

SU VE KİRLLENMESİ

Turgut GÜNDÜZ*

Su, canlıların yaşamaları için gerekli olan maddelerin başında gelir. Bir insanın sadece biyolojik ihtiyaçları için günde yaklaşık 2 litre suya ihtiyacı vardır. Temizlik, yemek, ısınma gibi hususlar da dikkate alınınca, bu ihtiyaç günlük 300 litreye çıkar. Hele insanın endüstriyel ihtiyaçları da (giyinme, barınma gibi) düşünülürse, günlük kişi başına yaklaşık 3000 litreye ulaşır. Çünkü insan için üretilen her şeyin su olarak bir karşılığı vardır. Bunlara birkaç örnek şöyledir:

- 1 litre süt için 5 litre su
- 1 litre benzin veya gazyağı için 10 litre su
- 1 kilowatt saat elektrik için 80 litre su
- 1 kilo çelik için 300 litre su
- 1 kilo naylon için 12.000 litre su

Bunlar da gösteriyor ki, insanın pek çok suya ihtiyacı vardır.

Deniz ve okyanuslarda, toplam dünya yüzeyini yaklaşık 3 km kalınlığında (toplam $2 \cdot 10^{18}$ ton) bir tabakayla kaplayacak kadar su bulunmaktadır. Ancak, tuzlu olduğundan bundan yararlanma imkânları çok sınırlıdır. Bu suda % 3,6 kadar çözünmüş halde çeşitli tuzlar bulunur. Bunlardan en çok bulunanı NaCl olup konsantrasyonu % 3 kadardır. Bunun da % 1,9'u klor, % 1,1'i sodyum iyonudur. Buna göre deniz suyunda en çok bulunan iyon, klor iyonudur. Bundan başka deniz suyunda 60 kadar element bulunur. Bunlardan Mg % 0,13; radon ise $9 \cdot 10^{-5}$ mg/l'dir.

Yukarıda da söylendiği gibi yer yüzünde su pek çoktur. Ancak, içme suyu azdır. Mevcut içme suyu kaynakları da artan nüfus, hızla gelişen endüstri ve yok olan ormanlar nedeniyle günden güne ihtiyacı karşılamaktan uzak kalmaktadır. İçme suları, yer altı ve yer üstü kaynakları olmak üzere ikiye ayrılır. Yer altı suları, genellikle alınıp doğrudan içilebilen sulardır. Yer üstü suları ise nehir, dere, çay, göl ve baraj sularıdır. Bunlar genellikle kirlidir. Kirlilik dereceleri, daha çok geçtikleri ve üzerinde buldukları topraklara ve yakınlarında bulunan yerleşim birimlerine bağlıdır. Özellikle büyük yerleşim birimlerine yakın olanları önemli ölçüde kirlidir. Deniz suyu gibi, bunlar da alınıp doğrudan içilemezler. İçilebilmeleri için birtakım işlemlerden geçmeleri gerekir. Ancak, gene de bunlardan içilebilir su elde etme prosesleri, denizlerden içilebilir su elde etme proseslerinden daha çok gelişmiş ve ucuzdur.

Kirli su tarifi oldukça karışıktır. Su kirliliği söz konusu olduğu zaman, bazen saf su deyimini de kulla-

nılır. Saf deyimini, bu alanda, kimyaca saf anlamına gelmez. Sadece söz konusu suyun kullanılma amacına uygun olduğunu ifade eder. Örneğin saf su, içilebilir su demektir. Bilindiği gibi içilebilir su da öteki sular gibi birçok iyonlar ihtiva eder. Bunlar başlıca Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , SO_4^{-2} , SiO_3^{-2} , CO_3^{-2} , HCO_3^- , Cl^- 'dür. Ancak bunların içilebilir sulardaki konsantrasyonları çok düşüktür.

SU KİRLİTİCİLER

Su kirleticiler çok çeşitlidir. Ancak bu yazıda bunlardan sadece birkaç tanesinden söz edilecektir.

- 1) Organik kirleticiler
- 2) Salgın hastalıklara neden olan kirleticiler (mikroorganizmalar)
- 3) Bitkilerin anormal büyümesine neden olan kirleticiler.

ORGANİK KİRLİTİCİLER

Organik kirleticiler, sulara çözünmüş olan oksijeni tüketerek kirlenmeye sebep olurlar. Böyle maddeler daha çok antropojenik faaliyetler (ev atıkları, hayvan atıkları, gıda fabrikaları atıkları, kâğıt fabrikaları atıkları, mezbaaha atıkları, et paketleme atıkları, dericilik atıkları gibi) sonucu sulara karışırlar ve karıştıkları sular durgunsa bunların dibinde toplanırlar. Buna sedimantasyon denir. Sedimantasyonla çöken organik maddeler içinde inorganik maddeler de bulunur. Ancak inorganik sedimentler ayrı bir başlık altında daha sonra incelenecektir.

Organik ve inorganik maddelerin bir karışımı olan sedimentler, bakteriler ve öteki mikroorganizmalar için iyi bir ortamdır. Böyle bir ortamda mikroorganizmalar suda çözünmüş oksijeni de kullanarak sedimantasyondaki organik maddeleri parçalarlar ve onlardan su, karbondioksit, nitrat, sülfat ve fosfat meydana getirirler. Bu şekilde sedimentte bulunan organik maddelerin, suda çözünmüş halde bulunan oksijen yanında mikroorganizmalar tarafından parçalanmasına aerobik parçalanma denir. Aerobik parçalanma, çözünmüş halde bulunan oksijenin kullanılmasıyla olduğundan, sudaki çözünmüş oksijenin konsantrasyonu azalır. Bu azalma, su tarafından havadan oksijen emilerek karşılanmağa çalışılır. Ancak, sudaki sedimentte organik madde çok ise, birim hacimde üreyen bakteri sayısı da çok olacağından, havadan emilen oksijen, bakteriler tarafından kullanılan oksijeni karşılayamaz hale gelir ve söz konusu su birikintisinin oksijeni zamanla pratik olarak tükenir. Bu durumda aerobik bakteriler öür ve onların yerini bu defa anaerobik (oksijensiz yaşayan) bakteriler alır. Bunlar da sedimentteki organik maddeleri parçalamaya devam ederler. Ancak bunların organik maddeleri parçalamaları, aerobik bakterilerin parçalamalarından farklıdır. Bunların parçalamaya reaksiyonları, aerobik bakterilerin reaksiyonlarının tersine indirgeme reaksiyonları üzerinden yürür ve her iki şekilde parçalanan organik maddelerin parçalanma ürünleri birbirinden farklı olur. Bu farklılık Tablo 1'de verilmiştir. Anaerobik parçalanmaların olduğu

* Prof.Dr., Ankara Üniv. Fen Fak., Kimya Bölümü.

yerlerden çürük yumurta kokusunu andırır pis kokular gelir. Bu kokuların kaynağı başlıca aminler, kürtürlü bileşikler ve fosfindir.

Tablo-1. Organik maddelerin aerobik ve anaerobik parçalanmaları sonucu meydana gelen maddeler.

Aerobik (Yükseltgenme)	Anaerobik (İndirgenme)
C → CO ₂	C → CH ₄
N → NH ₃ + HNO ₃	N → NH ₃ + R → NH ₂
S → H ₂ SO ₄	S → H ₂ S + R → SH
P → H ₃ PO ₄	P → PH ₃

Akuatik bitki ve hayvanların yaşayabilmesi için, sulardaki oksijen konsantrasyonunun belirli bir düzeyde olması gerekir. Oksijen konsantrasyonu düşüklüğünden en çok omurgalılar (balıklar), ondan sonra omurgasızlar, en az da bakteriler etkilenir. Sıcak sularda canlıların, özellikle de balıkların yaşayabilmeleri için suyun litresinde asgari 5 mg (5 ppm konsantrasyonda), soğuk sudakiler için ise litrede asgari 6 mg (6 ppm) çözünmüş oksijene ihtiyaç vardır.

Sudaki doymuş oksijen konsantrasyonu, sıcaklığa ve basınca göre değişir. Deniz seviyesinde 20°C'da oksijenin sudaki doymuş konsantrasyonu 9,1 mg (9,1 ppm); aynı sıcaklıkta 1000 metre yükseklikte litrede 8,2 mg; 2000 metre yükseklikteyse litrede 7,4 mg'dir.

Bir su, bitki ve hayvanların yaşamasına (biyotaya) yetecek konsantrasyonda oksijen ihtiva etmiyorsa, DO (dissolved oxygen) değeri düşükse, bu suya kirlı su denir. Bir suyun yeterince oksijen ihtiva etmemesi, o suyun kirlı olduğuna işarettir. Kirlenmeye neden olan maddelerin büyük çoğunluğu yapılarında karbon ihtiva eder. Karbon, bakterilerin de yardımıyla oksijenle yükseltgenerek karbondioksit verir.



Buna göre 12 gram karbonu yükseltgemek için 32 gram oksijene ihtiyaç vardır. Bu da çözünmüş halde bulunan 3 mg (ppm) karbon için çözünmüş halde yaklaşık 9 mg(ppm) oksijen demektir. Çok küçük bir damla yağ yükseltgemek için oksijenle doymuş yaklaşık 5 litre suya (40-45 mg oksijene) ihtiyaç vardır. Bu da organik atıkların parçalanabilmesi için ne kadar çok oksijene ihtiyaç olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bir su numunesinin biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD), litrede mg sayısı olarak verilebildiği gibi, ppm olarak da verilir. İyi bir içme suyunun BOD değeri litrede 1 mg'dir. Bir suyun litresinin oksijen ihtiyacı 3 mg (3 ppm) olursa oldukça saf, 5 mg (5 ppm) olursa, saflığı şüphelidir. İşlem görmemiş atık suların BOD değeri 100-400 ppm arasında değişir. Gıda endüstrilerinden gelen atık suların ki ise 10.000 ppm'ye kadar yükselebilir.

Bir insanın günlük atıklarının BOD değeri birim kabul edilirse, çeşitli hayvanların günlük atıklarının-

ki Tablo 2'de gösterildiği gibidir. Buna göre bir ineğin kirleticilerinin BOD değeri yaklaşık 16 insanınkine bedeldir.

Buna göre evcil hayvan atıklarının günlük oksijen ihtiyaçları (BOD), insan atıklarınınkine göre çok fazladır. Bu rakamlardan da anlaşılacağı gibi, belirli bölgelerde çok büyük BOD ihtiyaçları ortaya çıkmaktadır. BOD ihtiyacı gereğinden fazla artınca aerobik aktivite (mikroorganizma) azalır ve onların yaşayamayacağı bir seviyeye gelince, anaerobik aktivite (mikroorganizma) başlar ve parçalanma anaerobik olarak devam eder.

Tablo-2. Çeşitli canlı atıklarının bir insanın atığına göre BOD değerleri

Canlı	Bir insanınkine göre BOD DEĞERLERİ
İnsan	1,0
At	11,3
İnek	16,4
Koyun	2,5
Tavuk	0,1

Bir suyun kalitesi çeşitli metotlarla tayin edilir. Bunlar başlıca şöyledir:

- Biyolojik metot (BOD)
- Kimyasal metot (COD)
- Toplam organik karbon (TOC)

Bir suyun BOD değerini tayin etmek için, su numunesinden 1 litrelik bir kısım alınır ve 20°C'da 5 gün inkübasyona bırakılır. Bu süre zarfında kullanılan oksijen miktarı hesaplanır. Ancak bu şekilde yapılan su kalitesi tayini, uzun zamana ihtiyaç gösterdiğinden ve ayrıca tekrarlanabilirlik derecesi de az (yaklaşık + % 20) olduğundan pek tercih edilmez.

Bunlardan biri olan kimyasal oksijen ihtiyacı (COD) tayininde, kalitesi tayin edilmek istenene sudaki organik maddeler sülfürik asitli bikromat çözeltisi ile yükseltgenir. Suyun kimyasal oksijen ihtiyacı, sarf olan ayarlı bikromat ve açığa çıkan CO₂'den tayin edilir. Bu metotla bir suyun kimyasal oksijen ihtiyacı, 3 saat gibi kısa bir zamanda tamamlanır. Bu metotla bulunan kimyasal oksijen ihtiyacı (COD), inkübasyon metoduyla bulunan biyokimyasal oksijen ihtiyacından (BOD) daha büyüktür. Bunun sebebi bazı organik maddelerin yükseltgen mikroorganizmalarla kısmen veya çok uzun zamanda parçalanmalarına karşılık, sülfürik asitli ortamda bikromatla kısa zamanda parçalanmalarıdır.

Toplam organik karbon analizi (TOC) metodunda sudaki organik madde katalitik olarak 900-1000°C'da yakılarak CO₂ haline getirilir ve açığa çıkan CO₂ enstrümental bir metotla tayin edilir. Bu analiz birkaç dakikada gerçekleştirilir. TOC metoduyla bulunan değerler BOD metoduyla bulunan değerlerden biraz düşüktür. Ancak gene de ona yakındır.

SALGIN HASTALIKLARA NEDEN OLAN KIRLETICILER: MIKROORGANİZMALAR

Su, patojenik (hastalık yapan) mikroorganizmalar için iyi bir taşıyıcıdır. Tifo, paratifo, kolera, dizanteri, çocuk felci (polio), sarılık (hepatit) gibi salgın hastalıkların mikropları sularla taşınır ve yayılır. Bu nedenle kullanılan suların kalitesinin sık sık kontrol edilmesi gerekir. Herhangi bir yerden şehir suyuna karışan lâğım suları kısa zamanda dağılır ve salgın hastalıkların meydana gelmesine sebep olur.

Şehir sularının kontrolü çok zor bir iş değildir. Çünkü böyle kontrollerde yukarıda sayılan salgın hastalıklara neden olan her patojen ayrı ayrı aranmaz. Onların yerine, onların varlığını gösteren indikatör bir bakteri olan koli bakterisi (basili) aranır. Koli bakterisinin tespiti oldukça kolay ve kesindir. Öteki bakterilerin aranması asgari 24 saat sürer ve bu süre içinde de bakteriler büyük ölçüde yayılmış olur.

Koli bakterileri insan sindirim sisteminde yaşar ve çoğalırlar. Bunların hastalık yapma özellikleri yoktur ve daima insan dışkılarında bulunurlar. Bir insandan her gün milyarlarca koli basilli lâğım sularına karışır. Bir suda koli basillinin bulunması, o suyun lâğım sularıyla kirlendiğini gösterir. Koli basillerinin doğal sularda yaşama ve çoğalma şansları hiç yoktur. Bunların sulara tespiti, lâğım sularının, şehir sularına ne kadar karıştığı hakkında da kaba bir fikir verir.

Burada bir hususun belirtilmesinde büyük yarar vardır. Lâğım sularındaki organik maddeleri parçalayan her bakteri sağlığa zararlı değildir. Bunlar insan ve hayvan sindirim sistemlerinde yaşayamazlar.

Bir ülkede şu şebekelerinin ve kanalizasyon sistemlerinin artması, o ülkede salgın hastalıkların ve salgın hastalıklardan ölenlerin sayılarının azalması anlamına gelir.

BITKİLERİN ANORMAL BÜYÜMESİNE NEDEN OLAN KIRLETICILER

Su bitkileri de dahil, bitkilerin, gelişmeleri için çeşitli elementlere ihtiyaçları vardır. Bu elementlerin sayısı 15-20 kadardır. Bunlar karbon, azot, fosfor, potasyum, kükürt ve bazı eser elementlerdir. Su bitkileri, bu elementleri sudan ve havadan alırlar. Bu elementlerce zengin sularda su bitkileri çok iyi yetişirler. Buna ötröfikasyon denir (bitkilerin anormal çoğalması). Ötröfikasyon, normal olarak kirlenmemiş doğal sularda da görülen bir olaydır. Antropojenik aktiviteler sulara başlangıçta bol miktarda besin girmesine sebep olur. Bunun sonucu bitkiler (akuatik ekosistem) daha iyi gelişir. Ancak bu gelişme bir yerden sonra zararlı olmağa başlar. Çünkü sulardaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu azalır. Bu da deniz hayvanlarının ölmelerine sebep olur. Bununla da kalmaz, böyle sulardan etrafa pis kokular yayılır.

Böyle bitkilerin aşırı derecede büyümeleri ve su canlılarına özellikle de balıklara zarar vermelerini önlemek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların temelinde bitkilerin yetişmesi için esas

olan elementlerden birinin konsantrasyonunu herhangi bir şekilde ayarlamak ve su bitkilerinin büyümelerini kontrol altına almak düşüncesi yatar. Ancak bugüne kadar yapılan çalışmalardan alınan sonuçlara göre, bitkilerin büyümeleri için gerekli olan ve kendilerine anahtar elementler denen fosfor, azot ve karbondan birinin konsantrasyonunu ayarlayarak, bitkilerin büyümelerini kontrol altına almak mümkün olamamıştır. Şöyle ki, bunlardan fosfor, zaten doğal sularda ve toprakta bulunan bir elementtir. Üstelik domestik atıklarla (ev ve fabrika atıkları) sulardaki konsantrasyonu günden güne artmaktadır. Buna çiftlik atıkları da eklenirse, fosfor kontrolünün ne kadar güç ve hatta imkânsız olduğu kolaylıkla anlaşılır. ABD'de yapılan araştırmalar, iç sularda bulunan fosforun yaklaşık % 80'inin antropojenik kaynaklardan geldiğini göstermiştir.

Bitkilerin ihtiyacı olan azotu da kontrol altına almak mümkün değildir. Çünkü yağmur ve kar sularıyla her yıl milyarlarca ton nitrat yer yüzüne inmektedir. Ayrıca fosil yakıtlardan azotlu bileşikler akıntılarıyla yer yüzü sularına karışır. Bunlardan başka bazı bitkiler, azotu doğrudan atmosferden de alabilmektedirler. Söylenenlerden de kolayca anlaşılacağı gibi sularda anormal deneye kadar gelişen bitkileri, azot ihtiyaçlarını ayarlayarak da kontrol altına almak mümkün değildir.

Bitkiler, karbonu havadaki karbondioksitten alırlar. Havadaki karbondioksiti kontrol etmek hiç mümkün değildir. Atmosferde her an çok büyük miktarlarda karbondioksit bulunur. Karbondioksit zaten atmosferin dört esas bileşeninden biridir. Atmosferdeki konsantrasyonu onbinde üç (% 0,032) kadar olup, bu da miktar olarak 2,7 trilyon tondur.

Bütün bu söylenenlere rağmen, bu elementlerden birinin konsantrasyonunun kontrol altına alınması hususundaki çalışmalar devam etmekte ve en çok fosfor üzerinde durulmaktadır. □

TÜBİTAK HÜSAMETTİN TUĞAÇ VAKFI ÖDÜLÜ DUYURUSU

Ülkemizde teknolojik yenilik getirme özelliği taşıyan, önemli araştırmalar yapan bilim adamı ve araştırmacılara her yıl "TÜBİTAK-HÜSAMETTİN TUĞAÇ ÖDÜLÜ" verilmektedir. Verilecek ödül miktarı, ödüle lâyık görülecek her araştırmacı için 5.000.000 (Beşmilyon) TL. olup, adaylık için en son başvurma tarihi 31 Ocak 1992'dir. Geniş Bilgi (TÜBİTAK-HÜSAMETTİN TUĞAÇ VAKFI, Atatürk Bulvarı, No: 221, Kavaklıdere-ANKARA) adresinden alınabilir.