrışabilir organik maddeler

Kolay ayrışan organik maddece zenginleşmiş sularda oksijen yetmezliği ortaya çıkabilir. Asimilasyonun yetersiz kalması halinde alglerde solunum ile oksijen azalmasına neden olurlar. Oksijenin suda çözünürlüğü ve suda yaşayan canlıların oksijen gereksinimi sıcaklığa bağlıdır. Sazan için en az 4 mg/l, alabalık için 10 mg/l O<sub>2</sub>'nin suda bulunması gereklidir.

##### 5.4.2. Oksidasyon zehirleri

Oksidasyon zehirleri arasında klorun büyük pratik önemi vardır. İçme suyunun 5-25 mg Cl<sub>2</sub>/l ile klorlanması, suların kendiliğinden temizlenmesine olumsuz yönde etki eder. Algler klorla karşı çok hassastırlar. Bu nedenle alglerle mücadelede klor kullanılır. 1.4 mg Cl<sub>2</sub>/l tatlı suda yaşayan birçok algler için öldürücüdür. Öldürücü doz balık yavruları için 0.05 mg Cl<sub>2</sub>/l , büyük balıklar (alabalık) için 0.1 mg Cl<sub>2</sub>/l, sazan için 0.4 mg Cl<sub>2</sub>/l dir.

##### 5.4.3. Zehirli gazlar

**Amonyak:** 18 °C de 1 l suda 554 g NH<sub>3</sub> çözünür. İçme suyunun NH<sub>3</sub> içeriği 0.05 mg/l den az olmalıdır. Sazanlar 2 mg/l ye, alabalıklar 0.8 mg/l ye tahammül edebilir.

**Hidrojen sülfür:** Bu gaz suda çok iyi çözünür. Anaerobik şartlarda organik maddenin parçalanması sonucu oluşur. Kuvvetli bir solunum ve enzim zehiridir; pH yükseldikçe zehir etkisi azalır. Balıklar için zehirlilik sınırı 1 mg/l civarındadır (alabalıklar için 0.6 mg/l).

**SO<sub>2</sub>, Kükürt dioksit (sülfüroz asidi):** Balıklar için zehirlilik sınırı 16 mg SO<sub>2</sub>/l civarındadır. Suda ayrıca HCl varsa bu sınır 0.5 mg SO<sub>2</sub>/l ye kadar düşer.

##### 5.4.4. Asitler ve bazlar

Kirlenmiş sularda görülen en önemli mineral asitler HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve HNO<sub>3</sub> tür. Bunların zehir etkisi, neden oldukları pH değişikliğinden ve anyonlarından ileri gelir. Düşük pH derecelerinde diğer zehirli maddelerin de etkisi artar. Ayrıca asitler, sudaki karbonatlara etki ederek CO<sub>2</sub> in açığa çıkmasına ve dolaylı olarak balıkların ölmesine neden olurlar. Balıklar için öldürücü pH 4.5-5 arasındadır (derelerde yaşayan alabalıklar için pH = 4.8). Sazanlar için bu pH değeri öldürücüdür.

Bazılar olarak kirlenmiş sularda NaOH, KOH ve Ca (OH)<sub>2</sub> bulunur. Bunların zararlı etkileri pH yükselmesinden ileri gelir. pH 9.2 den itibaren zararlı etki başlar. Sazanlar alkali pH' ya çok az hassastır, pH 10.8 e dayanabilirler.

#### **5.4.5. Ağır metaller**

Çok küçük miktarlarda bile genellikle kuvvetli zehir etkisine sahip olan bu maddeler, kirlenmiş sularda metal, katyon, tuz ve kısmen anyon (örneğin kromat) şeklinde bulunurlar. Bunlar hem kirlenmiş suların kendiliğinden temizlenmesi engelleyebilir, hem de bu suların arıtılmamış veya arıtılmış halde sulamada kullanılmasını veya arıtma atıklarının gübre olarak kullanılmasını sınırlandırabilirler. Ağır metaller hücrelerde plasmanın sertleşmesine, şişme ve büzölmeye neden olur. Proteinleri de çöktürürler, bunun sonucu solunum intensitesi ve buna bağlı olarak oksijen tüketimi azalır.

#### **5.4.6.Mangan**

Mangan ve demir, ağır metaller arasında en zehirsiz metaller sayılırlar. Katyon olarak manganın zararlılık sınırı alabalık için 75 mg/l, sazanlar için 600 mg/l dir.

Litrede 0.5 demir veya mangan içeren içme suları mürekkep tadında olur (veya mürekkep kokusu hissedilir).

#### **5.4.7. Nikel**

Bu metalin zararlılık sınırı balıklar için 1-5 mg/l, küçük su canlıları için ise 3-4 mg/l dir. 6 mg Ni /l dozu sudaki mikrobiyolojik olayları engeller.

#### **5.4.8. Krom**

Bu metal kirlenmiş sularda hem katyon, hemde anyon (kromat, bikromat veya kromik asit) olarak bulunabilir. Anyon şekli katyon şeklinden daha etkilidir. Balıklar için toksisite sınırı 28-80 mg Cr/l veya 15 mg/l kromat veya bikromat, içme suyunda sınır değeri olarak 0.05 mg Cr /l verilmektedir.

#### **5.4.9. Kurşun**

Kirlenmiş sulardaki Pb konsantrasyonu 0.1 mg/l den az ise suda yaşayan canlılar bundan pek etkilenmezler. Hassas balıklar için 0.1 - 0.2 mg Pb/ l toksisite sınırını teşkil eder (sert sularda bu sınır 1 mg Pb/l dir). İçme sularında en fazla 0.05 mg Pb/l bulunmaktadır.

#### **5.4.10. Demir**

Demir de mangan gibi göreceli olarak zehirsiz sayılmaktadır. Buna rağmen sulardaki yüksek demir konsantrasyonu mikrofloranın büyük ölçüde değişmesine neden olur. Demiroksit, demirhidroksit ve iki değerlikli demir bileşikleri fazla zararlı değildirler. Çeşitli demir bileşikleri sert olmayan sularda pH yı düşürmek suretiyle balıklara zehir etkisi yaparlar. Demirhidroksit balıkların solungaçlarını tıkayarak ölmelerine sebep olur. 1 mg Fe/l (sert sularda 30 mg Fe/l ) balıklar için zararlıdır. İçme sularında 0.5 mg Fe/l renk ve tatla anlaşılabilir.

#### **5.4.11.Çinko**

Belirli konsantrasyonlarda çinko sulardaki mikroflorayı olumsuz yönde etkiler. Balıklar için toksisite sınırı 0.3 mg/l (sert olmayan sularda 0.15 mg/l) dir. Bakır ve nikel, çinkonun zehir etkisini artırırlar. İçme suyunda 5 mg/l zararsız sayılmaktadır.

#### **5.4.12. Bakır**

Bakır küçük canlılar için de yüksek derecede zehirlidir. Hafif alkali sularda hidroksit, çürüyen organik madde içeren sularda sülfür şeklinde çökelir. Bakır balıklar için kuvvetli bir zehirdir. Alabalıklar için toksite sınırı 0.14 mg Cu/l dir (Cu çözünen tuz olarak suda bulunuyorsa). Sert sularda zehir etkisi daha azdır. Suda çözülmüş halde bulunan diğer tuzlar bakırın zehir etkisini azaltır. 2.5 mg Cu/l yüksek su bitkilerine zarar vermez. İçme sularında en fazla 0.05 mg Cu/l bulunmaktadır.

#### 5.4.13. Civa

Bu metal ve bileşikleri hem endüstriyel kaynaklardan hem de tohumlarda kullanılan ilaçlardan sulara karışırlar. Civa mikrofloraya kuvvetli zehir etkisi yapar. 100 mg Hg/l mikrobiyal aktivitenin durmasına neden olur. Balıklar için letalite (ölüm) sınırları 0.25 mg Hg/l (alabalık) ile 0.80 mg Hg/l (sazan) arasında bulunur. Civanın organizmada birikmesi mümkündür. Turna balıklarının içinde, yaşadıkları suya nazaran 3000 misli fazla Hg içerdikleri saptanmıştır. Federal Almanya'da müsaade edilen sınır değerler: İçme sularında maksimum 40 µg/l, taze balık etinde 0.5 -1.0 ppm'in altında. Ren Nehrin'de 0.01 - 0.05 µg /l düzeyinde bulunmaktadır.

#### 5.4.14. Nitrat ve nitritler

Bu bileşikler sadece belirli ve dar bir alanda zehirli sayılabilirler. Balıklar ve diğer su hayvanları için nitratın toksisite sınırı 3-13 g/l, nitritin 20-30 mg/l dir. İçme suyunda en fazla 45 mg NO<sub>3</sub>/l bulunmalıdır. Daha yüksek değerler methemoglobin hastalığına neden olur (bilhassa çocuklarda).

#### 5.4.15. Fosfatlar

Fosfor bileşikleri önemli bitki besin maddeleridirler. Su hayvanlarına olan etkileri, ancak suda fazla miktarda bulunup pH değerini veya suyun tampon sistemini değişikliğe uğrattığı zaman göze çarpar. Temizlik malzemelerinde (deterjan ve benzeri) bulunan polifosfatlar veya fosfor bileşikleri, suyun yüzey gerilimini değiştirerek (köpük teşekkülü) biyolojik olayları olumsuz yönde etkileyebilirler. Kompleks fosfatlar ayrıca suya sertlik veren maddeleri inaktif hale getirerek suyun sertliğini bir ölçüde giderebilirler ve bu suretle diğer bazı zehirli maddelerin etkisinin artmasına neden olabilirler; ayrıca ağır metalleri kompleks bağlama ile bağlayabilirler. Sularda kompleks fosfatlar kısa zamanda bitkilerce kolay alınabilen ortofosfata parçalanırlar. İçme suyunda 7 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / l (üst sınır) zararsızdır.

Alıcı sularda fosfor artışının 4 nedeni vardır:

- İnsan ve besin atıkları
- Gübreler



- Endüstri atıkları
- Deterjanlar.

Fosfatın tarımda, endüstri ve evlerde kullanımı son 10 yılda üstsel bir artış göstermiştir.

Göllere besin (P) girdisi şu kaynaklardan olmaktadır:

- 1/2'si tarımsal yüzey akış
- 1/4'ü deterjanlar
- 1/4'ü diğer kaynaklar

#### **5.4.16. Klorür, sülfat ve bor**

Federal Almanya'da yapılan araştırmalara göre yeraltı suları ve nehir sularında 40- 200 mg Cl<sup>-</sup> /l klorür saptanmıştır. Bu klorür iyonları topraktan drenaj suları ve ayrıca kentsel atık suları ile su kaynaklarına ulaşmaktadır. Federal Almanya'da yemek tuzları nedeni ile kullanılan ve büyük miktarda atık sularına intikal eden klorür miktarı yılda 200 000 ton Cl<sup>-</sup> olarak tahmin edilmektedir. Ayrıca endüstri atık suları ile nehirlere yaklaşık 2500 mg/l değerinde klorür ilave olmaktadır. Klorür ve sülfatın toksisitesi, yüksek konsantrasyonlarda ozmotik etkilerinden ileri gelmektedir. Genel olarak içme suyunda Cl<sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> için 350 mg/l altındaki konsantrasyonlar zararsızdır. ABD de 250 mg/l üst limit olarak kabul edilmektedir. Tatlı su balıkları için toksik sınır 6000 mg/l Cl<sup>-</sup> dür . Sülfatlar sulama sularında klorürden daha az toksittirler. Kaliteli sulara konsantrasyon 192-336 mg/l düzeyindedir. İzin verilebilir maksimum değer 336-576 mg/l düzeyindedir.

Bor, sulara borik asit (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) veya sodyum borat olarak bulunmaktadır. Boraksın toksik sınırı balıklar için 3-7 gB/l dir. Suların kendiliğinden temizlenmesi için gerekli mikrobiyal aktivite 10 g/l bor ile büyük ölçüde engellenir. 1-2 g/l borik asidin balıklara toksik olduğu belirtilmektedir. Sulama sularında 0.5 mg B/l den fazla konsantrasyonları bazı bitki türlerine zararlı olabilir. Orta ve dayanıklı tür bitkiler, sulama suyundaki 1-4 mg/l konsantrasyona dayanabilmektedirler. Drenaj sularındaki bor değeri 0.7 mg/l den fazla olmamalıdır.

#### **5.4.17. Siyanürler ve zehirli organik bileşikler**

Genel olarak siyanürün balıklar için toksisite sınırı 0.03-0.25 mg CN/l olarak verilmekte ise de bu, balık türü ve bileşik çeşidine bağlıdır. Örneğin tatlı su kefali için sodyum siyanat (NaOCN)'ın maksimum limiti 75 ppm dir. Buna karşılık alabalık için 0.05 ppm NaCN 24 saatte, 1 ppm ise 20 dakikada tamamen öldürücü olmaktadır. Su sıcaklığının artması ile zehir etkisi artmaktadır. İçme suyunda en fazla 0.05 mg CN<sup>-</sup> / l bulunmalıdır.

**Petrol ve Türevleri:** Petrol su yüzeyinde ince bir film oluşturarak gaz alışverişini engeller. Sulardaki normal bakteri florası petrol ve türevlerince engellenir. Bu arada naften asitleri, fenoller ve merkaptan özellikle toksiktir. Merkaptanın balıklar için toksik dozu 0.6 -1.5; naften asitlerinin 1-5 mg/l dir. Benzinin toksisite sınırı 50 mg/l , benzenin 5-20 mg/l dir. Bazı literatüre göre toksisite sınırı normal benzinde 10- 260 mg/l, süper benzinde 40-100 mg/l dir.

#### 5.4.18. Fenoller

Fenoller su mikroflorası tarafından parçalanabilirler. Konsantrasyon 200 mg/l yi geçince mikropların sayısında azalma görülür. Bazı su bitkileri de (*Scirpus Lacustris*) fenollerini parçalayabilirler. 1µg/l fenol suyun tadını ve 20µg/l fenol balık etinin tadını bozar. Balıklar için toksisite sınırı 6-7 mg/l fenol'dur.

#### 5.4.19. Poliklor- naftalinler ve bifeniller

Bu bileşikler teknikte hidrolik yağlar, plastik endüstrisinde yumuşatıcı ve elektroteknikte izolasyon materyali olarak kullanılır klor içeriği arttıkça bu bileşikler katı bir yapı kazanırlar. Bunlar yağda eriyen ve DDT gibi hayvansal organizmalarda biriken bileşiklerdir.

Bunlardan PCB (poliklor bifenil) hayvansal organizmalarda DDT den daha çok birikmiş bulunuyor. Bunların toksikolojisi henüz yeteri kadar araştırılmadığından bu konuda kesin bir şey söylemek mümkün değildir. Bu bileşiklerin havada ve suda bulunan miktarları mikrogram düzeyini aşmamalıdır. Bunların organizmalarda birikmesi sadece ortamdan değil, aynı zamanda **besin zinciri** vasıtasıyla da olmaktadır. Bilhassa PCB nin mikrobiyolojik parçalanması hakkında birşey bilinmemektedir.

#### 5.4.20. Deterjanlar

Kirlenmiş sularda bulunan deterjanların büyük kısmı evlerden gelmektedir. Deterjanlar hidrofil ve hidrofob gruplar içeren organik bileşiklerdir. Çözünmeyen kalsiyum sabunları teşkil etmezler ve düşük pH derecelerinde hidrolize olmazlar.

Deterjanların etki bakımından en aktif kısmı uzun bir zincir teşkil eden lipofil kısımdır; bu kısım protoplazmadaki; lipoidlerle reaksiyona girer. Balıklarda solungaç ve diğer organlarda kanama olur, ciğerlerde deterjanlar birikir. Ayrıca deterjanlar suda bulunan yağları emülsiyon haline getirerek organizmaya geçmesini kolaylaştırırlar. Balıklar için öldürücü doz 5-10 mg/l arasında bulunurken, (katyonik deterjanlarda 0.02-0.1 mg/l) 1.2-2 mg/l lik konsantrasyonlar sulardaki algleri yok etmeye yeterlidir.

Deterjanın içerdiği yüzey aktif bileşiklerin yanısıra içindeki katkı maddelerinden Na-tripol fosfatlar çöl sularında aşırı su bitkisi gelişimine, verim azalmasına ve gölde yaşlanma sürecinin (ötrofikasyon) hızlanmasına neden olmaktadır.

Bunun dışında deterjanlar, evsel ve endüstriyel atıksularla nehir, deniz ve göllere ulaşarak köpük oluştururlar. Köpükler su yüzeyini kaplayarak havalanmaya engel olurlar.

- Kısa sürede ayrışma özelliğindeki LAB (Lineer Alkil Benzen) aktif maddeli deterjanlar ayrışma sırasında sudaki C=O'ni hızla tükettiğinden suda ani O<sub>2</sub> eksikliği yaratabilir.
- Sularda birleşme mg/l düzeyindeki deterjan (1-3 mg/l ABS (Alkil Benzen Sülfonat), 0,6-1,5 mg/l LAS (Lineer Alkil Sülfonat)) balıklara zararlı etki yapar.

0,1 mg/l deterjan aktif maddesi balık yumurtalarında anormalliğe neden olur.

1960'lı yılların başına kadar dünyada deterjan üretiminde aktif madde olarak petrol kökenli bir madde olan DDB (Dodesil Benzen) kullanılmıştır. Dallenmiş zincirli bir yapısı olan alkil benzen sülfonat'ın biyolojik bozunabilirliğinin çok az ve yavaş olması nedeniyle, su ortamında, arıtım tesislerinde, yoğun köpük oluşumu ile suya O<sub>2</sub> aktarımını engellediği, böylece hem su canlılarını, hem de suyun kendini arıtım özelliğine olumsuz etki yaptığı, saptanarak kullanımı yasaklanmıştır.

Bunun yerine 1964/65 yıllarında kolay ayrışabilen düz zincir yapılı alkil benzen süfonatlar kullanılmaya başlanmıştır. Ve tüm atıkların arıtıldıktan sonra çevreye verilmesi sıkı kontrole bağlanmıştır. 1982 yılında aktif maddelerin biyolojik bozunabilirliklerinin % 80'in üzerinde olması zorunluluğu getirilmiştir.

- Çevre kirlenmesi yönünden deterjan ele alındığında en önemli neden deterjanların su ortamında ayrışma veya ayrışmama durumudur.
- Ayrışma niteliği düşük, sert (DDB) deterjanlar yüzey sularından toprağa, kuyu ve kaynak sularına girmekte, düşük miktarlarda bile suyun koku ve tadını değiştirmekte ve içme suları ile insan bünyesine girmektedir.

#### 5.4.21. Pestisidler ve herbisidler

Bu konuya toprak kirlenmesi bölümünde geniş yer verilecektir. Burada sadece suda ve içinde yaşayan canlılarda yapılan bazı gözlemler anlatılacaktır. Bu maddeler daha çok tarımsal alanlardan çıkan sularda, kültür topraklarından sızan sularda ve sebze-meyve işleyen fabrikaların kirlenmiş sularda bulunurlar. Uçaklarla yapılan tarımsal mücadele sonucunda da bu maddeler sulara karışabilirler. Pestisidlerden, klorlanmış hidrokarbonlar balıklar için son derece zehirlidirler. Organik fosfor bileşikleri balıklar için fazla zehirli değildir.

Tanınmış pestisidlerin su faunasına olan zehirli etkilerine dayanılarak şu gruplama yapılmıştır.

**I. Çok zehirli maddeler:** Suların yakınında kesinlikle kullanılmamaları ve artıklarının kesinlikle sulara karışmaması gerekir. Örnek: DDT emülsiyonu, azinphos, karbamatlar.

**II. Zehirli maddeler:** İçinde balıkların yaşadığı sulardan uzak tutulmaları gerekir. Örnek: Lindan, Chlordan, Heptachlor, Parathion, Chlorthion, Diazinon, Malathion, Nikotin Preparatları, Perris, Rotenon, Pyrethrum, Karbolineum (meyve ağaçları) ve DDT (püskürtme ve toz şeklinde)

**III. Sığ sularda balıklar ve bunlara yem olan küçük canlılar için tehlikeli olabilecek maddeler:** Trichlorphon, Demeton.

**IV. Normal dozda kullanıldığı zaman az zehirli olan maddeler** (uzman kişilere danışılarak kullanılmaları gerekir): Kloratlar, Dalapon, Simazin, Paraquat.

#### 5.5. Hijyenik Açıdan Suların Kirlenmesi

Organik maddelerle birlikte mikroplar da - özellikle patojen olanlar- kirlenmiş sulara karışırlar. Yerleşim yerlerinin kirlenmiş sularda fazla miktarda patojen mikroplar bulunur. Bunlardan önemli ve sık rastlanan birkaç tanesi burada verilecektir.

- Salmonella sp.: S. typhi, S. paratyphi (tifo ve paratifo hastalığı yapan mikroplar), S. enteridis. Bunlar kirlenmiş sularda uzun süre (3-4 hafta) yaşayabilirler.
- Mycobacterium sp.: M. tuberculosis (verem mikrobunu);
- Shigella (dizanteri mikrobunu);
- Vibrio comma (kolera mikrobunu);
- Şap hastalığına sebep olan mikroplar;
- Cilt hastalığına neden olan mantarlar.

Ayrıca kirlenmiş sularda 100 değişik tipte virüs saptanmıştır; en önemlileri şunlardır:

- Polio virusları (çocuk felci için neden olan virüsler),
- Menenjit için neden olan virüsler,
- Yaz gribine neden olan virüsler,
- Hepatitise (sarılık) için neden olan virüsler,
- Göz hastalıklarına neden olan virüsler.

### 5.6. Göl Kirliliği

Kirleticilerin göller üzerindeki etkileri akarsulardan daha farklıdır. Burada göl sistemindeki ısı ve ışık dağılımı ve bunun kirlenme ile ilişkisi akarsu sisteminden daha büyüktür. Işık en önemli fotosentez kaynağı olduğundan, bunun göldeki etki derinliği önemlidir. Işığın su tabakalarına girişi logaritmik olarak azalmaktadır. Işığın herhangi bir derinlikteki şiddeti:

$$I(z) = I_0 e^{-kz} \text{ dir. Burada:}$$

$I_0$  = göl yüzeyindeki ışık şiddeti,

$I(z)$  = z derinliğindeki ışık şiddetini,

$z$  = göl yüzeyinden itibaren derinliği ve

$k$  = ışık absorpsiyonuna bağlı azalma katsayısını göstermektedir.

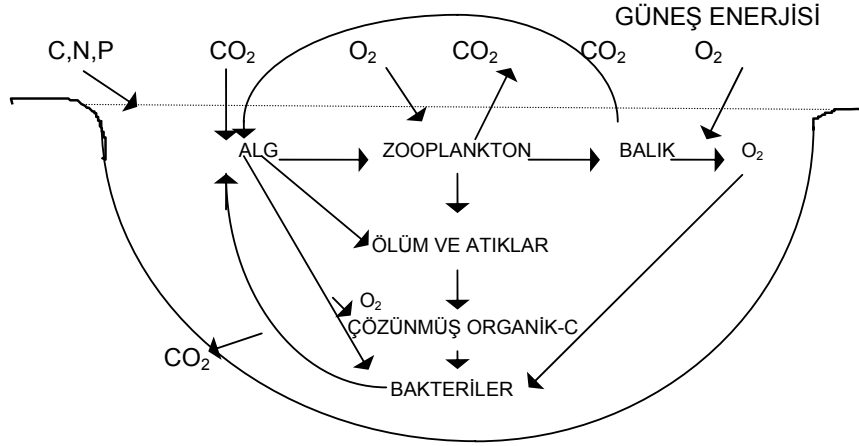
Sıcaklığın göl suyu içindeki dağılımı mevsimlere bağlıdır. Sıcak mevsimlerde üst katman alta oranla daha fazla ısınır. Suda ısının iyi iletilmemesinden kaynaklanan " **Isısal tabakalaşma**" ortaya çıkar. Bu durum oldukça kararlı olup, yaz sonlarına kadar böyle kalır. Üst ısı katmanına "EPİLİMNİON", orta katmana "METALİMNİON" ve alt katmana da "HİPOLİMNİON" adı verilir.

Bu katmanlarda sıcaklık ve fotosentez nitelikleri farklı olduğundan, kimyasal özellikleri ve canlı popülasyonu farklılık gösterir. Isısal tabakalaşma nedeniyle suyun sirkülasyonu yalnızca üst katmanda olduğundan, biyolojik ve kimyasal reaksiyonların büyük kısmı epilimnion katında gerçekleşir. Ancak çökelebilen maddeler hipolimnion katmanına doğru hareket ederler. Hava soğudukça, üst katmandaki su kütlesi de soğumaya başlar ve bu nedenle gölün içinde bir sirkülasyon oluşur. Buna sonbahar karışımı denmektedir. İlkbaharda da buna benzer bir karışım meydana gelir. Tabakalaşmalar ve özellikleri Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

**6 cm**

**Şekil 5.4.**Mevsimplere bağlı olarak göllerdeki sıcaklık değişimleri

Doğal göllerdeki biyokimyasal reaksiyonlar, Şekil 5.5.'de olduğu gibidir. Akarsular organik ve anorganik yapıdaki azot ve fosfor bileşiklerini göllere taşırlar. Mikroskopik boyuttaki yüzücü algler sulardaki C,P,N'u kullanarak ve göl suyuna giren güneş ışığının şiddetine bağlı olarak fotosentez yaparlar. Bu algler çoğunlukla zooplanktonların besinini oluşturur. Bunlardan da sucul yaşamın diğer tüketicileri, örneğin balıklar yararlanır. Bu tür işlevler sonunda suda çözünmüş organik C kapsamı artar.



**Şekil .5.5.** Göl Ekolojisi

Mikroorganizmalar organik -C'nu kullanarak CO<sub>2</sub> üretirler. Bu üretilen CO<sub>2</sub> başka algler tarafından kullanılır. Ayrıca zooplankton ve diğer fauna solunumu da, havadan doğrudan çözünen CO<sub>2</sub>, sudaki karbondioksit kaynaklarıdır.

Kirlenmemiş bir gölde N, P, C gibi besin maddeleri girdisi sınırlı olduğundan alg gelişimi de sınırlıdır. Besin maddesi girdisi artışı gölde ötrofikasyon sorunu oluşturur. Bu sorun su kaynağının kullanım potansiyelini azaltır. Alg'in ortalama kimyasal bileşimi C<sub>106</sub> H<sub>263</sub> O<sub>110</sub> N<sub>16</sub> P<sub>1</sub> olduğundan sınırlayıcı besin maddeleri N ve özellikle P dur. Alg'in C/N/P oranı 106/16/1 olduğundan bu elementlerden birinin yetersiz olması alg gelişimini önleyici etki yapar. Göl sularında doğal dengeye bağlı olarak bulunan besin maddeleri göl suyu kalitesini oluşturur. Şayet bir kirlenme durumunda besin tuzlarının anormal artışı varsa, bu göl suyunun kimyasal kalitesini etkilerken, bir yandan da fitoplankton gelişimini hızlandırarak sudaki biyolojik dengeyi bozar. Bu nedenle göl sularında yoğun alg gelişimi (algal bloom=alg patlaması) beslenme kademesinin bir ölçüsüdür. Özellikle alg türleri ve türlerdeki birey sayıları suyun trofik düzeyinin belirlenmesinde bir ölçüt olarak kullanılmaktadır.

Göl suyundaki besin maddesi derişimi, göle giren besinmaddesi yükü ve göldeki besin elementleri düzeyi ile ilişkilidir. Göl sularındaki P'un 0.02 mg/l ve N'un 0.3 mg/l düzeyinin altında olması gölde olumsuz bir biyolojik gelişmeyi engeller. Bununla beraber azot ve fosfor yükleri göl derinliği ile yakından ilgilidir (Çizelge 5.2).

**Çizelge 5.2.** Göllerde izin verilen P ve N yükleri

Ortalama Derinlik (m)	İzin verilir yük (g/m <sup>2</sup> göl yüzeyi/yıl)		Tehlike oluşturan yük (g/m <sup>2</sup> göl yüzeyi /yıl)	
	N	P	N	P
5	1.2	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

Göllere gelen besin maddelerinin kökenleri çeşitlidir. Bunlar:

- Artılmamış kanalizasyon sularının taşıdığı N, P, C yükleri,
- Hayvan dışıklarının N, P, C yükleri,
- Kanalizasyon sularındaki deterjan ve buna bağlı besin tuzu yükleri,
- Toprak yüzey akışları ve taban suyu sızmaları ile ticari gübrelerin oluşturduğu yükler.

Yapılan ölçümlere göre göllere deşarj edilen toplam P'un 1/2 sinin tarımsal yüzey akışlardan, 1/4 'ünün deterjanlardan ve 1/4'ünün diğer kaynaklardan geldiği anlaşılmıştır. Genel olarak 0.01 ile 0.1 mg/l arasındaki P düzeylerinin ötrofikasyonu hızlandırdığına inanılmaktadır. Kanalizasyon arıtma tesisleri akıntıları 5 ile 10 mg/l düzeylerinde P kapsamaktadırlar (ülkemizde ise tüm yük doğrudan akarsulara ve göllere deşarj edilmektedir). Nehirlerdeki besin maddesi yükü sürekli hareket halinde olduğundan, akarsularda ötrofikasyon tehlikesi yoktur. Bu olay yalnızca göllerde, gölet ve havuzlarda, körfez ve bazen çok yavaş akan nehir ve delta lagünlerinde ortaya çıkmaktadır.

### 5.7. Ötrofikasyon

Akarsu ve göllerdeki yaşam niteliği ve kalitesi bu sistemlere giren besin maddeleri, diğer bir deyimle besin tuzları miktarı ile yakından ilgilidir.

Su kaynaklarımıza, dışarıdan çeşitli enerji düzeylerinde maddeler girmektedir. Nitratlar ve fosfatlar gibi besin tuzları akarsuların drenaj alanları ile, arıtmadan geçmemiş kentsel kanalizasyon ve endüstriyel sular yolu ile ortama katılırlar. Bu besin maddeleri su ortamında alglerin büyümesine neden olarak primer besin döngüsünde aşırı üretime neden olurlar. Su ortamında, besin maddelerinin bol olduğu ortamlar ötrofik sular olarak tanımlanır. Oligotrofik



sularda ışık geçirgenliği 15 m ye kadar ulaşırken, ötrofik sularda bu değer 1.5 m veya daha azdır. bu nedenle güneş ışınları sadece suyun en üst tabakalarına sızabilirler ve fotosentez sadece bu kısımlarda görülür. Besin maddelerinin zenginliği nedeniyle bu sınırlı bölgede çok yoğun bir su yaşamı oluşur. Sonuç olarak ortaya çıkan yoğun üretim nedeniyle ürün kalıntıları suyun derin tabakalarına çökerek burada çözünmüş oksijen derişiminde önemli azalmalara neden olurlar. Bunun yanında üst katmandaki fotosentez olayının günlük periyodik değişimleri tüm su kütlelerinde geceleri O<sub>2</sub> nin tamamen yok olmasına neden olabilir. Oksijenin bu şekilde tükenmesi, sucul yaşamın önemli bir bölümünün ani ölümüne ve ortamda uzun süreli anaerobik durumların ortaya çıkmasına neden olur.

Antropojenik etkilerle oligotrofik göller, kirlenip hızlı bir gelişme göstererek birkaç yıl içinde anaerob karakter gösterebilen ötrofik göller haline gelirler (Çizelge 5.3.).

**Çizelge 5.3.** Oligotrofik ve ötrofik suların özelliklerinin kıyaslanması

Özellik	Ötrofik	Oligotrofik
Görünüş	Yeşil renk, düşük ışık girişimi, berrak değil,	Çok temiz su, yüksek ışık girişimi
Sertlik	Çoğunluk sert	Genellikle yumuşak
Koku ve tat	Her zaman olmamakla birlikte çoğunluk çürük kokusu	Koku yok veya turbamsı
Balık	Yok veya dayanıklı bazı türlerden az sayıda	Som ve alabalık
Oksijen kapsamı	Düşük, mevsim ve derinliğe bağlı olarak değişir	Doğgunluk civarı
Su temini için arıtma	Zor ve yavaş filtrasyon	Kolay ve hızlı filtrasyon

Ötrofikasyon terimi, zengin anlamına gelen yunanca bir kelimedenden türemiştir. Ötrofik suların inorganik ya da organik fosfor ve daha az miktarda azot formlarıyla zenginleşmesi anlamına gelmektedir. Bu besin elementlerinin artışı mikro alglerin aşırı gelişmesine neden olurlar.

Burada iki etki söz konusu olabilir:

- Sudaki oksijen tüketimi,

- İstenmeyen koku ve tad'dır. Bunun sebebi sülfidler, balıkların ve dayanıksız mikroorganizmaların ölümüdür. Böyle sularda dayanıklı mikroorganizma popülasyonu oluşmaktadır.

Ötrofikasyon doğal olarak cereyan eden bir olay olmakla beraber antropojen etkilerle hızı artmaktadır. Bundan dolayı ötrofikasyon yağmur suyu, doğal arazilerden gelen yüzey suları, kayaların aşınması ve bitki polenleri gibi nedenlerle oluşuyorsa **doğal ötrofikasyon** dan söz edilebilir. Ancak çoğunlukla insan aktiviteleri sonucu, örneğin arazi kullanımı (tarımsal), kanalizasyon ve endüstriyel atık suların su ortamına ulaşması gibi nedenlerle yapay olarak meydana gelmektedir.

Ötrofikasyon terimini şu şekilde açıklayabiliriz:

**Ötrofikasyon, göl ve nehirlerde bitki, hayvan ve mikroorganizma gelişmesinin artmasıdır ve doğal bir olaydır.** Ancak bu olayın kesintisiz devamına izin verildiği takdirde, sularda oksijen noksanlığı ortaya çıkar. Böylece anaerobik koşullarda yaşayan mikroorganizmalar, aerobik mikroorganizmanın aleyhine olarak, gittikçe çoğalırlar. Bu koşullar altında organik maddenin H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub> 'e parçalanma işlemi tamamlanamaz, indirgenmiş formda birikmeye başlar. Bu organik bileşiklerin birikimi yanında, anaerobik mikroorganizmaların metabolizma ürünleri olan düşük molekül ağırlıklı bileşikler oluşur. Bu bileşikler aerobik mikroorganizmalar için şiddetli toksiktir.

Su sirkülasyonunun sadece üst tabakalarda cereyan ettiği göllerde yaşayan algler, fotosentetik bakteriler ve anaerobik bakteriler arasındaki etkileşimler şu şekilde bir denge içindedir.

Üst su katmanlarında, algler ve fotosentez yapan diğer yeşil bitkiler vardır. Bu bölge suyun havalandırılan, aerobik bölgesidir.

Dipte, ölü bitki artıklarının biriktiği ve su sirkülasyonu olmadığı için havasız, anaerobik bölge bulunmaktadır. Bu iki bölgenin arasında üstten yeterince ışık alan, ancak havasız bir bölge vardır ki burada anaerobik fotosentetik bakteriler, göl dibinde bulunan organik artıkları parçalayan anaerobik bakterilerin metabolizma ürünleri olan H<sub>2</sub>S, bütrik asit ve diğer yağ asitlerini fotosentezde elektron vericisi olarak kullanırlar ve böylece yeşil bitkiler için toksik olan bu bileşikler parçalanarak kaybolur. Böylece göl dibine inen organik artıklar parçalanırken oluşan toksik bileşikler üst katlarda bitkilere ve diğer canlılara ulaşmadan aradaki anaerobik fotosentez yapan bakteriler tarafından tutulur. Bu biyolojik denge bazen üst sularda yaşayan alg popülasyonunda aşırı bir artma sonucunda bozulur. Genellikle sudaki fosfor

miktarının azlığı alg popülasyonunu sınırlandıran en önemli etkidir. Herhangi bir nedenle suda fosfor konsantrasyonunun artması, alglerin aşırı üremelerine neden olur. Bu durumda göl dibinde biriken fazla miktardaki alg artıklarının anaerobik parçalanmasıyla oluşan toksik bileşiklerin miktarı, ara katmandaki fotosentetik anaerob bakterilerin tutamayacağı boyutlara ulaşır. Üst katlara ulaşan bu toksik bileşikler, buradaki balıklar da dahil olmak üzere canlı hayatı yok eder. Sularda ötrofikasyona neden olacak P konsantrasyonu için kritik seviye 0.01 ppm ve azot düzeyi ise 0.3 ppm dir .

Genellikle bir su kütleğinde ötrofikasyon aşağıdaki olaylarla gözlenir:

- Su organizmaları ve bitki kütleindeki artış,
- Organizma tipinde değişim, örneğin yeşil alglere ilaveten mavi-yeşil alg üremesi ve salmon balığı yerine daha kaba balık türlerinin çoğalması,
- Göl derinliği boyunca günlük oksijen derişimi ölçümlerinde maksimum, minimum değerler gözlenmesi,
- Suyun ışık geçirgenliğinin azalması ve renk artışı,
- Tabakalaşmanın olduğu dönemlerde derin bölgelerde oksijen derişiminin azalması,
- Çözünmüş N ve P derişiminde artış.

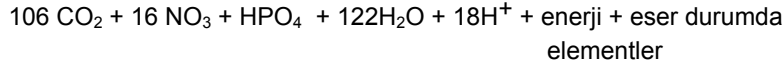
#### 5.7.1. Ötrofikasyona etki eden mikroorganizmalar

Doğal ekosistem yani kirlenmemiş ekosistem sürekli bir döngü halindedir ve bu döngüde 3 önemli grubun payı vardır:

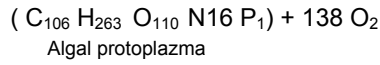
- **Üreticiler**, yada fotosentetik organizmalar, yani (bitkiler, alg ve fotosentetik bakteriler) ışık enerjisini kimyasal enerjiye çevirip, CO<sub>2</sub> ve çeşitli mineraller kullanıyorlar,
- **Tüketiciler**, bunlar herbivorlar ve karnivorlar dır,
- **Ayrıştırıcılar**, bunların en önemlisi bakterilerdir. Bakteriler, organik maddeyi inorganik bileşiklere çevirip, fotosentetik türler için besin maddelerini ortaya çıkarırlar.

Her ortamada mikroorganizmaların gelişmesi çeşitli faktörlerle kontrol edilmektedir. En önemlisi organizmalar için besin elde edebilirliği ve enerji sağlanmasıdır. Enerji yada besin kaynaklarında her türlü fiziksel yada kimyasal değişiklik, mikrobiyal popülasyonda değişikliğe neden olur. bu değişikliğin türü ve büyüklüğü ekosistemin bozulmasında etkidir. Stabil biyolojik topluluklarda

üreticiler ve tüketicilerin aktiviteleri arasında bir denge mevcuttur. Bu denge, organik materyalin aerobik indirgenmesi ile fotosentez (güneş enerjisinin kullanılmasıyla CO<sub>2</sub> i organik bileşiklere redükte etmek) arasındaki ilişkidir.



Fotosentez  $\longleftrightarrow$  Respirasyon



Fotosentez (oksijen üretimi) ile solunum (oksijen tüketimi) arasındaki ilişki bir denge koşulunda olmalıdır. Eğer F>S (Fotosentez > solunum) olursa bu durum fotosentetik türlerin artışı gösterir. Genellikle sudaki alglerin varlığı organik maddenin varlığını gösterir. Alglerin organik madde olarak parçalanması ise oksijen tüketimine neden olur, böyle bir durumda F<S dir.

Şüphesiz göller uygun hava koşulları altında katmanlı olabilirler. İlkbaharın ilk günlerinde bütün su kütlesi, maksimum yoğunluğa yakın sıcaklıkta olacak (4°C) ve rüzgar hareketinin sebep olduğu karışmaya gösterilen termal resistans az yada hiç olmayacaktır. Baharın ilerlemesiyle yüzey suları, karışma meydana gelebilmesinden dolayı daha hızlı ısınır. Derin göllerde yüzey suları daha sıcaktır ve yoğunluğu az olur. Katman oluşumu için termal direnç yükselir. Yazın, derin göllerdeki yoğunluğu az, üstteki sıcak tabakaya **epilimnion** ve yoğunluğu fazla alt soğuk tabakaya **hipolimnion** adı verilir. Sonbaharda **epilimnion** ısı kaybı nedeniyle daha soğuk olur ve yoğunluğuda **hipolimnion**'dan daha fazla olur. Soğuk su çökmeye başlar ve bütün göl alt üst olarak karışır. Sığ göllerde ısı üfiform bir şekilde azalır yada yükselir. Onun için yaz dönemlerinde bir katman oluşumu gözlenmez. Eğer bir göl katmanlıysa F ve S arasında özel bir ayırım olacaktır.

Algler epilimnion da fotosentezi meydana getirip ve öldüğü zaman hipolimnion da birikirler. Eğer aşırı miktarda fotosentez meydana gelirse yani, F>S ise bu durum hipolimnionda belirli bir periyotta anaerobik koşulları oluşturacaktır. Yaz dönemlerinde aşırı bir alg gelişmesi ile kirlilik, belirli bir zaman içerisinde yavaş da olsa oluşur. Sonbaharda alglerin ayrışmasıyla tekrar aşırı bir heteotrofik bakteri gelişimi ve oksijen tüketimi görülür.

Fallon ve Back, Mendota Gölünde mavi ve yeşil alglerin ayrışması üzerinde bir araştırma yapmışlar ve bu çalışmada bazı türlerin ayrışmaya diğerlerine göre daha dirençli olduğunu göstermişlerdir.

Nehirler açık sistemler olduğundan durumları göllerden farklı olup ötrofikasyona karşı koyma kabiliyeti, daha fazladır çözünmüş oksijeni ve redükte olmamış materyalleri de daha fazladır. Bu karakterleri denize ulaşana kadar da saklayabilirler.

Ötrofik nehirlerde ve göllerde bulunan mikroorganizmalar birbirinden farklıdır. Nehirlerde **Cladophora** çok çabuk gelişerek bir takım sorunların ortaya çıkmasına neden olur.

Çoğu suların iç kısımlarındaki algal artış, ortamda bulunan fosfor miktarı ile sınırlanır. Azot noksanlığı daha az kritiktir. Çünkü bazı mikroorganizmalar, özellikle belli bakteriler ve mavi-yeşil algler atmosferden azot fikse ederler. Michigan Gölünde yapılan bir çalışmada ortamda bulunan azotun % 50 sini atmosferden fikse edildiği saptanmıştır. Bu olayın başlıca sorumlusu olan mavi-yeşil alglerden **Aphanizomenon**dir.

Miller ve arkadaşları tarafından birçok göllerde yapılan bir çalışmada, 35 gölde gelişmeyi sınırlayan faktörün fosfat, 8 gölde azot ve 6 gölde diğer faktörler olduğu belirtilmiştir.

Ötrofikasyon hızını etkileyen faktörler, sadece fosfat ve azot değildir. Suyun ısısı, hem gelişme oranını ve solunumu hem de çözünmüş oksijenin miktarını etkiler.

Fotosentez oranı ışık enerjisine bağlıdır. Buda suyun bulanıklığına bağlıdır. Bulanıklığı az olan sularda, ışık daha derinlere nüfuz eder. Fotosentez ile karbon kaynaklarının verimlilik üzerindeki etkileri artırılmış ve CO<sub>2</sub> düzeyinin bir sınırlayıcı etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

Bütün bu faktörler etkili olabilir ama verimlilik üzerinde birincil etkili olan en önemli iki faktör fosfat ve azottur. Çeşitli fosfat ve azot kaynaklarından bu maddeler su yüzeyine girerler. Bu kaynakların bir kısmı doğal, bir kısmı ise insan tarafından oluşmuştur. Ötrofikasyon problemini tanıtmak ve kontrol etmek için iki esas kaynağı ayırtetmek gerekir. Bunlar yaygın ve noktasal kaynaklardır. Yaygın kaynaklar, yağış miktarı, drenaj, kuşlar, hayvan ve balıkların dışkısı ve yaprak döküntüleridir. Noktasal kaynaklar ise, insan tarafından meydana gelmiş bütün kaynaklar, yani endüstriyel ve tarımsal atıklardır.

#### **5.7.2. Azot ve fosforun su bünyesindeki değişimleri**

Hücrelerin yaşamı için gerekli olan fosfat, çeşitli organik formlara bağlı olan ortofosfat bileşikleri şeklinde organik dokuda bulunur. Bu bağların en önemli işlevi enerji transformasyonudur. Azot için biyokimyasal istek bilindiği

gibi aminoasit oluşumu içindir. Bunlar protein ve enzimlerin sentezi için gereklidir.

Azot ve fosfatın transformasyonunu 3 ayrı alana ayırabiliriz:

- Su bünyesine girme
- Su da metabolik reaksiyonlar
- Sistemden taşınma

Fosfat ve azot; yağmur suları, nehir ve çayların taşıdığı tarımsal ve kentsel atıklar ve mineral depozitlerden yeniden oluşum yolu ile sisteme girerler. Bu üç kaynağa ilave olarak, azot sisteme azot fiksasyonu ile girip denitrifikasyon yolu ile de çıkmaktadır. Sisteme giren azot ve fosfor bileşiklerinin sistemden çıkışına kadar geçen süreçlerin tamamı azot ve fosfor döngüsü olarak tanımlanmaktadır.

Ötrofikasyona neden olan en önemli organizmalar mikro alglerdir. Bu organizmaların fotosentetik kabiliyeti, sadece fosfat ve azot artışı ile orantılı olarak artmamaktadır. Ötrofikasyon da bir çok diğer faktörlerinde rolü vardır. Örneğin sıcaklık, ışık yoğunluğu, enerji sağlamak için kullanılan organik kimyasalların varlığı, kimyasal toksikler ve mikroherbivorlar veya zooplanktonların ortamdaki aktiviteleri bu işlevde rol oynamaktadır.

Ötrofikasyondan sorumlu olan mikro-algleri bazı taksonomik gruplar altında toplayabiliriz. Bunlardan en önemlisi **Cyanophyceae** ya da mavi-yeşil alglerdir. Mavi-yeşil algler terimi aslında yanlış bir adlandırmadır. Çünkü bu grup aslında fotosentetik pigmentler içeren bir prokaryot grubu olarak özelleşmiştir. Fotosentez tipi genellikle bakteriyal fotosentezden çok gerçek alglerde bulunana benzemektedir.

**Cyanophyceae**'nin bir çok türü olmasına rağmen, ötrofikasyon oluşturabilen yaklaşık yirmi tür dikkati çekmektedir. Barica adlı bir araştırmacı siğ göllerde alglerin geliştiğini, yoğun çiçekler meydana getirdiğini ve bunların oksijen yetersizliği nedeniyle biriktiğini ortaya koymuştur. Bu işlemler sonucu azot ve fosfatın serbest kalması ve algal bloom (alg patlaması) olayının meydana geldiğini ortaya koymuştur. Sonuçta bu şekilde **su çiçekleri** oluşmaktadır.

Su çiçeklerinin teşkil eden yetenekli türlerin, **Cyanophyceae**'in değişik grupları olduğu bilinmektedir. Hepsi de gaz vakulü olarak tanımlanan bir özelliği sahiptirler, ama bunlar arasında çok geniş bir tür olan **Synechococcus** istisnadır.

Gaz vakuller elektronik mikroskopla incelendiği zaman içiboş (çukur) membran görünmektedir, buna gaz vesikül (kesecik) denir. Bunlar birbirlerine

yiğindiği zaman bal peteği hücreleri gibi görünüm oluştururlar. Veskül duvarı çözülmez bir proteindir ve yaklaşık 2 atmosfer basınca karşı koyabilmek için, yapıya bir sertlik verir. Daha yüksek basınçlarda vesikül parçalanabilir.

**Anabeaena flos-aquae** ile yapılan ölçümler, gaz vaküllerin hacminin kültürün yaşı ile arttığını göstermektedir keseciklerin rolü batmazlığı sağlamak ve alge yüzme imkanını vermektir.

Dinsdale ve Walsby, A. Flos-aquae yüksek yoğunlukta bir ışığın ortasına yerleştirildiğinde, hücrenin hidrostatik basıncının arttığını ve gaz boşluğunun sönerek hücreyi daha az yoğunlukta aydınlatılmış bir bölgeye doğru batırdığını bulmuşlardır. Bir alg popülasyonunun su üzerinde yüzüp yüzmeyeceğine karar veren kritik faktör, popülasyonun yüksek ışık yoğunluklarına gösterdiği dirençtir. İkincil bir faktör olarak da, su da oluşan yüksek popülasyonlarda besin maddesinin tüketilmesidir. Şimdiye kadar açıklanmamış bir problem ise, su popülasyonlarından alınan birçok hücrenin zayıf görüldüğü ve laboratuvar koşulları altında çoğalmadıkları gerçeğidir.

Su üzerinde yüzme mekanizması, hücreye nötr bir yüzme yeteneği verir ve birçok gölde bulunan mavi-yeşil alglerin değişik katmanlarda çökelmelerinin nedenini açıklar. Bazı türler generatif hücrelerde gaz boşlukları oluşturur ve böyle bir durumda bu olayın rolü hücrenin yükselmesine, ebeveynlerden ayrılmasına ve yeni bir koloni kurmasına izin veren, bir ayrılma mekanizması oluşturmaktır. **Cyanophyceae**'nin gaz boşluklarının yapısı, fonksiyonu ve fizyolojisi Walsby tarafından araştırılmıştır.

Ortak birçok fizyolojik özellikleri olmasına rağmen, gaz boşluklarının popülasyon oluşturan mavi-yeşil algler arasındaki tek ortak yapısal özellik olarak karşımıza çıkar. Fitzgerald ve arkadaşları, 2,3 DNQ'nun (2,3 dikloro-1,4 naphthoquinone) alg patlaması oluşturan **Cyanophyceae** için seçici bir toksisiteye sahip olduğunu ve bu bileşiğin eklenmesinin beyazlaşmaya (ağarmaya) ve hücrelerin eriyip yok olmasına neden olduğunu belirtmektedirler. Ayrıca bunlar diğer alglere göre, bu tip popülasyonları kontrol etmede etkin olarak kullanılan bakır ve bakır sülfata karşı hassastırlar.

Birçok yazarın belirttiği gibi, organik azotun inorganik azottan daha yavaş alınması nedeniyle organik materyallerin rolünün belirgin olmamasına rağmen, birçok yazar alg popülasyonu oluşumu ile bir ay önce çözünen organik azot konsantrasyonu arasında bir korelasyon olduğunu söylemektedirler. Organik bileşikler, alglerin daha hızlı gelişmelerine neden olan metabolit veya vitamin kaynağı gibi davranabilirler; ya da müsülajlı (zamlı) bakterilerin gelişmesine izin vererek çözünmüş karbondioksit seviyesinin yükselmesine ve algal fotosentezin desteklenmesine neden olabilirler. Goldman ve arkadaşlarının, **Scenedesmus**'un gelişim oranı sınırlandıran faktörün

çözünmüş karbondioksit seviyesi olduğunu söylediklerini düşünürsek -ki **Scenedesmus'un Cyanophyceae'nin** bir üyesi olmamasına rağmen-, bu son faktör oldukça önemli olabilir. Organik materyalin tamponlayıcı etkisi olabileceği de bildirilmektedir.

Birçok populasyon oluşturan türün çevresel fosfat kaynaklarını tamamlamak için kullanılabilir çok büyük polifosfat rezervlerini akümüle edebilme yeteneği göz önünde tutulduğunda, bir alg populasyon yoğunluğunu fosfat seviyesiyle ilişkilendirme girişimlerinin oldukça karmaşık olduğu görülür. Shapiro, fosfat alımının mevcut anyonların konsantrasyonu ve tipi tarafından etkilendiğini belirtmektedir ve ayrıca bazı türler için gerekli optimum fosfat seviyeleri göz önünde tutulduğunda, alandaki gözlemlerle laboratuvar sonuçları arasında oldukça fazla uyumsuzluk olduğu görülmektedir.

Birçok **Cyanophyceae** azot fikse edilebilir ve bunun nedeni ise nitrojenaz enzimi sayesinde atmosferik azotu amonyağa çevirebilmeleridir. Bu şu anlama gelir: teorik olarak azot hiçbir zaman mavi-yeşil alglerin gelişim oranının sınırlandırıcı bir faktör olamaz. Nitrojenazın geniş bir özgüllük substratı vardır ve bazı bileşikleri indirgeme yeteneğindedir. Her türlü şart altında kullanılması mümkün olmamasına rağmen, normalde kullanılan tahlil metodu asetilenin indirgenmesidir. İlk oluşan kararlı son ürün amonyaktır ve kullanılan hidrojen vericisine bağlı olarak türler farklılık gösterir. Bazıları moleküller hidrojeni kullanırken, diğerleri organik bileşikleri kullanır. Her türlü durumda nitrojenin indirgenmesi enerji gerektirir. Nitrojenazın yapı ve fonksiyonu son zamanlarda Mortenson ve Thorneley tarafından araştırılmıştır; ve biyolojik azot fiksasyonu Shamugam ve arkadaşları ve Postgate tarafından incelenmiştir.

Bazı tek hücreli türlerin de bu reaksiyonu gerçekleştirmesine rağmen, en bilinen azot fikse eden **Cyanophyceae** formları heterokist olarak adlandırılan oldukça özelleşmiş hücreler içeren filamentli formlardır. Heterokistlerin işlevi hakkında belirli tartışmalar olmuştur; ancak günümüzde azot fiksasyonunun gerçekleştiği yer olarak kabul edilmektedir.

Birçok durumda **Cyanophyceae'nin** diğer türlere toksik olan kimyasallar ürettiği gözlenmiştir ve bir bakteri türü olan **Bacillus, Anabaena circinalis** tarafından sentezlenen koku üretici bir bileşik olan geosmini degrade etmekte kullanılmaktadır. Maksimum organik madde açığa çıkışı gelişimin lag fazı boyunca görülür ve hücrenin ölmesinden sonra görülmez. Tassignay ve Lefevre, **Aphanizomenon gracile** ve **Oscillatoria planctonica** populasyonlarının içinden alındığı suyun diğer alglerin gelişimini engelleyici olduğunu göstermişlerdir.

Bu alglerin diğerlerine olan toksisitesi hakkında çok iyi bir dökümantasyon hazırlanmamıştır; ancak **Cyanophyceae** üyelerinin birçok



ülkedeki insan ve evcil hayvan hastalıklarından sorumlu olduğu belirtmektedir. Çeşitli salgınlardan sorumlu organizmalar çoğunluk **Microcystis**, **Anabaena** ve **Aphanizomenon** türleridir. Gastro-enterit (mide ve bağırsak iltihabı) ve çeşitli alerjik durumlar su kaynaklarında alg populasyonların görülmesinden sonra ortaya çıkmıştır.

**Cyanophyceae** en çok rastlanılan olmasına rağmen, patlama oluşturan tek alg grubu değildir.

Belirli deniz **dinoflagellate**'leri algal populasyonların içinde gelişerek denizin kahverengi veya kırmızı bir renk almasına neden olurlar. Bu algal populasyonlar balıkların ve diğer türlerin ölümüne neden olabilir. Birçok kuşun ölümüne ve birçok insanın hastalanmasına neden olan 1968 yılında Northumbria kıyısının ölmesinden sorumlu olan organizma **Gonyaulax tamarensis**'ti. Kırmızı algal populasyonları oluşumuna neden olan koşullar Pingree ve arkadaşları tarafından araştırılmıştır.

Tuzlu sularda bulunan **Prymnesium** parvum krisofiti Hollanda, Danimarka ve İsrail'de birçok balık ölümüne neden olan bir toksin üretmektedir.

Tek hücreli bir kamçılı (flagellate) olan **Cryptomonas** ve zırlı dinoflagellate olan **Peridinium** ve **Ceratium** da algal populasyonlar oluşturur ve yüksek su bulanıklılığının **Cyanophyceae**'nin dışındaki kamçılı alglerin gelişimine destek verdiği belirtilmektedir. Diatomlar da (ancak mikroskopla görülebilen bir çeşit deniz algi) populasyonlar oluşturabilir ve diatom populasyonunu sudaki silis seviyesiyle ilişkilidir.

Yüzey suyunda bulunan alg tipleri mevcut kirliliğin indikatörü olarak kullanılabilir. Bakteri veya zooplankton gibi organizmaların ötesinde alglerin başlıca avantajları diğerlerine göre sayılmalarının ve tanımlanmalarının kolay olmasıdır. Palmer kirliliğe toleranslı alg türlerini belirten geniş bir liste oluşturmuştur ve bunlardan organik kirlilik derecesini belirlemede kullanılabilecek bir algal kirlilik indeksi meydana getirmiştir. Bu indekse göre en önemli gruplar sırasıyla yeşil algler, diatomlar, kamçılılar ve mavi-yeşil alglerdir.

Ötrofikasyon kontrolünün birkaç yolu vardır. En belirgin metot su sistemine giren azot ve fosfat miktarını kontrol etmektir. Bu konudaki literatür Foehrenbach tarafından incelenmiştir, ancak birçok durumda hem pratik açıdan hem de ekonomik olarak bu kimyasalların tamamen uzaklaştırılmasının gerçekçi olmadığı kabul edilmelidir.

Larsen ve arkadaşları Shagewa, (Minnesota) Gölüne dökülen fosfatın % 70'inin lağım sularının tersier yoluyla uzaklaştırılmasının, işlemin başlamasından 18 ay sonra bir iyileşme başlattığını bildirmektedirler.

Çeşitli atık tipleri üzerinde mikro alglerin gelişimi üzerine birkaç deney yapılmıştır ve bunlardan birinde algler çiftlik hayvanları için besin maddesi

olarak kullanılmıştır. Bu teknikte ortaya çıkan birkaç problemden biri alglerin yeterli büyüklükte bir ölçekte biçilmesi işidir. Santrifüj yöntemi çok karmaşıktır ve mikro-filtreler balçık oluşumuna neden olur. En iyi metodun kum filtreleri olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer problemler depo edilebilecek şekilde alglerin yeterince kurutulması ve halledilmesi gereken toksik metabolit problemidir.

Algleri kontrol etmek için algisitlerin (alg öldürücü kimyasal ilaçlar) kullanılması olayı Sladeckova ve Sladeczek tarafından araştırılmıştır. Bu yazarların ortaya koyduğu önemli bir nokta ise algisitin etkisinin çok şiddetli olması durumunda daha büyük bir probleme yol açabileceğidir. Eğer tüm algler aynı anda öldürülürse, çürüyen hücreler gölün onları okside edebilme kapasitesini aşabilir. Algisitlerin kullanımıyla ilgili başlıca problemler geniş hacimli su ve kümülatif algisitlerin diğer türler üzerine olası uzun vadeli etkileridir. **Cyanophyceae** familyasının populasyon patlamalarını kontrol etmekte kullanılan bakır sülfatın kullanımı uzun vadeli ekolojik sorunlara yol açabilir.

Oeterson ve arkadaşları, ötrofikasyonu kontrol etme maksadıyla akvatik makrofitlerin hasadı olasılığını araştırmışlardır. Gelişme mevsiminde uzaklaştırılan bitkilerin yaş ağırlığı oldukça fazla olmakla birlikte; gölün fosfor girdisi sadece yaklaşık % 1.4 oranında azaltılabilmektedir.

Birçok yazar tarafından bir olasılık olarak düşünülmesine rağmen, biyolojik kontrol sağlamak amacıyla alglerin doğal patojenlerinin kullanımı çok yaygın olarak uygulanmamaktadır.

**Cyanophyceae**'nin fungal patojenleri çoğunlukla, çok sınırlı sayıda konukçuları olan ve bazı durumlarda konukçul organizmalardaki tek bir spesifik yapıya bağımlı olan chytrid'lerdir.

Birçok zooplanktonun **Cyanophyceae** haricindeki alglerle beslenmeyi tercih etmesine rağmen (bunun nedeni bu grubun oluşturduğu toksik metabolitlerdir), fitoplanktonlar ile beslenen zooplanktonların etkisi oldukça fazladır.

Birkaç yazar mavi-yeşil algleri yok eden virüslerin varlığına işaret etmektedir. Morfolojik olarak bu virüsler bakterilere saldıran bakteriofajlara benzerlik gösterirler ve siyanofaj olarak isimlendirilirler. Siyanofajlar önemli derecede konukçuk özgüllüğü sergilerler ve **Cyanophyceae** populasyonlarının azalmasından sorumlu olabilecekleri söylenmektedir.

Mikro alglerin bakteriyal patojenleri de bilinmektedir; bu **Myxobacterales** olarak bilinen bir gruptur. Bu bakteriler alglerin vejetatif hücrelerinin erimesinde etken olurlar. Ancak spor hücreleri ve heterokistlerin bakteriyal çözülmeye dirençli olduğu gözlenmiştir.

Algal populasyonların biyolojik kontrolünde doğal patojenlerin kullanımı henüz başlangıç aşamasındadır. Populasyonları kontrol etmek için bu alanda virüs ve bakteriler kullanılarak çalışmalar devam etmektedir. Tercih edilecek patojenin bakteriyal türler olacağı olasıdır; çünkü bunların daha hızlı bir yok etme mekanizması vardır.

### **5.8. Su Kalitesi Parametreleri ve Kontrolü**

Su kalitesi kontrolünün yapılabilmesi ve buna bağlı standartların ortaya konabilmesi için, su kaynaklarının kullanım amaçlarının belirlenmesi gerekmektedir. Su kaynaklarının kullanım şekilleri şöyle özetlenebilir;

- Su yolu taşımacılığı,
- Enerji üretimi,
- Tarımsal amaçlar ile:
  - a. Sulama suyu,
  - b. İçme ve kullanma suyu temini,
- Su temini
  - a. Yerel yönetimlere kullanma suyu,
  - b. Sanayi kuruluşları için,
- Kullanılmış atık veya arıtılmış suların gideriminde alıcı ortam olarak:
  - a. Kentsel kanalizasyon suları,
  - b. Sanayi atık su deşarjları,
- Su ürünleri bakımından,

Su kalitesi ölçümleri için yapılacak çalışmalarda akarsularda ölçülmesi önerilen parametreler şunlardır:

- Akarsu debisi,
- Bulanıklık,
- pH,
- Sıcaklık,
- Elektriksel iletkenlik,
- Askıda katı maddeler (süspansiyon maddeler),

- Klorür,
- Biyolojik oksijen ihtiyacı ((BOİ(BOD)<sub>5</sub>),
- Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ),
- Toplam organik karbon (TOK),
- Çözünmüş oksijen (ÇO(D.0)),
- Fekal koliform sayısı,
- Azot formları (organik, amonyum, nitrat ve nitrit),
- Fosfor (toplam fosfor),
- Klorofil (fitoplanktonlar)

Bu parametrelerin dışında, akarsuyun belirli bir bölümü için bazı ölçümlerin ilavesi gerekebilir. Örneğin fenoller, ağır metaller, yağlar, renk ölçümleri veya sertlik ve gereksinilen diğer parametreler kontrol edilir.

#### **5.8.1. Örnek alma noktaları**

Kirlenici kaynakların konumu ve deşarj ağızları, örnek alma istasyonlarının sayısını ve yerlerini belirler. Örnek almak için uygun noktalar şunlardır:

- Nokta şeklindeki kaynaklarda (menba ve mansapta, yani su çıkış noktası ile suyun terk noktası),
- Su kalite parametrelerinin çok değiştii noktalarda,
- Ölçülecek parametreler için kritik noktalarda,
- Önemli debi değişim noktalarında,
- Kontrol kuruluşlarının bölge sınırlarında,
- Halk sağlığı bakımından hassas kullanma bölgelerinde,
- Gelecekte gelişme eğilimi olan bölgelerde.

#### **5.8.2. Örnek alma sıklığı**

Örnek alma sıklığını etkileyen iki temel faktör vardır:

- a. Su kalitesi sisteminin dinamiği,

- b. Elde edilecek sonuçların güvenilirliğinin istatistik olarak belirlenmesine imkan sağlanması.

Sularda örnek alma sıklığı aşağıdaki koşulları sağlayacak düzeyde seçilmelidir:

- Sistemde zamanla oluşacak davranışların belirlenmesini sağlamak,
- Parametrelerin zamanla değişmelerinin belirlenmesi,
- Bileşenlerin su ortamındaki tepki sürelerinin ve yarı ömürlerinin belirlenmesi,
- Mevsimsel ve olası değişimlerin saptanması,
- Farklı debi ve akış koşullarının etkisinin saptanması,
- Kısa süreli kirlenme olaylarının incelenmesi,
- Su yatağının tepkisinin boyutunun saptanması,
- Kirlenici girişlerindeki değişimlerin etkilerinin saptanması.

Su yatağının tepkisinin uzun olduğu göl gibi akvatik ortamlardan sık örnek almak gerekmez. Akarsularda ise tepki süresi kısa olduğundan sık örnek almak gerekir. Ayrıca ölçtüğümüz parametre değişken nitelikte ise daha sık örnekleme yapmak gerekir. Sularda ortaya çıkan şok etkilerin-örneğin balık ölümleri ve mikrobik kirlenme gibi-araştırılmasında daha sık örneklemeye gidilmelidir.

### 5.8.3. Parametre ölçümleri

Analizler ile bir ortamın özelliklerinin her hangi bir değişime meydan verilmeden tanımlanması, örnekleme kalitesi ve titizliği ile çok yakından ilgilidir. Çoğu hatalı deney sonuçları, hatalı örnek almaktan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle o ortamda bulunan koşulları gerçekçi bir şekilde temsil eden ve laboratuvara ulaşmadan önce özellikleri değişmeyen örnekler elde edilmesi gerekmektedir.

Fiziksel ve kimyasal analizlerin çoğu için 2 litre örnek yeterli olmaktadır. Aynı örnek üzerinde kimyasal ve mikrobiyolojik analizler birlikte yapılamaz. Örnek alımı ve saklanması ile ilgili bazı özellikler Çizelge 5.4, 5.5'de verilmiştir.

**Çizelge 5.4.** Su örneklerinin alınması ve analiz için saklanması

Ölçüm	Hacim (ml)	Numune Kabı	Korunma	Dayanma Süresi
lyodür	100	P,C	Soğutma 4°C	24 saat

<b>Azot</b>				
Amonyak	400	P,C	Soğutma 4°C H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH = 2	24 saat
Kjeldahl, Toplam	500	P,C	Soğutma 4°C H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH = 2	24 saat
Nitrat ve Nitrit	100	P,C	Soğutma 4°C H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH = 2	24 saat
Nitrat	100	P,C	Soğutma 4°C	24 saat
Nitrit	50	P,C	Soğutma 4 °C	48 saat
<b>Çözünmüş Oksijen</b>				
Prob	300	Yalnızca C, yerinde ölçüm		
Winkler	300	Yalnızca C, yerinde tesbit		4-8 saat
<b>Fosfor</b>				
Ortofosfat,	50	P,C	Yerinde süzme Soğutma 4°C	24 saat
Çözülmüş Hidrolize	50	P,C	Soğutma 4°C H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH = 2	24 saat
Toplam	50	P,C	Soğutma 4°C H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH = 2	24 saat
Silis	50	Yalnızca C	Soğutma 4°C	7 gün
Sülfat	50	P,C	Soğutma 4°C	7 gün
Sülfür	500	P,C	2 ml çinko asetat	24 saat
Sülfid	50	P,C	Yerinde ölçüm	
<b>ORGANİKLER</b>				
BOİ	1000	P,C	Soğutma 4°C	24 saat
KOI	50	P,C	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH = 2	7 gün
Yağlar	1000	Yalnızca C	Soğutma 4°C H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH = 2 HCl pH = 2	24 saat
Organik Karbon	25	P,C	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> veya HCl pH = 2	24 saat
Fenolikler	500	Yalnızca C	Soğutma 4°C H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , pH = 4 1.0 g CuSO <sub>4</sub> / l	

P= Plastik

C= Cam

**Çizelge 5.5.** Örnek alımı ve saklama tekniği

Ölçüm	Hacim (ml)	Numune Kabı	Korunma	Dayanma Süresi
<b>FİZİKSEL ÖZELLİKLER</b>				

Renk	50	P,C	Soğutma 4°C	24 saat
İletkenlik	100	P,C	Soğutma 4°C	24 saat
Sertlik	100	P,C	Soğutma 4°C	6 ay
Koku	200	Yalnızca C	Soğutma 4°C	24 saat
pH	25	P,C	Yerinde ölçme	6 saat
<b>Kalıntı</b>				
Süzülebilir	100	P,C	Soğutma 4 °C	7 gün
Süzülemez	100	P,C	Soğutma 4 °C	7 gün
Toplam	100	P,C	Soğutma 4 °C	7 gün
Uçucu	100	P,C	Soğutma 4 °C	7 gün
<b>Çökebilir</b>				
Madde	1000	P,C	Gerekmez	24 saat
Isı	1000	P,C	Yerinde ölçüm	
Bulanıklık	50	P,C	Soğutma 4°C	7 gün
<b>METALLER</b>				
Çözünmüş	200	P,C	Yerinde Süzme ve HNO <sub>3</sub> , pH= 2	6 ay
Askıda	200		Yerinde süzme	6 ay
Toplam	100	P,C	HNO <sub>3</sub> , pH= 2	6 ay
<b>Cıva</b>				
Çözünmüş	100	P,C	Yerinde süzme HNO <sub>3</sub> , pH= 2	38 gün ( cam )
Toplam	100	P,C	HNO <sub>3</sub> , pH= 2	38 gün (cam ) 13 gün (plastik)
<b>İNORGANİK AMETALİKLER</b>				
Asidite	100	P,C	Gereksiz	24 saat
Alkalinite	100	P,C	Soğutma 4°C	24 saat
Bromür	100	P,C	Soğutma 4°C	24 saat
Klorür	50	P,C	Gereksiz	7 gün
Serbest Klor	200	P,C	Yerinde ölçme	-
Siyanür	500	P,C	Soğutma 4°C NaOH, pH= 12	24 saat
Florür	300	P,C	Gereksiz	7 gün

P= Plastik  
C= Cam

### 5.8.3.1. Çözünmüş oksijen

Oksijen karasal ekosistemdeki canlı yaşam için olduğu kadar akvatik yaşamın devamlılığı içinde esastır. Sulardaki oksijen düzeyinin değişmesi metabolik süreçlere etki yaptığından, çözünmüş oksijenin değişmesi su kalitesini çok etkiler. Oksijen suda az çözünmesine rağmen su yaşamı için

temel nitelik taşıır. Sudaki oksijenin en büyük kaynağı atmosfer olup, havadaki oksijenin suda çözünmesi ile çözünmüş oksijen değerleri ortaya çıkar. Ortam sıcaklığı, suda çözünmüş tuzların derişimi ve atmosfer basıncı oksijenin sudaki çözünürlüğüne etki yapar. Normal sıcaklıklarda sulardaki maksimum doygunluk düzeyi 8-9 mg/l düzeyindedir. Suda çözünür oksijen ile atmosfer basıncı (veya yükseklik) arasındaki ilişki Çizelge 5.6.'da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.6.** Suda çözünmüş oksijenin yükseklik ile ilişkisi

Yükseklik (m)	Çözünür O <sub>2</sub> (mg/ l)
0	8.4
500	7.9
1000	7.4
1500	7.0
2000	6.6
2500	6.2
3000	5.8

Benzer atmosferik koşullardaki suyun oksijen çözünürlüğü sıcaklık artışı ile ters orantılıdır (Çizelge 5.7).

**Çizelge 5.7.** Bir atmosfer basıncında sıcaklığa bağlı çözünmüş oksijen değişimi

°C	mg/l	°C	mg/l	°C	mg/l
0	14.16	12	10.43	24	8.25
1	13.77	13	10.20	25	8.11
2	13.40	14	9.98	26	7.99
3	13.05	15	9.75	27	7.86
4	12.70	16	9.56	28	7.75
5	12.37	17	9.37	29	7.64
6	12.06	18	9.18	30	7.53
7	11.76	19	9.01	31	7.42
8	11.47	20	8.84	32	7.32
9	11.19	21	8.68	33	7.22
10	10.92	22	8.53	34	7.13
11	10.67	23	8.38	35	7.04

Suda O<sub>2</sub> çözünürlüğünü etkileyen bir diğer faktör sudaki klorür derişimidir. Klorür miktarı arttıkça doygunluk derişimi azalır (Çizelge 5.8).

**Çizelge 5.8.** Sudaki klorür miktarı ile doygunluk konsantrasyonu arasındaki ilişki

(°C)	Klorür derişimleri (g Cl <sup>-</sup> /m <sup>3</sup> )
------	---



	<b>0</b>	<b>5000</b>	<b>10000</b>	<b>15000</b>	<b>20000</b>
0	14.62	13.79	12.97	12.14	11.32
1	14.23	13.41	12.61	11.82	11.03
2	13.84	13.05	12.28	11.52	10.76
3	13.48	12.72	11.98	11.24	10.50
4	13.13	12.41	11.69	10.97	10.25
5	12.80	12.09	11.39	10.70	10.01
6	12.48	11.79	11.12	10.45	9.78
7	12.17	11.51	10.85	10.21	9.57
8	11.87	11.24	10.61	9.98	9.36
9	11.59	10.97	10.36	9.76	9.17
10	11.33	10.73	10.13	9.55	8.89
11	11.08	10.49	9.92	9.35	8.80
12	10.83	10.28	9.72	9.17	8.62
13	10.60	10.05	9.52	8.98	8.46
14	10.37	9.85	9.32	8.80	8.30
15	10.15	9.65	9.14	8.63	8.14
16	9.95	9.46	8.96	8.47	7.99
17	9.74	9.26	8.78	8.30	7.84
18	8.54	9.07	8.62	8.15	7.70
19	9.35	8.89	8.45	8.00	7.56
20	9.17	8.73	8.30	7.86	7.42
21	8.99	8.57	8.14	7.71	7.28
22	8.83	8.42	7.99	7.57	7.14
23	8.68	8.27	7.85	7.43	7.00
24	8.53	8.12	7.71	7.30	6.87
25	8.38	7.96	7.56	7.15	6.74
26	8.22	7.81	7.42	7.02	6.61
27	8.07	7.67	7.28	6.88	6.49
28	7.92	7.53	7.14	6.75	6.37
29	7.77	7.39	7.00	6.62	6.25
30	7.63	7.25	6.86	6.49	6.13

Sularda atmosfer oksijeninin difüzyon ve çözünmesi ile oluşan çözünmüş oksijenin yanında, suda yaşayan fitoplankton (alg)ların fotosentezleri de suya oksijen sağlar. Suda çözünmüş oksijen su canlılarının solunumu ve sulardaki ayrışabilir organik maddenin mineralizasyonu sırasında metabolik faaliyetlerde tüketilir. Bu işleve suların kendilerini arıtım süreci denmektedir. Su ve göllere antropojenik organik kirleticilerin katılması, bu organik maddelerin akvatik mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılmasını sağlayarak oksijen azalmasına sebep olur. Sudaki balık yaşamı için kiritik çözünmüş oksijen düzeyi

5.0 mg/l olup bu düzeyin altında arzu edilen normal gelişme olmaz, 1 mg/l değerinin altında ise uzun sürede öldürücü düzeye ulaşılır.

#### 5.8.3.1.1. Çözünmüş oksijen saptama yöntemleri

Sularda çözünmüş oksijen belirlenmesinde iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki **Winkler yöntemi**, ikincisi ise **Oksijenmetre** kullanılarak yapılan ölçümlerdir.

- **Winkler yöntemi**

Yöntemin esası, çözünmüş oksijenin alkali ortamda Mn (II) iyonları ile mangan hidroksitleri oluşturmasına dayanmaktadır. Oluşan çökelek veya tortu, asitlerle çözüldüğünde, Mn-hidroksitlere eşdeğer düzeyde Mn (III) iyonları oluşur. Bu iyonların sodyum tiosülfat ile reaksiyona sokulması ile başlangıçta bulunan çözünmüş oksijen miktarına eşdeğer düzeyde çözültide oluşmuş olan serbest iyot (başlangıçta çözültiye ilave edilensodyum hidroksit+potasyum iyodür çözültisi ile reaksiyonu sonucu) eşdeğer miktarda tiosülfat ile reaksiyona girer. Buna göre çözünmüş O<sub>2</sub> miktarı hesaplanır.

$$\text{Çözünmüş O}_2\text{Miktarı} = \frac{N/10 \text{ Na}_2 \text{ S}_2 \text{ O}_3 \times \text{Mx harcama} \times 8 \times 1000}{\text{Oksijen şişesinin hacmi} - 1} \text{ mg O}_2 / \text{l (ppm)}$$

- **Oksijenmetre ile ölçüm**

Oksijenmetre, oksijene duyarlı bir membran prob (elektrot) ve galvanometrik bir iskala içeren şasiden oluşmuştur. Şasi üzerinde ayrıca kalibrasyon, ayar ve sıcaklık ayarı düğmeleri bulunmaktadır. Çözünmüş oksijen saptanması için iki tür işlem yürütülür:

- Aletin kalibrasyonu
- Ölçüm

Sudaki çözünmüş oksijen düzeyi yükseklik ve çevre sıcaklığı ile ilgili olduğundan, bir barometre ile o andaki basınç durumu ve sıcaklık ölçülerek buna göre düzenlenmiş çizelgeden bölge basıncı ve sıcaklığa göre çözünmesi gereken O<sub>2</sub> düzeyi saptanır. Göstergeden ayarlanarak aletin kalibrasyonu yapılır. Daha sonra aletin probu örnek içine batırılarak gösterge sabit duruma geldiğinde çözünmüş oksijen okunan, değer ppm olarak saptanır.

### 5.8.3.2. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub> (BOD))

Oksijenin yeterli düzeyde bulunduğu aerob koşullarda, suya katılmış olan ayrışabilir organik maddelerin parçalanarak kararlı bir duruma geçmelerinde mikroorganizmalar tarafından gereksinilen oksijen miktarı BOİ olarak tanımlanır. Bakteri içeren fabrika atık suları ile kanalizasyon suları yeterli düzeyde O<sub>2</sub> içeriyorsa, ayrışabilen organik maddelerin aerob bozunması sudaki çözülmüş oksijen tükeninceye kadar devam eder. Burada kullanılan O<sub>2</sub> miktarı, biyokimyasal oksijen gereksinimidir. Bu deney aynı zamanda su örneğindeki organik madde miktarını gösterir.

Su ortamında yeterli düzeyde O<sub>2</sub> varsa, ayrışma ilk yedi günde hızlı olur ve 20. güne kadar geçen zamanda yavaş yavaş azalır. Pratik olarak ihtiyacın 20 günde tamamlandığı kabul edilmektedir, fakat endüstride BOİ (BOD) deneyi beş gün içinde yapılmakta ve beş günlük değer kullanma ve atık sular için toplam BOİ değerinin % 70-80'ine eşit olmaktadır.

BOİ deneyi yapıldığı sürece dışarıdan hava almamalıdır. Bu amaçla özel şişeler kullanılır (Şekil 5.6).

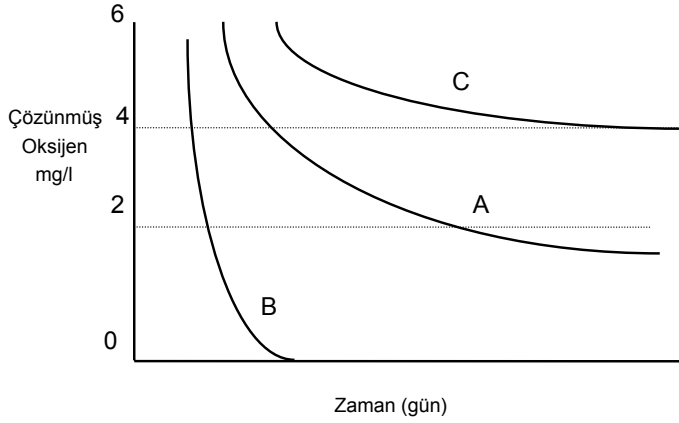
8 cm

**Şekil 5.6.** BOİ deneyinde kullanılan özel şişe

Deney karanlık koşullarda, 20 °C sıcaklıkta ve beş gün süreyle yapılır (termostatlı bir inkübatör kullanılması uygundur).

Eğer beş günlük deneyin her gününde oksijen ölçümleri yapılırsa Şekil 5.7'de görülen BOİ eğrileri elde edilir. Başlangıç çözülmüş oksijen değeri 8 mg/l olan bir örnekte beşinci günün sonunda çözülmüş oksijen değeri 2 mg/l

düzeyine inmişse, BOİ değeri 8-2 mg/l=6 mg/l'dir. Bu BOİ değeri şekildeki "A" eğrisi ile tanımlanır.



**Şekil 5.7.** BOİ deneyinde çözünmüş oksijen ile zaman ilişkisi

“B” örneğinde , suda biyolojik ayrışabilir organik madde miktarı fazla ve ayrışma hızlı ise, beş gün dolmadan önce çözünmüş oksijen düzeyi sıfıra iner. Bu durumda atık su örneğinin bilinen oranlarda seyreltilmesi gerekir. Böyle bir örnek analize seyreltilmeksizin alındığında beş gün sonra analiz yapıldığında  $BOİ=8-0 = \text{mg/l}$  hesaplanacaktır. Bu durumda organizmaların daha ne kadar fazla oksijeni gereksindiği bilinmeyecektir. C örneğinde ise, B'deki örneğin 1:10 seyreltildiği varsayılırsa:

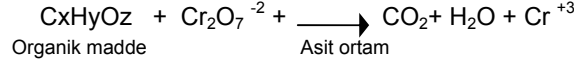
$$BOİ= 8 - 4 = 4 \text{ mg/l} \times 10 \text{ (seyreltme faktörü)} = 40 \text{ mg/l bulunacaktır.}$$

Kanalizasyon atık sularının BOİ değerleri 250 mg/l olup, pek çok endüstri atık suları ise 30 000 mg/l'ye kadar yüksek BOİ gösterebilmektedir.

### 5.8.3.3. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ (COD))

Kirli sularda bulunan organik maddelerin tümünün biyolojik olarak ayrışabilir nitelikli olmayışı, BOİ deneyinin uzun sürmesi gibi etkenler nedeniyle sulardaki organik atıkların oksidasyonunda gerekli oksijenin belirlenmesi için

kimyasal yöntemlerin uygulanması yönetime hız kazandırmaktadır. Bu deneyde ortamdaki organik maddelerin hepsi, asitlendirilmiş ortamdaki bikromat ile reaksiyona girip oksitlenirken, BOİ deneyinde yalnızca biyolojik olarak hızlı ayrışabilir organik fraksiyon söz konusudur.



Asitin, hidroliz sonrası, geriye kalanı aşırı bikromat (oksidasyonda kullanılmayan kısım) ayarlı demir amonyum sülfat çözeltisi ile geri titrasyon yapılarak saptanır ve bundan yararlanarak oksidasyonda kullanılan miktar hesaplanır.

BOİ ve KOİ değerlerinin her ikisi de atıkların arıtımı sırasında değişir. Arıtma sırasında biyolojik olarak okside olabilen maddeler azalırken, kimyasal olarak oksitlenebilen maddelerde değişiklik olmaz. Biyolojik olmayan maddeler arıtılmamış atıklarda bulunduğu KOİ/BOİ oranı, biyolojik ayrışır maddelerin kararlı yapıya ulaşmaları ile nisbi bir artış gösterir. Bu oran atıkların oksitlenebilirliği ve göreceli ayrışabilirliğinin tahmininde kullanılır. Küçük KOİ/BOİ oranları, atıkların içinde biyolojik olarak ayrışmayan fraksiyonun azlığını, büyük değerler ise çokluğunu gösterir. KOİ yönteminin yetersiz yönleri şunlardır:

- Bazı organik maddeler, örneğin düz zincirli organik asitler, alkoller ve aminoasitler bikromat ile kısmen oksitlenirler, bazı organik maddeler ise (benzen, piridin, toluen gibi) oksitlenmezler,
- $\text{S}^{-2}$ ,  $\text{SO}_3^{-2}$ ,  $\text{NO}_2^-$  ve  $\text{F}^{+2}$  gibi anorganik maddelerin oksitlenmesi sonucu, KOİ yüksek değerler gösterebilir,
- $\text{Cl}^-$  iyonu, bikromat ile reaksiyona girdiğinden, bunun önlenmesi gerekir. Bu amaçla civa sülfat ilavesi ile klorür iyonları çözünmeyen civa (II) klorür şekline dönüştürülür.

Hayvan atıkları ve bazı besin işleme endüstrisi atıkları yüksek düzeyde klorür içerir. Bu nedenle klorür düzeltme faktörü olarak, KOİ analizlerinde civa sülfat gerekmektedir. Benzen ve amonyak gibi bileşiklerin etkisi, bu test ile

ölçülememektedir, çünkü KOİ işlemi amonyağı oksitleyememektedir. BOİ ve KOİ analizleri farklı sonuçlar verirler. KOİ değeri her zaman BOİ değerinden büyüktür. İki değer arasındaki farklılıklar pek çok faktörler ilgilidir. Örneğin lignin gibi biyolojik ayrışmaya dirençli maddeler bu farkın oluşmasında etkindir. Kimyasal maddelerin bazıları, kimyasal olarak okside olabildikleri gibi biyolojik

olarakta oksitlenebilirler. Ancak BOİ testindeki 5 günlük reaksiyon süresi yetersizdir. Selüloz, uzun zincirli yağlar veya mikrobiyal hücreler ile atıklardaki zehirli maddeler, BOİ testi ile girişim oluşturmasına karşın KOİ belirlemede sorun oluşturmaz. KOİ belirlemesi, atıkların biyolojik okside edilebilirliği ölçümünde bir fikir vermemesine rağmen pratikte önemlidir.

#### 5.8.3.4. Toplam organik karbon (TOK)

Sudaki organik karbonun, özel bir yakma sistemi ile karbondiosite oksidasyonu yolu ile belirlenir. Karmaşık analiz işlemlerine gerek bırakmayan, az miktardaki örnekle çalışma sağlayan yeni bir yöntem olmasına karşın yaygın olarak kullanılmamaktadır. Çünkü bu yöntem için oldukça pahalı gereçler gerekmektedir. BOİ ve KOİ deneylerinden önemli düzeyde avantajlıdır.

#### 5.8.3.5. Bulanıklık

Işık girişinin engellendiği sular bulanık olarak tanımlanır. Özellikle içme suyu temini için yapılan arıtmada, bulanıklık büyük öneme sahiptir. Bu parametre estetik yönden olduğu kadar, ince kolloidal parçacıklarda adsorplanmış patojen organizmaların bulunmasından dolayı, sağlık bakımından da önemlidir. Bulanıklığın (türbitide) ölçümünde standart yöntem, **Jackson Candle** türbidimetresi ile ölçümdür. Bulanık su, özel yapılı, düz dipli ölçüm tüpüne doldurulur. Alt kısımda mum veya elektrikli bir ışık kaynağı bulunur. Işık görünmeyene kadar tüpe su doldurulur ve tüpteki su yüksekliği cm olarak ölçülür ve sonra standart bulanıklık birimi ile kıyaslanır (1 mg/l Si<sub>2</sub>O=1 bulanıklık birimi).

Son zamanlarda bu yöntem ışığın dağılımı veya geçirimini ölçen modern elektronik donanımlı gereçler ile daha mükemmel duruma getirilmiştir, ancak bunlarda da eski yöntemde olduğu gibi ve diğer ışık ölçümü yöntemlerinde de olduğu şekilde standartta karşı ayarlama gerekmektedir.

#### 5.8.3.6. Renk ve koku

Su arıtımında her iki özellikte önemlidir. bulanıklık gibi bu özellikler de suyun fiziksel parametreleri olarak tanımlanır. Renk ve koku estetik bakımdan önemlidir. Şeyet bir su kaynağı renkli veya kötü kokulu ise, halk sağlığı açısından bir zararı olmasa bile insanlar o su kaynağını kullanmaktan

kaçınacaklardır. Hem renk hemde koku alg veya hümik maddeler gibi organik maddeler nedeniyle ortaya çıkar.

Renk, standartlar ile kıyaslanarak ölçülür. Renkli su doğal ortamlardaki suyun rengine benzer olan potasyum platin klorür ve renk oluşumunu sağlayan kobalt klorürden yararlanarak elde edilir. Çok renkli endüstriyel atık sularda renk ölçümünün ise bir anlamı yoktur. Bu şekilde hazırlanmış standart seriler ile kıyaslanan su örneklerinin rengi platin klorür düzeyleri üzerinden birimlendirilir.

Koku ölçümleri ise, su örneğinin koku alınmayacak düzeye kadar yapılan ardışık seyreltmeleri ile saptanır. Bu test şüphesiz subjektif bir değerlendirmedir.

#### 5.8.3.7. pH

Bir çözeltinin pH düzeyi hidrojen iyon derişiminin ölçüsüdür. Bilindiği gibi suyun dissosiasyonundan oluşan hidrojen ve hidroksil iyonları konsantrasyonu çarpımı her zaman sabit olup  $10^{-14}$  'tür (bir mol suyun dissosiasyon çarpımı).

$$(H)^+ \times (OH)^- = K_W = 10^{-14}$$

Buradaki  $K_W$  suyun iyon (üretim) katsayısıdır. Şayet hidrojen iyon derişimi  $10^{-14}$  ise, hidroksil derişimi  $10^{-14} / 10^{-4} = 10^{-10}$  dur. Bu değer ilk değerden küçük olduğundan çözelti asit nitelikli olur. Pratik bir ifade olarak hidrojen iyon derişiminin negatif logaritması pH olarak değerlendirilmektedir:

$$pH = \log (H^+) = \log 1/(H^+)$$

pH ölçümleri hidrojen iyon derişimlerine duyarlı cam elektrotlu elektronik pH metre ile, olmadığında indikatör çözeltilerden veya indikatör kağıtlardan yararlanarak yapılır.

#### 5.8.3.8. Sudaki katı parçacıklar

Atık su arıtımındaki ana sorunlardan biri atık sudaki katı parçacıklardır. Toplam katılar, belirli miktarda su örneğinin 103 °C de kurutulması ve tartılması ile ölçülür. Toplam katılar iki fraksiyona ayrılır:

- Suda çözülmüş katı maddeler,
- Süspans katılar

Bu fraksiyonların ayrılarak tayin edilmesi Gooch (Guş) krozesi olarak tanımlanan porselen filtre kapları ile yapılır. Krozenin dibi delikli olup, burada bir cam fiber filtre bulunur. Örnek krozeyle doldurulduktan sonra vakumla emilir. Çözülmüş parçacıklar süzülürken süspans olanlar filtrede kalır. Kroze ve filtrenin başlangıçtaki kuru ağırlıkları bilindiğinden, filtre maddesi kurutulup tartılır ve ağırlık farkından mg/l olarak süspans maddeler saptanır.

#### 5.8.3.9. Azot

Azot biyolojik reaksiyonlardaki en önemli elementlerden biridir. Azot amino asitler ve aminler gibi yüksek enerjili bileşiklerde bağlı bulunur. Bu formdaki azot **organik azot** olarak tanımlanır. Bu maddelerin metabolizmasının ara ürünlerinden biri amonyaktır. Bu iki madde yeni bir kirlenmenin göstergesidir. Azot formlarının diğerleri nitrit ve nitrattır. Sularda yüksek nitrat ve daha düşük amonyak düzeyleri kirlenmenin bulunduğunu, fakat belirli bir zaman geçtiğini gösterir. Azot formları Kjeldahl yöntemi ile veya kolorimetrik yöntemle tayin edilebilir. Örneğin amonyak **Nessler** ( $K_2HgI_4$ ) çözeltisi ile sarı kahverengi bir kolloid oluşturur. Oluşan kolloid miktarı, örnekteki amonyum iyonları ile eşdeğer olduğundan Nessler tüpleri yardımı ile fotometrik olarak ölçülebilir.

#### 5.8.3.10. Fosfatlar

Atık sulardaki fosfatlar organik veya anorganik olabilir. Anorganik fosfor kaynağı deterjanlar ve ticari kimyasal gübreler iken, organik fosforun kaynağı ise besin-insan ve hayvan atıklarıdır. Doğadaki bütün fosfatlar biyolojik çevrim göstererek tekrar anorganik formlara çevrilirler. Sulardaki fosfor bileşikleri (toplam fosfatlar) örneğin asit çözeltisinde kaynatılması (hidroliz) ile anorganik formlara çevrilir ve spektrofotometrik olarak analiz edilebilirler.

#### 5.8.3.11. Biyolojik parametreler

İçme ve kullanma suyunun güvenirliliği belirlemek için, atıksuların işlendikten sonra çevreye bırakılmadan önce, standartları sağlayıp sağlamadığını kontrol etmek için bakteriyolojik testler yapılır. Sularda bulunabilecek tek veya çok hücreli patojen organizmaların miktarı bu testler ile belirlenir. En çok rastlanan patojen türleri **koli basili** ve **streptokoktur**.



Koliformlar üniversal indikatör organizmalardır. Ancak koliformların varlığı patojenlerin mutlak varlığını göstermez. Şayet ortamda çok sayıda koliform varsa, suyun sıcak kanlı canlıların dışkıları ile yeni kirletilmiş olduğu anlaşılır ve bu nedenle su, patojen organizmalar içerebilir. Koliformların ölçümünde üç yöntem vardır. En basit test, steril özel bir filtre ile (membran filtre) su örneğinin süzülerek koliformların tutulmasıdır. Bu filtre koliformların gelişmesine uygun agarlı besiyeri içeren plaklara yerleştirilerek inkübe edilir. 24 veya 48 saat sonra beliren parlak siyah noktaların miktarı (koliform kolonileri) sayılır.

İkinci yöntem, En Olası Sayı (EOS= MPN (most probable number)) yöntemidir. İstatistiksel olan bu yöntemde 100 ml su örneklerinden değişik hacimlerde kısımlar alınır (10, 1, 0.1., 0.01 ve 0.001 ml) ve her hacimden 5 test tüpü hazırlanır. Üzerlerine laktoz ilave edildikten sonra her tüp içine ters (başşağı) olacak şekilde birer tane Durham tüpü atılarak ana tüpler 35 °C de kuluçkaya bırakılır. 48 saat sonra gaz çıkışı olan tüplerde laktozun bakteriler tarafından fermente edildiği anlaşılır ve bunlar pozitif olarak işaretlenir. Pozitif sonuçların değişik kombinasyonları için önceden hazırlanmış olan % 95'lik güvenirlilik limitine karşılık gelen EOS veren çizelgeler yardımı ile bakteri derişimi bulunur.

Üçüncü yöntem ise, klasik varlık-yokluk testi olup hazırlanan besi yerine uygun seyreltmeler yapılarak ekim yapılır ve inkübasyon sonucu örnekte vardır veya yoktur denir. Seyreltme oranları bilindiği taktirde ve uygun besi yerinde miktar tahmini de yapılabilir.

### 5.9. Su Kirliliği Kontrolunda Teknolojik Yaklaşımlar ve Arıtma Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Pis suların arıtılmasında kullanılan yöntemler, fiziksel etkilerin önem taşıdığı **temel işlemler** ile kimyasal ve biyolojik kimyasal ve biyolojik reaksiyonların ağırlık taşıdığı **temel süreçler** olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Temel işlemlerde pis suyun niteliği değişmez halbuki temel süreçlerde nitelik değişimi vardır.

- Bir arıtma tesisinde temel işlemlerin yer aldığı ünitelere örnek olarak ızgaralar, karıştırma, çökeltme, yumaklaştırma, yüzdürme, filtrasyon, kurutma, destilasyon, santrifüj, dondurma ve ters ozmoz üniteleri verilebilir.
- Temel süreçler ise kendi içinde **kimyasal temel süreçler** ve **biyolojik temel süreçler** olarak ikiye ayrılırlar. Kimyasal çökeltme, nötralizasyon, adsorpsiyon, dezenfeksiyon, kimyasal oksidasyon, kimyasal redüksiyon,

yakma, iyon değişimi ve elektrodializ birer kimyasal temel süreçtir. Biyolojik temel süreçler ise **aerobik**, **anaerobik**, **aerobik-anaerobik** (fakültatif) olarak üç grupta incelenirler.

#### 5.9.1. Temel işlemler

Pis surların arıtılmasında kullanılan temel işlemler; askıdaki maddelerin sudan ayrılmasını, ayrışabilen maddelerin ayrıştırılmasını ve ayrışmayan maddelerin sudan bazı özel yöntemlerle uzaklaştırılmasını sağlar. Bu amaçla uygulanan yöntemleri üç ana grupta toplamak mümkündür.

- Çökeltme havuzları (basit ve yumaklaşmalı keltme)
- Izgaralar ve filtreler
- Santrifüjler (genellikle çamur arıtmasında)

Bu temel işlemler pis sulardan ayrılması istenen askıdaki katı maddeye göre iki grupta incelenebilir:

- Askıdaki katı madde ayrışamaz ise, bu maddelerin suyun içinden alındıktan sonra özelliklerini değiştirmesi diye bir durum yoktur. Bu maddelerde arıtma verimi genelde yüksek bir derecededir. Buna karşın söz konusu maddelerin alındıktan sonra uzaklaştırılması problem yaratabilmektedir.
- Askıdaki katı madde biyolojik olarak ayrışabilen cinsten ise, bu maddelerin sudan alınması sonucunda elde edilen çamur, özelliklerini değiştirmeye başlar. Buradaki problem, çamurun genellikle çok yüksek olan su içeriğidir. Ayrıca, biyolojik olarak ayrışabilen maddeler bir aşamadan daha geçmelidir. Günümüzde bu aşama genellikle anaerobik ısıtmalı çürütme tanklarında gerçekteşir.

Doğru boyutlandırılmış ve uygun çalıştırılan çökeltme havuzlarında evsel pis su için BOİ giderme verimi % 30-35 arası değişir. Bu verim oldukça düşük olmasına rağmen ucuza elde edilir.

Çok yüksek verimli temel işlemlere örnek olarak destilasyon, dondurma ve ters ozmoz sayılabilir. Bunların verimleri % 90-95 arasındadır. Ancak çok yüksek işletme giderleri nedeniyle kullanımları sınırlıdır.

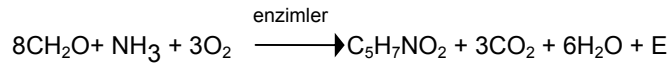
#### 5.9.2. Biyolojik temel süreçler

Genellikle biyolojik temel süreçler doğadaki oksidasyon süreçlerinin bir simülasyonu (benzeşimi) niteliğindedir. Ancak bu süreçler içindeki reaksiyonlar kontrollü olarak gerçekleştirilmekte ve reaksiyon hızlarının doğadakine oranla daha yüksek olmasına çaba gösterilmektedir. Doğa ile benzeşimi yapılan olaylar akarsudaki aerobik reaksiyonlar ve akarsu tabanındaki çökellerde (sedimentlerde) görülen aerobik, anaerobik, aerobik-anaerobik reaksiyonlardır.

#### 5.9.2.1. Aerobik süreçler

En yaygın şekilde uygulanan aerobik arıtma yöntemleri, aktif çamur sistemleri, damlatmalı filtreler ve aerobik stabilizasyon havuzlarıdır. Aktif çamur süreçleri genellikle büyük kentlerin pis sularının arıtımında kullanılmakta, damlatmalı filtreler ise daha küçük yerleşimlerin pis sularının ve biyolojik olarak ayrışabilen endüstri sularının arıtılmasında uygulama alanı bulmaktadır. Aerobik stabilizasyon havuzları ise büyük alan gereksinimi göstermekte ve bu yüzden arazi fiyatlarının ucuz olduğu yöreler de ve küçük yerleşimlerin pis sularının arıtılmasında ekonomik olmaktadır. Sayılan bu üç sürecin bekleme süreleri, oksijen gereksinimleri ve süreç sırasında oluşan biyolojik katı madde (mikroorganizma kütlesi) açısından farklılıkları olmakla beraber, her üçünde de temelde aynı biyokimyasal reaksiyonlar gerçekleşmektedir. Bu biyokimyasal reaksiyonlar iki aşamada gerçekleşirler. Sentez aşamasında, organik kirleticiler mikroorganizma kütlesine dönüşmektedir. Mikroorganizma kütlesi basit olarak  $C_5H_7NO_2$ , organik madde ise  $CH_2O$  formülleri ile tanımlanacak olursa, bunun üretimi, gerekli enzimlerin katkısı ile aşağıdaki reaksiyon sonucunda gerçekleşir.

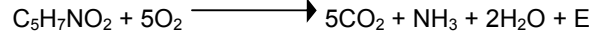
#### Biyokimyasal Sentez



Burada E reaksiyon sırasında tüketilen enerjiyi göstermektedir. Solunum aşamasında ise oluşan mikroorganizma kütlesi endojen respirasyon (iç solunum) ile azalma gösterir. Organik maddenin sadece sentez aşamasının kullanılması ile bile oldukça yüksek derecede bir pis su arıtması mümkün olmaktadır. Bunun nedeni, pis suda çözünür halde bulunan organik kirleticilerin

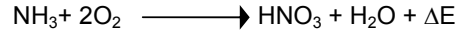
çökebilir biyolojik kütleye dönüşmesi ve çökeltme ile pis sudan ayrılabilmesidir. Bu aşamada arıtmaya etkili olan olay yalnızca biyokimyasal sentez olmamakta, giderme veriminde hücre zarına adsorpsiyon ve flokülasyon (yumaklaşma) da önemli bir rol oynamaktadır. Mikroorganizma kütlelerinin endojen respirasyonu aşağıdaki reaksiyon ile gösterilebilir.

### Biyokimyasal Solunum



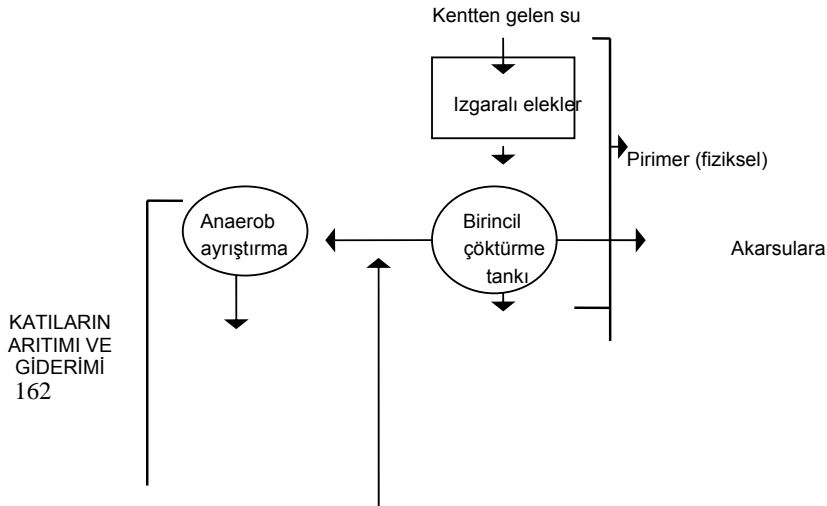
Bu reaksiyondaki tek amaç enerji üretimidir.

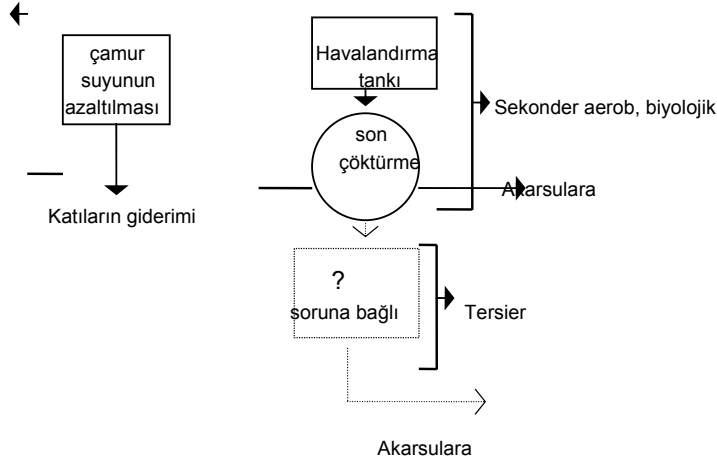
Endojen respirasyon sonucunda çıkan  $NH_3$  'ün oksidasyonu gerekiyorsa, süreç nitrifikasyon aşamasına uzatılır. Toksik maddeler ve pH'tan çok etkilenen nitrifikasyon organizmaları, sentez aşamasındaki karbonlu maddelerin oksitlenmesi için gerekli oksijenden daha fazla oksijen isterler. Söz konusu reaksiyon şu şekildedir.



#### 5.9.2.1.1. Aktif çamur süreci

Bu süreçte sentez aşaması dominant olan olgudur. Aktif çamur, sümüksü bir yapı içinde yerleşmiş çeşitli bakteri türlerinden ve aynı yapı içindeki protozoalardan oluşmaktadır. Aktif çamur sürecinde son çökeltme havuzunda toplanan çamurun sadece bir kısmı anaerobik çürütme tanklarına gönderilir. Diğer kısmı ise geri dönüş çamuru olarak sisteme döndürülmektedir (Şekil 5.8). Anaerobik çürütme tankına birim zamanda gönderilen çamur





**Şekil 5.8.** Atıksu arıtım tesisi şeması

miktarı, aynı süre içinde sistemde birim zamanda üretilen mikroorganizma kütlelerine eşittir. Geri dönüş çamuru, giriş suyuna karıştırılıp havalandırma havuzunda 2-6 saat havalandırılır.

Havalandırmadan çıkan su, son çöktürme havuzunda biyolojik kütleden arındırılır. Aktif çamur sürecinde arıtma verimini etkileyen faktörler şunlardır:

- Geri dönüş çamuru oranı,
- Havalandırma süresi,
- Havalandırma debisi.

Geri dönüş oranının yüksek olması sistem boyutlarını küçültmekte, tesisin işletilmesi güçleşmekte ve iyi yetiştirilmiş işletme personeline gereksinim duyulmaktadır. Aynı zamanda sistem performansının da sürekli olarak ölçüm ve kontrolü gerektirmektedir.

Tasarımı iyi yapılmış bir aktif çamur tesisinin BOİ arıtma verimi % 80-90 arasında değişmektedir. Daha yüksek arıtma verimlerinin elde edilmesi mümkünse de bu durumlarda gerek ilk yatırım ve gerekse de havalandırmada harcanacak enerjinin marjinal giderleri hızlı bir şekilde artmaktadır.

#### 5.9.2.1.2. Damlatmalı filtreler

Bu süreçler gerçekte, filtre olarak çalışmazlar. Bunlara biyolojik reaksiyon yatakları denmesi daha doğru bir yaklaşımdır. Damlatmalı filtre

genellikle kırık taşlardan meydana gelen yüksek geçirimli bir yataktan oluşmaktadır.

Günümüzde yatak malzemesi olarak plastik de kullanılmaktadır. Uygulamada zaman zaman taş kumürü hatta tahta bile görülmüştür. Plastik dolgu malzemesi hafif olduğundan ve daha büyük yüzey sağlayabileceğinden avantajlı olabilir. Damlatmalı filitrelerde pis su döner veya sabit fiskiyelerle filtre yüzeyine serpilmekte ve daha sonra filtre içinden taşların yüzeyinden sızarak aşağıya doğru akmaktadır. Filtrenin altında bir **alt drenaj sistemi** bulunur. Alt drenaj sisteminin görevi, filtre çıkış suyunu toplayıp uzaklaştırmak, havalandırmayı sağlamak ve filtre içinde sürekli olarak aerobik koşulların geçerliliğini korumaktır. Pis su içindeki organik kirleticiler, dolgu malzemesi yüzeyine yapışık olarak büyüyen ve **biyofilm** adı verilen yapı içinde bulunan mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılır. Biyofilm çeşitli katmanlardan oluşur. Dış katmanlarda organik madde mikroorganizmalar tarafından aerobik olarak ayrıştırılır ve yeni biyolojik kütle sentezi yapılır. Sentez sonucunda biyofilm kalınlaşacağı için, yüzeyden kazanılan oksijenin biyofilmin tüm derinliğine difüzyonla organik madde taşınımını sınırlandırmaktadır. Böylece dolgu malzemesi yüzeyine yakın bölgede yaşayan mikroorganizmalar endojen (iç solunum) faza girer ve yüzeye yapışma yeteneklerini kaybederler. Bunun sonucunda biyofilm dolgu malzemesi yüzeyinden, yukarıdan gelen pis suların neden olduğu hidrolik kayma gerilmesi sonucunda, koparak uzaklaşır. Yerine yeni biyofilm büyümeye başladığı için aynı süreç periyodik olarak tekrarlanmaktadır. Kopan biyofilm parçacıklarını tutabilmek için damlatmalı filtre çıkış suyu bir çökeltme havuzundan geçirilmelidir. Damlatmalı filtre yönteminde de yer yer geri dönüş uygulanmakla beraber bu işlem, aktif çamur tesislerindeki kadar önemli değildir. Bunun nedeni, süreçte yer alan aktif mikroorganizmaların büyük bir çoğunluğunun dolgu maddesi yüzeyinde yapışık halde bulunması ve aktif çamur havuzunda olduğu gibi biyolojik kademenin çıkış suyu içinde yüzer vaziyette olmamasıdır. Geri dönüş uygulandığı zaman bunun ana amacı, giriş suyunun seyreltilmesi ve çıkış suyunun bir defa daha reaktörden geçirilerek biyolojik arıtma veriminin artırılmasıdır.

Damlatmalı filtre sistemlerinde özellikle geri dönüş göz önüne alındığında çeşitli seçenekler ortaya çıkar. Bunlardan birine ait örnek Şekil 5.9 'da görülmektedir. Hatta bazı arıtma tesislerinde değişik işletme koşulları altında (kirlilik yükü, sıcaklık, kirletici tipi) değişik geri dönüş şekillerinin uygulanması söz konusu olmaktadır.

5 cm

**Şekil 5.9.** Damlatmalı filtre sistemi

Damlatmalı filtreleri karakterize eden iki parametre:

- Hidrolik yükleme hızı ,
- Organik yükleme hızıdır.

Hidrolik yükleme hızı birim zamanda (gün) filtrenin birim yüzeyine ( $m^2$ ) verilen pis su olarak tanımlanır ve biyofilmi kopartacak olan hidrolik kesme hızları açısından önemlidir. Organik yükleme hızı ise, filtrenin birim hacmine ( $m^3$ ) birim zamanda (gün) verilen BOİ miktarı olarak tanımlanmakta ve biyofilmdaki metabolizma hızını etkilemektedir.

Hidrolik ve organik yükleme hızlarına göre damlatmalı filtreler, düşük hızlı veya yüksek hızlı sistemler şeklinde ikiye ayrılabilir. Düşük hızlı bir damlatmalı filtrenin işletilmesi oldukça basittir. Biyofilmin içindeki mikroorganizma toplumu yüksek oranda nitrifikasyon bakterileri içerir. Bu yüzden düşük hızlı damlatmalı filtrelerin suyunda yüksek nitrit ( $NO_2^-$ ) ve nitrat ( $NO_3^-$ ) konsantrasyonlarına rastlanır. Düşük hızlı damlatmalı filtrelerde genellikle geri dönüş uygulanmaz. BOİ giderme verimi % 80 -85 arasında değişir. Bu filtrelerin olumsuz yanı özellikle sıcak mevsimlerde koku oluşumu ve sinek üremesidir.

Yüksek hızlı damlatmalı filtrelerin özelliği daha düşük arıtma verimi (%65 - 85) ve geri dönüş uygulamasıdır. Yüksek hızlı damlatmalı filtre sistemlerinde geri dönüş suyunun kontrolü, koku ve sineklerin önlenmesi ile süreç veriminin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Böylece yüksek hızlı filtrelerin işletilmesi daha karmaşık olmakta ve iyi sonuç elde edebilmek için iyi yetiştirilmiş işletme personeline gereksinim duyulmaktadır. Özetlemek gerekirse, damlatmalı filtrelerin olumlu yönleri, yüksek nitrifikasyon etkisi, oldukça düşük işletme ve bakım masrafları ve olağanüstü iklim koşulları altında

işletilme özellikleridir. Bu sistemlerin olumsuz yönleri ise koku ve sinek oluşumu, yüksek alan gereksinimi ve yüksek ilk yatırım masrafları olmaktadır.

### **5.9.2.1.3. Aerobik stabilizasyon havuzları**

Aerobik stabilizasyon havuzları sığ havuzlardır. buradaki arıtma süreci, ilke olarak geri dönüşsüz bir aktif çamur süreciyle eşdeğerdir. Aktif çamur süreciyle aerobik stabilizasyon arasındaki fark, ikincisinde mikroorganizma değişiminin düşük oluşudur. Bu süreçte oluşan biyolojik kütle daha yüksek bir mineralizasyon düzeyindedir. Oksijen temini, doğal olarak su yüzeyinde, alglerin fotosentezinden ve zaman zaman da yapay havalandırmadan sağlanır.

Aerobik havuzlarda veriminin yükseltilmesi için havuz içeriğinin sürekli olarak karıştırılıp, tabakalaşma ve bakteri çökmesinin önlenmesi gerekir. Burada BOİ giderme verimi çok yüksektir (%95). Ancak bu havuzların çıkış suyunda yüksek alg derişimleri görülmektedir. Bu alglerin giderilmemesi halinde sürecin çıkış suyu, alıcı ortam olarak kullanılan yüzeysel suya, arıtılmamış pis suya yakın derecede bir BOİ yükü getirebilir. Bu durumda alınabilecek önlem, havuzda oluşan alglerin toplanmasıdır. Aerobik stabilizasyon havuzlarının çıkış suları oldukça yüksek derişimlerde azot ve fosfor bileşikleri içerebilirler. Bu nütrientler alıcı ortamda ötrofikasyona ve dolayısıyla aşırı bir oksijen gereksinimine neden olabilirler.

Aerobik stabilizasyon havuzları için özet olarak, küçük kırsal yerleşim bölgeleri için popüler bir arıtma seçeneği olduğu söylenebilir. Bu tür bölgelerde arazi fiyatı düşüktür. Ayrıca stabilizasyon havuzlarının ilk yatırım ve işletme giderleri, diğer arıtım süreçlerine oranla düşük olmaktadır.

### **5.9.2.2. Aerobik-anaerobik (Fakültatif) süreçler**

Fakültatif havalandırılmalı havuzlarda suyun karışımı sağlanmaz. Bunun sonucunda mikroorganizmaların bir kısmı çökerek havuz dibinde anaerobik bir tabaka oluşturur. Böylece fakültatif havuzlar, aerobik üst tabaka ve anaerobik alt tabaka olmak üzere iki bölgeden meydana gelir. Aerobik üst tabakada algler ve aerobik bakteriler, anaerobik alt tabakada ise fakültatif ve mutlak anaerobik bakteriler bulunur. Fakültatif havuzlarda arıtmanın büyük yükünün fakültatif alt tabakada giderilmesi istenir. Ancak üstteki aerobik tabaka, arıtmaya belirli bir ölçüde katkıda bulunduğu gibi koku problemlerinin önlenmesinde de etkin olur.



BOİ giderme verimi aerobik stabilizasyon havuzlarda olduğu gibi % 95 derecesindedir. Bu tür havuzların avantajı, suyun karıştırılması gerekmeyeceği için enerji, ekipman ve iş gücünden tasarruf sağlamasıdır.

### 5.9.2.3. Anaerobik süreçler

Anaerobik süreçlerde organik madde serbest oksijen olmaksızın ayrıştırılır. Bu süreçlerin pis su arıtmasında en önemli uygulama alanları, aerobik ve biyolojik ünitelerden çıkan çamurların (biyolojik kütle) stabilizasyonu ve pis suların anaerobik olarak doğrudan arıtılmasıdır.

Anaerobik ayrışma iki aşamada gerçekleşir ve iki tür bakteri etkindir. Birinci aşamada organik maddeler organik asitlere dönüştürülür. İkinci aşamada ise organik asitler  $CH_4$  ve  $CO_2$ ' te dönüşür. İkinci aşamayı oluşturan bakteriler mutlak anaerobtur. Dolayısıyla bunların büyüme hızları çok yavaştır. Bunun sonucunda anaerobik süreçlerin bekleme süreleri çok yüksek olmaktadır. Tam karışimli bir anaerobik reaktörde bekleme süreci 10-30 gün arasında değişmektedir. Süreç sırasında oluşan  $CH_4$  gazı gerek ortamın ısıtılması ve gerekse reaktör tankının karıştırılması için ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlayabilmektedir. Anaerobik süreçler sonucunda oluşan ürünlerin (stabilize olmuş çamur), son uzaklaştırmadan önce suyunun alınması gereklidir. Suyun uzaklaştırılması için de kullanılacak temel işlemler, santrüfuj, filtre presleri ve arazide kurutmadır. Son yıllarda pis suların doğrudan anaerobik olarak ayrıştırılması giderek önem kazanmaktadır. Bunun nedeni anaerobik süreçlerin aerobik süreçlere kıyasla çok daha düşük olan enerji gereksinimidir.

### 5.9.3. Kimyasal temel süreçler

Kimyasal temel süreçler, pis suların arıtımında ilk olarak uygulanan yöntemlerdir. Daha sonraları, biyolojik temel süreçlerin gelişmesiyle bu yöntemler terk edilmiştir. Ancak son yıllarda kimyasal süreçlerin pis su arıtımında tekrar daha yaygın bir şekilde kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Özellikle biyolojik arıtma süreçleri içinde etkilenmeyen bileşenlerin kimyasal süreçlerle arıtılmasına çalışılmaktadır.

Kimyasal birim süreçlerin ortak özelliği, genellikle düşük yatırım giderleriyle, yüksek işletme giderlerine sahip olmalarıdır. Bu yüzden kimyasal süreçler, özel arıtma gerektiren pis sularda veya bu tip bir arıtmanın genel arıtma süreci içinde, çok kısa süre uygulanması gerektiğinde kullanılır.

### 5.9.3.1. Kimyasal çöktürme

Kimyasal çöktürme, pis sularda mevcut olan ve uzaklaştırılması istenen iyonların arıtılmasında kullanılır. Bu yöntemin en önemli uygulaması fosfor bileşiklerinin uzaklaştırılması olmaktadır. Bilindiği gibi fosfor alıcı ortamlarda ötrofikasyona neden olmaktadır. Kimyasal çöktürme ile fosfor gideriminde alüminyum ve demir tuzları ( $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$ ) ile sönmüş kireç ( $Ca(OH)_2$ ) kullanılmaktadır.

### 5.9.3.2. Koagülasyon

Koagülasyon, koloidal partiküllerin biraraya getirilerek çökebilir veya filtrelenebilir bir hale gelmesini sağlayan bir süreçtir. Kimyasal koagülantlar, partiküller arasındaki itici kuvvetlerin azaltılmasına yönelik etkileriyle bunların biraraya gelmesini ve yumaklar oluşturmalarını kolaylaştırırlar.

Pis suların ileri düzeyde arıtılmasında genellikle alüminyum ve demir (III) tuzları kullanılmaktadır. Koagülasyon süreçleri büyük molekül yapısına sahip polimerler aracılığıyla hızlandırılabilir.

### 5.9.3.3. Dezenfeksiyon

Gaz fazındaki klor, pis sulardaki patojen mikroorganizmaların zararsız hale getirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle klorlama işlemi arıtma tesislerinin çıkış suyuna uygulanmaktadır. Bunun nedeni klorun çok kuvvetli bir oksitleyici oluşu ve pis suda bulunan indirgenmiş nitelikteki tüm organik ve anorganik bileşikleri oksitleyebilme özelliğidir. Dolayısıyla arıtılmamış pis suların klorlanması, dezenfeksiyon için çok yüksek klor dozları gerektireceğinden, ekonomik olmamaktadır. Ancak, arıtma tesislerinin bulunmadığı ve pis suların alıcı ortamda halk sağlığı açısından sakıncalar yarattığı durumlarda yüksek dozajlı klorlama uygulanabilmektedir.

## 5.10. Planlayıcı Yaklaşımlar

Sıvı ve katı atıkların çevreye zararsız hale getirilebilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Atıksuların fiziksel, biyolojik ve kimyasal yöntemlerle arıtılması konusunda bazı bilgiler daha önce özetlenmiştir. Bu arıtma işlemlerinin ötesinde, arıtılmış suların kapalı devre olarak tekrar kullanılıp kullanılmayacağı etüd edilmelidir. Bu şekilde, bir yandan arıtılmış atıksuların

içerdiği kalan kirlilik unsurlarının alıcı ortamlara bir kirlilik yükü getirmesi önlenmiş olacağı gibi, su kaynaklarının niceliksel açıdan kısıtlı olduğu yerlerde arıtılmış atıksular sınırlı olan su arzını genişletmeye katkıda bulunabilir. Subtropik iklim kuşağında olan ülkemizin çeşitli yörelerinde bu yaklaşımın gelecekte ekonomik olacağı düşünülebilir. Kapalı devre kullanımların yanısıra, arıtılmış atıksuların tarımsal sulama, yeraltısu beslenmesi gibi amaçlarla tekrar değerlendirilmesi de uygulanabilecek yaklaşımlar arasındadır.

Yüzeysel ve yeraltı sularında kirlenmelere neden olabilecek katı artıklar için de çeşitli önleme yöntemleri geliştirilmiştir. Su kirliliği kontrolü açısından yapılacak çalışmalarda, su toplama havzalarında bulunan katı artık ve çöp depolama alanları da değerlendirilmelidir. Katı artık ve çöplerin zararsız hale getirilmesi ve önlenmesi için geliştirilmiş olan yöntemlerin başlıcaları;

- Arazide düzenli depolama,
- Kompostlama,
- Piroliz
- Yakmadır.

Yukarıda bahsedilen atıksular için belirtilenlere benzer şekilde, katı artık önlemleri de tamamen veya kısmen değerlendirmenin ve bu atıkların ekonomiye tekrar geri kazandırılmasının mümkün olup olmadığı de etüd edilmelidir.

Su kirliliğini önlemek için alınabilecek diğer bir önlem grubu, alıcı ortamların durumunun iyileştirilmesidir. Buna en tipik örnek, kurak dönemlerde debisi çok azalan ve seyreltme kapasitesini kaybeden akarsuların, memba kesimlerinde kurulan barajlarla debilerinin düzenlenmesi ve kritik kurak dönem akışlarının artırılmasıdır. Benzer şekilde, su değişim potansiyeli düşük olan koy ve körfezlerde alınabilecek bazı önlemlerle (örneğin akıntıları engelleyen bariyerlerin kaldırılması gibi) su sirkülasyonu arttırılarak kirleticilerin daha hızlı bir şekilde seyreltilmesi mümkün olabilir. Yeraltısu haznelerinin (aküferlerin) korunması için, yer altına geçirgen olmayan perdeler inşa edilmesi veya yapay besleme gibi yöntemler yaygın bir biçimde uygulanmaktadır.

Gelişmekte olan ekonomilerde, su kirliliği kontrolü uygulamalarında değerlendirilmesi gereken en önemli hususlardan biride alıcı su ortamlarının seyreltme ve doğal arıtma potansiyelidir. Kıt kaynaklarla ekonomik kalkınmasını gerçekleştirmeye çalışan ülkemizde, bu potansiyelin en iyi bir biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Yukarıdaki bölümlerde işaret edildiği gibi, oldukça yüksek ekonomik maliyetleri olan atıksu arıtım yöntemlerinin uygulanmasından önce, bu tesislerin alternatiflerinin olup olmadığı

incelenmelidir. Örneğin, açık deniz kıyılarında olduğu gibi, alıcı ortamların çok yüksek seyreltme kapasitesine sahip olduğu durumlarda, basit bir mekanik arıtma işleminden sonra, derin deniz deşarjları, uygun bir atıksu önleme yöntemi olabilir. Nitekim Ege ve Akdeniz kıyılarımızda pek çok beldemizin atıksuları bu şekilde uzaklaştırılmaktadır.

### **5.11. Türkiye'de Su Kirliliği Sorunları**

Büyük bir su potansiyeline sahip olan ülkemizde düzensiz kentleşme ve endüstrileşme sonucu su kirliliği hızla yayılma göstermektedir. Arıtma tesislerinin bulunmaması, çevre sağlığı görevini ve kontrollerini tamamiyle yüklenen bir organizasyon olmaması nedeniyle kirliliğin boyutları farkında olunamayan ciddi boyutlarda gelişme göstermektedir. Hemen belirtmek gerekir ki, su kaynaklarımızın ne kadarının doğal kriterler bakımından sağlıklı bir düzeyde olduğunu belirtmek zordur.

Su kirliliği alanında yapılan çalışmalar yetersiz ve dağınıktır. Bazı körfezlerimiz ile kirlenmenin yüksek düzeylerde olduğu bazı akarsu ve göllerimize ait yapılan çalışmalardan, buralardaki kirlenmenin düzeyi hakkında bilgiler edinilmiştir.

#### **5.11.1. Körfez ve denizlerimizdeki kirlenme düzeyi**

##### **a. İzmit Körfezi**

Çevresinde yoğun gelişme gösteren endüstri ve yerleşim alanının etkisinde kalan İzmit Körfezi 300 km<sup>2</sup> alanlı en derin noktasının 183 m olduğu, 48 km uzunluk ve 2-10 km genişliğinde bir körfezdir. Körfeze yaklaşık 120 civarında kuruluşun atıkları boşalmaktadır. Özellikle akıntının düşük olduğu doğu bölgesinde ve yerleşim ile endüstri kuruluşlarının sık olduğu kuzey sahillerinde kirlilik önemli düzeydedir. Sanayi kuruluşlarının atık sularında çeşitli maddeler, pH, BOI<sub>5</sub> (BOD<sub>5</sub>), KOI (KOD), renk, bulanıklık gibi tüm kirlilik kriterleri sınır değerleri aşmaktadır. Ayrıca Pirelli, Seka, Petrol Ofisi, İpraş, Petkim, Besin Sanayi, Süperfosfat Sanayi, Hereke Sümerbank Fabrikası, Bayer Tarım, Zirai Alet Fabrikaları ve Mezbağa gibi kuruluşların atık sularında koli bakterisinin izin verilenin üzerinde bulunması da çevre sağlığı açısından dikkat çekicidir.

Körfezin doğu kesiminde ve kuzey sahillerinde muhtelif kesitlerdeki analiz raporlarından özellikle sahile yakın kesimlerde çözünmüş oksijenin balıkların yaşayamayacağı düzeye indiği, BOİ, KOİ ve koli bakterisi değerlerinin çok yüksek boyutlara ulaştığı görülmektedir. Kirlilik kıyılarda fazla, körfez

ortasına doğru daha azdır. Bölgenin güney tarafında önemli kirletici kaynakların bulunmamasına karşın, doğudan dökülen derelerin etkisi ile taban yükselmesi ve belirli düzeyde organik kirlilik görülmektedir. Rüzgarla yayılan yağ ve benzeri yüzücü atıklar geniş bir yüzey kaplamaktadırlar. Gölcük kanalizasyonları ve askeri tesisler nedeniyle körfezin güney sahillerinin en kirli bölümü Gölcük yöresidir.

#### **b. Gemlik Körfezi**

Gemlik ve yöresinin en önemli endüstriyel faaliyetinin zeytincilik ve sabunculuk olması nedeniyle kent içinde yağ ve sabun imal eden küçük kuruluşların, evsel atık sularına karışan kirli suları körfezi kirleten önemli kaynaklardır. Ayrıca suni ipek ve viskoz ürünleri fabrikası, azot sanayi ve diğer bazı küçük sanayi de kirliliği arttırmaktadırlar. Körfeze ortalama olarak yılda  $6.9 \times 10^6 \text{ m}^3$  atık su karışmaktadır. Yapılan analizlere göre körfez sularında BOİ ve KOİ ve askı madde değerleri oldukça yüksektir. Körfeze en fazla atık suyu suni ipek ve viskoz sanayi bırakmakta olup, bu şekilde meydana getirilen kirlilik 340 bin nüfusun oluşturacağı kirliliğe eşdeğer bulunmaktadır. Ağır metaller ve reaksiyon bakımından da kirlenmeler saptanmış bulunmaktadır. Normal deniz suyunda çinko miktarları 7-21 mg/l düzeyinde bulunurken, fabrikanın asit deşarj kanalları ile ortalama 2300 ppm dolaylarında çinko körfeze bırakılmaktadır. Körfezde saptanan ağır metal iyonlarının konsantrasyonları Çizelge 5.9 da görülmektedir.

**Çizelge 5.9.** Gemlik körfezinde saptanan ağır metal iyonları durumu

<b>Metal İyonları</b>	<b>Ortalama konsantrasyonları (mg/l)</b>
Çinko	59.0
Kadmiyum	0.33
Mangan	2.8
Bakır	19.0
Nikel	1.0
Kurşun	2.9

Çizelgenin incelenmesinden bazı metal iyonları yönünden çok yüksek düzeyde kirlenme dozlarına erişildiği görülmektedir. Zira balıklar için çinkonun toksisite sınırı 0.3 mg/l değerinden başlamaktadır. Bakır ve nikel gibi metal

iyonları çinkonun zehir etkisini artırıcı rol oynamaktadırlar. Bakırın toksisite sınırı oldukça düşüktür (0.14 mg/l). Buna karşın körfez sularında 19 ppm gibi çok yüksek bir bakır konsantrasyonu saptanmaktadır. Hassas balık türleri için kurşun 0.1-0.2 mg/l ile toksik etki göstermektedir. Unutulmaması gereken nokta, bu ağır metallerin canlı bünyesinde akümüle olması ve bunlardan yararlanan insanlar için de hayati tehlike arz eder hale gelmesidir.

Yine 1977 yılında yapılan saptamalara göre körfezin sularında çözülmüş oksijen konsantrasyonu Marmara Denizine oranla düşük bulunmuştur (Çizelge 5.10).

**Çizelge 5.10.** Gemlik körfezinde çözülmüş oksijen miktarının derinliğe göre dağılımı

Derinlik (m)	Çözülmüş oksijen miktarı (ppm)	
	Marmara Denizi	Gemlik Körfezi (üç istasyon ortalaması)
0.5	8.60	6.82
5.0	8.54	6.75
10.0	8.56	6.64
20.0	8.62	6.06

### c. Haliç

Kağıthane ve Alibey derelerinin birleştiği ağızdan Sarayburnuna kadar 7.5 km uzunluğunda olan Haliç'in en geniş yeri 750 m dir. Haliç sularının kirlenmesi ve Haliç'in dolmasında rol oynayan atık sularını iki grupta toplayabiliriz:

- Yerleşim yerlerinden gelen pis sular, kanalizasyon ve endüstri atık suları. Yapılan bir incelemeye göre İstanbul'da kanalizasyon, pis su ve endüstri atık sularının % 25 i Haliç'e dökülmektedir. Bunun günlük miktarı 30 000 m<sup>3</sup>'tür.
- Kısmen yerleşim yerlerinden ve büyük kısmı Alibey ve Kağıthane dereleri havzalarından gelen ve yağışlar ile oluşan yüzey suları.

Bu iki dere 192.4 ve 181.6 km<sup>2</sup> lik havzalara sahip olup, fazla miktarda sediment taşımaktadırlar. Bir yıl içinde Haliç'e taşınan sediment miktarı 93 510 m<sup>3</sup> olup bunun Haliç deniz tabanı olan 1.42 x 10<sup>6</sup> m<sup>2</sup> ye yayıldığı kabul edilirse

her yıl tabanın 6.6 cm yükselmesi gerektiği ortaya çıkar ki bu 10 yıllık ölçümler sonucu saptanmış ve tabanın yılda 10 cm yükseldiği saptanmıştır.

Her türlü endüstriyel, evsel artıklar ve erozyon nedeniyle, Haliç her geçen gün içinde dolmakta, su sirkülasyonunun bulunmayışı nedeniyle de dip kısmında kalın bir çamur tabakası bulunmaktadır. Organik maddenin fazlalığı yüzünden otifikasyon başlamış, serbest oksijen düzeyi asgariye düşmüş ve H<sub>2</sub>S oluşumu hızlanmıştır. Haliç'e doğrudan verilen veya dere suları ile gelen sabun fabrikalarının sodyum ve çinko tuzları, boya ve apre tesislerinin, madeni eşya fabrikalarının metal tuzları deniz canlılarının yaşamı üzerinde son derece zararlı olmaktadır. Asit, yağ, tuz kireçli maddeler, organik asitler, gliserin, soda, amonyak, katran, naftalin ve benzeri maddeler bütün su ürünleri üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Yapılan araştırmalara göre balıklar 1 mg/l düzeyinde deterjan içeren sulardan derhal uzaklaşmaktadırlar. Ençok zararı ise yumurtadan yeni çıkmış balıklar ile bunlara yem görevini yapan diğer küçük canlılar görmektedir. Marmara Denizinde, İstanbul çevresinde bazı mevkilerde yapılan ölçümlere göre deterjan düzeyinin 2.1 mg/l olduğu kesimler bulunmaktadır. Sulara ve oradan su canlılarına taşınan toksik elementlerden birisi de civa olup besin zincirinde ilerledikçe konsantrasyonu artmakta ve zehirlenmelere neden olmaktadır. Marmara Denizinde avlanılan balık ve midyelerde ortalama civa konsantrasyonu 0.4 ppm düzeyinde bulunmaktadır. Japonya'da bazı mevkilerdeki değerler çok yüksek olarak saptanmıştır (midyelerde 11.4-39.0 ppm, balıklarda 10.0-35.7 ppm). Besin maddelerinde Dünya Sağlık Teşkilatı'na göre kabul edilen en yüksek civa miktarı 0.05 ppm, ABD standartlarına göre 0.5 ppm dir.

Ege denizinde kirlenme araştırmaları, ağır metal iyonları ve pestisid kalıntıları analizleri kontrol edilerek yapılmıştır. Otuz kadar balık türünde yapılan analizlere göre 1972 yılı itibarıyla civa yönünden sularımızda önemli bir sorun olmadığı belirtilmektedir. Klorlu insektisidlerin kalıntı miktarları Dünya Sağlık Örgütü (WHO) nün tolerans limitlerinin altında kalmaktadır.

İzmir Körfezinde zaman zaman görülen **kırmızı su çiçeklenmesi** (Red Tides) önemli bir kirlilik göstergesidir. Körfeze gün geçtikçe artan şekilde gelen kentsel atık suları ve beraberlerinde getirdikleri fazla miktardaki nitrat ve fosfat elementleri, su dinamiğinin hareketsiz veya çok az olduğu koy ve körfezlerde, özellikle sıcak mevsimlerde bazı bitki planktonlarının aşırı derecede çoğalmalara neden olurlar. Bu organizmaların fazla çoğalması, bulunduğu su ortamına, içindeki kırmızı pigmentlerden dolayı kırmızımsı bir görünüm verir. İzmir Körfezinde 1955 yılından beri Temmuz ve Ağustos aylarında devamlı olarak meydana gelen bu olay nedeni ile balıklarda kitle ölümleri görülmektedir. İzmir körfezinin ilk kirlilik nedeni Gediz Nehri iken, bunun yatağının

değiştirilmesinden sonra, artan sanayileşme ve şehirleşme, körfezdeki kirliliğin kaynakları olmuştur.

Akdeniz sahillerinde de avlanılan değişik türden 234 balık üzerinde yapılan pestisid kalıntı analizlerine göre; DDT türevleri 0.100-0.147; BNC izomerleri 0.104-0.150; aldrin 0.022-0.039; endrin 0.015-0.0244; dieldrin 0.013-0.048 ppm değerlerinde ölçülmüştür. En yüksek değerler Alanya ve Silifke kesimlerinde avlanılan balıklarda saptanmıştır.

### **5.11.2. Göllerdeki kirlilik**

#### **a. Sapanca Gölü**

Marmara bölgesinde 47 km<sup>2</sup> yüzey alanına sahip, en derin noktası 52 m olan sapanca gölü, çark suyu ile Sakarya Nehrine bağlanır. Gölden Adapazarı'nın içme suyu ve bazı endüstri kuruluşlarının su ihtiyacı ile yöre tarım alanlarının sulama suyu sağlanmaktadır. Sapanca gölünde nitrat dışında önemli bir kirlilik sorunu yoktur. Yalnız ölçme istasyonlarından birisinin çevresinde bulunan bir tesis deşarj kanalları ile kirlilik yaratmaktadır. BO<sub>5</sub> değerleri sınır olan 30 ppm i aşmaktadır. En büyük BO<sub>5</sub> değeri 801 ppm olarak saptanmıştır.

#### **b. Tuz Gölü**

Tuz Gölü 1620 km<sup>2</sup> yüzey alanına sahip, derinliği en fazla 5 m olan ve balık türünden canlı barındırmayan bir göldür. Binde 329 oranında tuz içermektedir. DSİ teşkilatının 1974 yılında tamamlamış olduğu Konya Ovası ana tahliye kanalı ovanın fazla sularını tuz gölüne boşaltmaktadır. Drenaj amacı ile inşa edilen bu kanala daha sonraları kentsel ve endüstriyel atık suları da bağlanmıştır. Böylelikle tuz gölüne bu kanalla atık suları taşınmaya başlanmıştır. Tuz üretimimizin yaklaşık % 30 unun sağlandığı tuz gölünde bu olaylardan sonra tuz üretimi kalite ve kantite yönünden düşmüştür. Henüz tam kontrol altına alınmayan bu olayda şimdilik sadece kirliliğin ne düzeyde olduğunun saptanması için çalışmalar planlanmış bulunmaktadır. Konya bölgesinde ana tahliye kanalı yoluyla kirlilik oluşturacak endüstriyel kuruluşlar içinde Alüminyum, deterjan, çimento, şeker, bakır, tuğla ve kiremit, deri işleme, tuz, yem ve krom kaplama tesisleri sayılabilir.

### **5.11.3. Akarsulardaki Kirlilik**

#### **a. Sakarya Nehri**



Toplam boyu 820 km ve drenaj havzası 58.200 km<sup>2</sup> olan Sakarya Nehrini kirleten önemli kaynaklar arasında Porsuk Çayı, Ankara Çayı, Sapanca Gölünün fazla sularının Sakarya Nehrine ulaştırılan ve Adapazarı'nın kullanılmış sularını alan Çark Suyu ve Adapazarı civarındaki diğer sanayi kuruluşları sayılabilir. Nehir üzerinde 6 istasyonda yapılan ölçümler farklılık göstermektedir.

Porsuk Çayı'nın Sakarya Nehrine karıştığı yerde, Kavuncu Köprüsü civarındaki 1 nolu istasyon ölçümleri belirgin bir kirlilik belirtisi göstermektedir. İçme suyu bakımından sert, alkalidir. Karbondioksit değeri de limit değer olan 6 ppm in üzerinde olup (15.3 ppm) tatlı su balıklarına zehir etkisi yapmaktadır. Amonyak ve buharlaştırma kalıntısı, bulanıklık, içme suyu limit değerlerinin çok üzerindedir. Sulama durumunda da iyi bir drenajın sağlanması gereklidir.

Karacaahmet mevkiindeki 2 nolu istasyonda ortalama BOİ<sub>5</sub> değerinin 3.5 a yükselmesi içme suyu bakımından organik kirliliğin başladığını göstermektedir. Sertlik, amonyak, nitrit, buharlaştırma kalıntısı gibi parametreler içme suyu kriterlerinin çok üzerinde olup, suda çözünmüş CO<sub>2</sub> düzeyi de balıklar için zararlı düzeydedir.

Botbaşı mevkiindeki 3 ve 4 nolu istasyon ölçümlerine göre ortalama BOİ<sub>5</sub> değeri bakımından organik kirlilik söz konusu değildir. Serbest karbon dioksit düzeyi yüksek, amonyak, nitrit, bulanıklık ve su sertliğinde ise içme suyu limitlerinin üzerinde değerler saptanmaktadır.

Adapazarı'nın kentsel ve endüstri atık sularını Sakarya'ya boşaltan Çark Suyunun organik kirliliği çok yüksek düzeydedir. Oksijen düzeyi zaman zaman 0 değerine yaklaşmaktadır. BOİ<sub>5</sub> değeri de 23-96 ppm arasında değişmektedir.

Doğançay üzerindeki 6 nolu istasyon ölçümleri nispeten daha temiz değerler taşımaktadır. Ancak toplam nitrat konsantrasyonu, içme suyu bakımından maksimum değer olan 45 ppm e yakındır. Bu arada koli sayımı zaman zaman 1000 koliform/100 ml sınırını aşmaktadır.

#### **b. Porsuk Çayı**

Ortalama debisi 10 m<sup>3</sup> /s, 488 km uzunluğunda olan Porsuk Çayı Sakarya'nın en uzun koludur. Bu çaya Eskişehir ve Kütahya'nın kentsel ve bazı sanayi kuruluşlarının endüstriyel atık suları karışmaktadır. Konu ile ilgili çalışmaları DSİ teşkilatı 1974-77 yılları arasında 9 istasyonda yapmış olduğu ölçümler ile yürütmüştür.

Kütahya azot fabrikası atık suları BOİ<sub>5</sub> bakımından atık sularda istenen 30 ppm limit değerinin üzerinde bulunmaktadır. Kütahya azot fabrikası atık

sularının özellikle amonyak ve nitrit yönünden arıtılması zorunludur. Zira ortalama kirletme etkileri açısından Su Ürünleri Tüzüğü'nde öngörülen sınır değerler amonyakta 155, nitratta ise 7 kat aşılmaktadır.

Eskişehir Sümerbank Tekstil Fabrikası sularında ise pH, BOİ<sub>5</sub>, askı maddeleri ve siyanür değerlerinin ortalamaları da limit değerleri aşmaktadır. Ayrıca oksijen % doygunluğu çok azalmakta ve BOİ değerleri artmaktadır.

### **c. Nilüfer Çayı**

Uludağ'ın güney yamaçlarından çıkan küçük akarsuların birleşmesiyle oluşan bu çay 1970 km<sup>2</sup> lik bir drenaj alanına sahiptir. Bu çayı kirleten nedenler, yöredeki endüstri atık suları ve Bursa kent atık sularının içeren kanalizasyon sistemidir. Çay'dan Bursa Ovasındaki tarım alanlarının sulanmasında yararlanılmaktadır. Kirlenme özellikle kent atık sularının bir kısmını taşıyan Gökdere'ye bağlanabilir. İçme suyu bakımından toplam demir, mangan, amonyak, nitrit ve bulanıklık limitleri aşmaktadır. Tofaş tesislerinin atık sularının Nilüfer Çayına karıştığı mevkideki istasyonda yapılan ölçümlere göre çözünmüş oksijen % 35-60 arasında bulunmaktadır. Bu değerler söz konusu atık suların kirlilik yükünün çok fazla olduğunu göstermektedir. Diğer bütün istasyonlarda yapılan ölçümlerde de çözünmüş oksijen (ÇO), bulanıklık, klorür, amonyak, nitrit, Fe, Mn değerlerinin çeşitli mevkilerde limit değerleri aştığını, fena kirlenmiş su sınıfına dahil edilebileceğini göstermektedir.

### **d. Simav Çayı**

Üzerinde bir baraj ve iki adet regülatörün yer aldığı Simav Çayı 1964.8 x10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>su/yıl potansiyelindedir. Kirletici unsurlar Bigadiç Boraks Maden İşletmeleridir.

Bor bilindiği gibi hem gerekli, hem de üst dozları toksik etkiye sahip bir iz elementtir. Gerekli ve aşırı dozu arasındaki sınır oldukça dar olup duyarlılık bitki türüne göre değişim göstermektedir. Bu değer duyarlı bitkilerde 1 ppm, yarı duyarlı bitkilerde 2 ppm, dayanıklı türlerde ise 4 ppm dir. Dört istasyonda yapılan bor analizlerine göre, işletmelere yakın olan istasyonlarda yapılan ölçümler de saptanan ortalama ve maksimum değerler dayanıklı bitkiler için bile toksik limitin üzerindedir.

### **e. Ankara Çayı**

Toplam havzası 3153 km<sup>2</sup> olan Ankara ayının debisi 1.70-3.44 m<sup>3</sup>/s değerleri arasında değişmektedir. Ankara nüfusunun ortalama % 90'ının evsel atık suları Ankara ayına verilmektedir.

