

SUYUN BİYOLOJİK ARITIMI

Jean BEBIN

Havaların ısınmaya başlamasıyla birlikte, çevre kirliliği sorunları da yeni boyutlar kazanacaktır. Bu çerçevede, Sanayi ve tarım atıklarının da eklendiği, büyük kentlerin bir ırmak büyüklüğüne varan atık sularının arıtımı önemli bir sorundur. Yaklaşık yüzyıldır bilinen büyük çaplı yöntemler, suda yaşayan ve su kirliliğinin başlıca nedeni olan çeşitli organik bileşiklerle beslenen mikroorganizmaların yeteneklerinden yararlanıyor. Bu yöntemler, birçok geliştirme çabasından sonra, yine de kusursuz olmayıp, bazen çok da pahalıya gelirler. Günümüzde, biyoteknolojinin ilerlemesiyle, daha güvenilir ve daha ucuz arıtma sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Deterjanların fosfatları ve gübrelerin nitratları gibi mineral bileşikleri de "biyolojik yoldan azaltmak" ya da bunları insana yararlı ürünlere çeviren kimi mikroorganizmaları kullanarak "değerlendirmek" bile başarılabılır. İleride, belki sanayi alanında da, fabrika artığı tehlikeli kirleticileri işlemek için tasarlanmış özel bakteri türleri bulunup kullanılabilir.

Yeryüzündeki yaşam için zorunlu olan su, toplumların sanayi ve tarım alanında gelişmeleri için de temeldir. İnsanoğlu, varoluşundan beri, suyu belli yerlerde toplayarak su kaynaklarını artırmaya ve onu arıtarak niteliğini geliştirmeye çalışmıştır. Ayrıca, kullanılmış suları sağlığa zararlı kılma tasası da, tüm eski uygarlıkların gündeminde yer almıştır.

Ama devletler, gerçek bir halk sağlığını iyileştirme ve koruma politikasının zorunlu maddi desteğini, ancak 19. yüzyılda üstlenmişlerdir. Böylece, Avrupa ve Amerika'nın önce büyük başkentleri, sonra da büyük kentleri, iyi nitelikli kaynak suyu dağıtım ve kullanılmış suları toplama ağıları ile donatılmıştır.

O zamanlar, bu kirli dev su akıntıları toplanıp kentlerin dışına taşınıyor, sonra bir ırmağa boşaltılıyor ya da ekili alanları sulamak için kullanılıyordu. Böylece, "kirli suların işlenişi", doğal olarak, başka deyişle, akarsuların ya da toprağın kendi-temizleme yeteneğiyle yapılıyordu. Kendiliğinden-temizlenme sürecinde, kimi fiziko-kimyasal ve biyolojik olaylar görülür. suyun güncel arıtım yöntemleri de -en kusursuz olanlar bile- doğanın bize model olarak sunduğu bu ikili temizleme etkisinin geliştirilip arttırılmasına dayanıyor.

SU KİRLİLİĞİ NEDİR?

Su kirliliğinin mutlak bir tanımı yoktur; tasarla-



Eskiden, insanoğlu kullandığı suların akarsu akıntıları ile ya da ekilmiş toprakların sulanması ile temizleneceğine güvenirdi. Böylece, suların başlıca kirleticisi organik maddelerle beslenebilen mikroorganizmaları bulup kullanarak, ırmakların ve toprağın "kendiliğinden-temizlenme" doğal yeteneğini geliştirme yolunu tuttu. Fotoğrafta, kirlenmiş bir suya bakteriler karıştırılarak (A), suyun yavaş yavaş durulup saydamlaşması (B,C) ve oluşan biyokütlenin kabın dibinde çökmesi görülüyor. Günümüzde de, tüm temizleme yöntemleri, en çağdaş olanları bile, bu doğal yöntemi örnek alıyor.

nan kullanım alanına göre değişir. Su kirliliğinin önemli bir bölümü ise, insanın kullanımından ileri gelmez. Alkalik suyun, ırmak ve göl tabanlarını yıkaması sonucu kayaların ayrışması, derin su tuzluluğunu doğurur. Doğal su saf değildir; damıtılmış su ise, tüketime uygun değildir. Kuşkusuz, suyun doğal kirliliğine insan etkinliklerinin neden oldukları da eklenir: Gübrelerin nitratları, deterjanların fosfatları, insan ve hayvan dışkılarının karmaşık organik maddeleri, sanayinin organik ve mineral artıkları, tarım zararlılarına karşı kullanılan öldürücü ilaçlar...

Su kirliliğinin nedenleri, kirleticiler maddelerin durumuna [asıltı (süspansiyon) ya da çözelti maddeler], doğasına (organik ya da mineral maddeler) ve canlı organizmalar karşısındaki tepkisine (biyolojik yoldan azalabilen maddeler, eylemsiz maddeler ve zehirli maddeler) göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma, her kirleticili türüne uygun arıtma yöntemlerinin belirlenmesini sağlar. Kirliliğin karmaşıklığı nedeniyle, kirleticileri birbiri arkasından yok etmek için, bir dizi yöntem uygulanması gerekir. Asıltı maddeler, bir pıhtılaşma aşamasından sonra, çöktürme,

süzme, vb. gibi fiziksel yöntemlerle ayrılabilir. Eylemsiz ya da zehirli çözülmüş maddeler ise, oksitlenme, yüzürme (adsorpsiyon) vb. gibi kimyasal yöntemler uygulanabilir.

Kirliliğin önemli bir bölümünü de, biyolojik yoldan azalabilen organik maddeler oluşturur. Bunlardan kurtulmak için ise, biyolojik yol denen üçüncü bir yöntem vardır. Şimdiye dek kirliliğin, virüsler, bakteriler, maya mantarlar, algler, vb. gibi canlı nedenlerinden söz etmemiştik. Bunlar, çoğu kez dolaylı olarak, bazen kendi kendileri için de zararlı olurlar: Poliomyelit (omurilik iltihabı) ve hepatit (karaciğer iltihabı) virüsleri, tifo ve tifüs basilleri ya da kolera vibrasyonu gibi. Bunlardan başka, örneğin *Desulfovibrio desulfuricans* bakterileri, metal kanalizasyonları aşındırıcı bir asit üretirler; *Anabaena* ve *Oscillatoria* gibi algler de, akarsulara, içme suyunun tadını bozan organik bileşikler çıkarırlar. Sonuç olarak bu mikroorganizmalar kirliliğe karşı savaşta çoğu kez yararlı ve temel bir iş görürler: Koşulları iyi düzenlendiğinde, ortamla iyi uyum sağlayan ve biyolojik yoldan azalabilen kirlenmelerin zararına hızla üreyen bir maya oluştururlar. Bu mikroorganizmalar, tüm güncel biyolojik arıtım çalışmalarının temelidir. Olağanüstü uyum ve değişim (mutasyon) yetenekleri de, herhangi organik bileşikler, besleyici artıklar olarak kullanılmalarını sağlar. Hiçbir canlı varlığın dayanmadığı formol ya da siyanür kökenli bileşikler bile yok eden biyolojik temizleme gereçleri de vardır. Tanıtmaya çalıştığımız biyolojik arıtım yöntemlerinde kullanılan mikroorganizma kültürlerinin gelişip işlem yaptığı düzeneklere *biyoreaktörler* adı verilir.

BIYOLOJİK ARITIM YÖNTEMLERİ

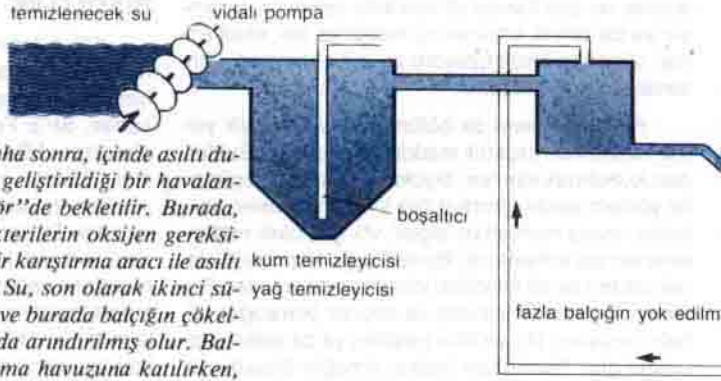
Kirli suların biyolojik arıtım yöntemleri nelerdir? Kendiliğinden temizlenme doğal olayını artırma ve hızlandırma araştırmalarında, 1880'li yıllarda başı çekenler, Sir E. Franklin gibi, İngiliz sağlık uzmanları olmuştur. J. Corbett'in 1893'de İngiltere'de uyguladığı, "bakteri yatağı" adı ile anılan geliştirilmiş ilk yöntem, topraktaki kendiliğinden-temizlenmeyi kopya eder. Doğadaki aerobik (oksijen tüketen) bakteriler, volkanik kaya, kok ya da silisli çakıl taşı kitleleri üzerine yerleşerek, onları 1-3 m. kalınlıkta bir katmanla kuşatırlar, temizlenecek su, bu katmanın oluklarından geçirilirse, bakterilerin solunumu için gereken havalandırma da sağlandığı gibi, katmanın altında biriken su da, organik kirlenmelerinden yaklaşık % 90 oranında kurtulmuş olur. Ancak, bu yöntemin sakıncası, biyolojik yoldan azalmayan asıltı maddelerin birikmesi sonucu, olukların tıkanmasıdır.

Bu yöntem, yerini yavaş yavaş "etkinleştirilmiş balçık" yöntemine bırakmıştır. Bu yüzyılın başında, yine İngiltere'de, E. Arden ve W. Lockett'in buldukları bu yöntem ise, daha çok ırmaklardaki kendiliğinden-temizlenmeyi kopya eder. Temizlenecek suyun sürekli olarak beslediği bir havuzda, bir araya gelecek topraklar biçimini alan ve böylece bir tür balçık oluşturan bir bakteri kültürü geliştirilir. Havalandırma bölümü denen bu havuz karıştırılarak ve havalandırılarak, bakteri topraklarının asıltı olarak kalmaları ve oksijen almaları sağlanır. Sonra, arınmış su ve bakteri toprakları karışımı, ikinci bir süzücü düzeneğe gönderilir. Burada toplanan balçığın bir bölümü, sistemin iyi işlemesi için gereken bakteri mik-



Bir kimya fabrikasının temizleme istasyonunu gösteren bu fotoğrafta, dairesel biçimli süzücü düzenekler ve dikdörtgen biçimli havalandırma havuzu görülmüyor.

"Etkinleştirilmiş balçık" yönteminin işleyişi: Su, ilk olarak, kumlarından ve yağlarından temizlenir; sonra, bir ilk süzücü düzenekte (Şekilde, ortada) asıltı (süspansiyon) maddelerinden (organik ya da mineral) arındırılır. Daha sonra, içinde asıltı durumunda serbest bir kültür bakterisinin geliştirildiği bir havalandırma havuzunda ya da "biyoreaktör"de bekletilir. Burada, bakteriler topaklar oluştururlar. Bakterilerin oksijen gereksinimini karşılamak için, bu topaktan bir karıştırma aracı ile asıltı durumunda tutularak havalandırılırlar. Su, son olarak ikinci süzücü düzeneğe geçer (Şekilde, sağda) ve burada balçığın çökeltmesi ile, bakterileri içeren balçıktan da arındırılmış olur. Balçığın bir bölümü yeniden havalandırma havuzuna katılırken, kalanı ise yok edilir.



tarını sağlamak üzere, yeniden havalandırma havuzuna katılır. Fazlası, öbür temizleme artıkları (özellikle, suyun havalandırma havuzuna gelmesinden önceki birinci süzücü düzenekte toplanan ilk asıltı maddeler) ile birlikte boşaltılır. Havalandırma havuzunun karıştırılması ve havuza oksijen verilmesi, ya dipten hava üflenmesi ile, ya da yüzey çarkları ile sağlanır.

Altmış yıllık kullanım ve geliştirilme ile kendini kanıtlamış olan etkinleştirilmiş balçık yönteminin de, teknik ve ekonomik sorunları vardır. Örneğin, biyolojik yoldan azaltılabilen kirleticilerin tüketimi hızlı olarak yapılamamaktadır. Temizlenecek suyun havalandırma havuzunda kalış süresi, sudaki artıkların derişimine, sıcaklığa, karıştırma ve havalandırma biçimine vb. 'ne göre değişir. Kullanılmış kent suları için iki saat ile yirmi dört saat arasında bir süre gerekirken, kirleticilerce çok derişik olan sanayi artığı suların temizlenmesi ise günlerce sürer. Öte yandan, balçığın çok yavaş çökmesi sonucu, uzun süre oksijensiz kalma tehlikesi ile karşılaşmadan, ikinci süzücü düzenekte ulaşılabilen etkin bakteri derişimi çok düşük olur. Dolayısıyla havalandırma havuzuna yeniden katılan balçık da düşük derişimli olur. Etkinleştirilmiş balçıkta çeşitli zararlı mikroorganizmaların bulunması ise, başka bir sorundur. Kimi sanayi artıklarında (süt sanayii, sebze ve meyve konserveçiliği, şeker sanayii vb.) bol miktarda bulunan şekerler de bu mikroorganizmaların gelişimini kolaylaştırır. Dokuma sanayii, çamaşırı ya da şişe temizlemeciliği artıklarında çok derişik olarak bulunan deterjanların ise, bakteri topakları, yeniden dağıtarak onların çökmesini önlediğini de ekleyelim. Son olarak, çökeldikten sonra, havalandırma havuzuna yeniden katılmayan balçığın oluşturduğu büyük biyolojik kütleden mutlaka kurtulmak gerekir. Bu biyolojik kütlenin susuzlaştırma ve kokusuzlaştırma aygıtlarında işlenmesi, bu pahalı arıtım yönteminin maliyetinin % 60'ını tutmaktadır. Ayrıca, arıtım tesislerinde yer alacak çok büyük yapılar da çok pahalıya çıkmaktadır. Örneğin, büyük hacimli havalandırma

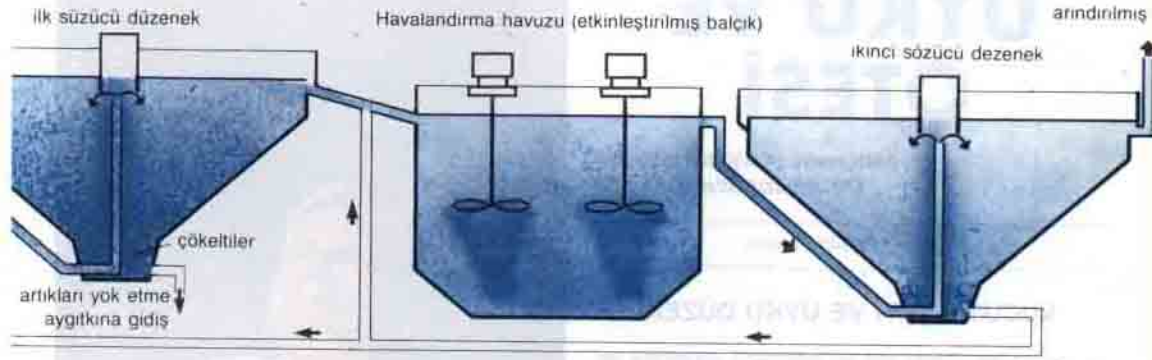
havuzlarının düzenlenmesi, balçık topaklarını sistemden otomatik olarak çıkarabilen süzücü düzeneklerin yapımı, havuza hava verme ve balçığı karıştırma işlemlerini çok düzenli olarak yapabilen düzeneklerin gerçekleştirilmesi vb. Çok enerji harcayan pompa motorları ve havalandırıcıların neden olduğu işletim giderlerini de unutmayalım.

YENİ ARITIM TEKNİKLERİ

Yukarıda açıkladığımız sakıncalar, daha derli toplu ve daha ekonomik yeni arıtım tekniklerinin araştırılmasına yol açmıştır. Arıtma tesislerinin boyutları nasıl küçültülebilir; çok fazla olan balçık üretimi nasıl azaltılabilir; bakteri kültürlerine oksijen sağlama işleminin çok enerji harcaması zorluğundan nasıl kurtulunabilir; organik kirletici maddeleri yok etmek yerine, onlardan yararlanılabilir mi; vb. gibi birçok soruna çözüm aranmaktadır. Bu araştırmaların tümünün başanya ulaşabilmesi biyokimya biyoloji, sanayi mikrobiyolojisi gibi bilim dallarındaki büyük ilerlemelerin yardımı ile olacaktır.

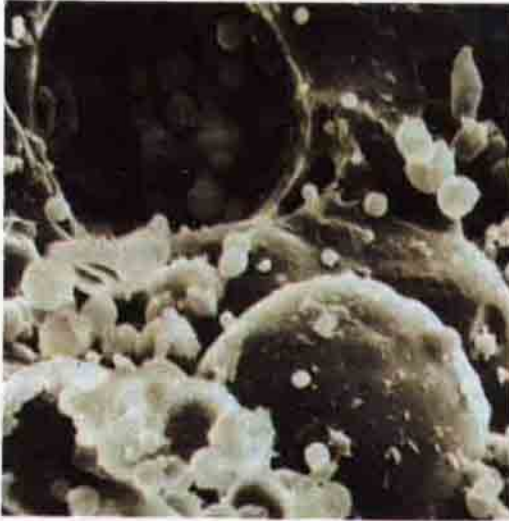
Şimdiye dek açıklamaya çalıştığımız su arıtım yöntemlerindeki, aerobik bakteri kültür ortamlarına oksijen sağlama ile ilgili teknik ve ekonomik sorunlarla karşılaşmamak için, kirli su çukurlarının (fosse septique) da ilkesi olan anaerobik (oksijen kullanmayan) mikroorganizmalardan yararlanılabilir. Bakteri biyokimyasındaki son gelişmelerle yeniden gündeme gelen bu imkân, 1980'den beri arıtım tekniklerini çok değiştirmiştir. Bu "anaerobik yöntem", enerji tasarrufu ve artık biyolojik kütlenin azalmasını sağladığından (burada ele almayacağımız biyokimya olayları yardımı ile) başka, metan (CH₄) da üretir. Elde edilen metan ise, antılarak toplanıp, enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Önce 1950'li yıllarda İsveç'te geliştirilmiş olan metanlaştırma yolu ile anaerobik arıtım, tüm dünyada ve özellikle Avrupa'da 1970'li yılların sonlarında yoğun araştırmaların konusu olmuştur.

Ancak, su arıtımı araştırmacıları, bakterileri tü-



müyle değiştirmek yerine, çok daha yalın olacağından, verilen bir bakteri topluluğunun davranışını değiştirme yolunu seçebilirler. Bu yöntemde bir örnek, biyolojik yoldan mineral bileşikler yok etme imkânı da veren, biyolojik fosforsuzlaştırmadır. Bu yöntemde, aerobik mikroorganizmalara, kısa ama yinelenen anaerobik "şoklar" uygulanır. Bu şartlarda, etkinleş-

tilmiş balçıklarda birlikte yaşayan *Acinetobacter* ve *Moraxella* türü kimi bakteriler hızla çoğalırlar ve polifosfat tanecikleri biçiminde önemli miktarlarda fosfor biriktirirler. Böylece kullanılmış kent sularının içerdiği fosfatlar % 80'lere varan oranlarda yok edilebilirler (özellikle, deterjanlardan kaynaklanan fosfatları hatırlayalım). Aynı ilkeye göre, başka tür bakteriler kullanılarak da, nitratlar yok edilebilir.



Uzmanlar, en son biyoreaktörlerde, bakteri yataklarının, "sabit hücreli" denen daha geliştirilmiş bir türünü benimsemişlerdir. Bakteriler (mikrofotoğraftaki açık renkli küçük parçacıklar), aşınmaya dayanıklı çeşitli ince taşıyıcılar (koyu renkli iri parçacıklar olarak görülen taneli etkin karbon, yayılmış kil, vb.) üzerine tutunarak, taşıyıcının girinti-çukurlarına yerleşirler. Taşıyıcı ise, ya sabit "sabit yatak" ya da hareketli "kayan yatak" olabilir. Hareketli taşıyıcı, temizlenecek suyun temizleyici bakteri toplulukları ile karşılaşmasını kolaylaştırır. Bu yöntem, etkin bakterilerin derişimini ve dolayısıyla temizlenen su miktarını artırdığı için, etkin balçık yönteminden daha etkilidir.

Ayrıca günümüzde, genetik mühendisliği, özel kullanım yerlerine uygun olarak seçilmiş bakteri türlerinin laboratuvarında elde edilmesini sağlayabilir. Böylece yok edilmeleri şimdiki dek zor olan tarım ilaçlarını azaltabilen bakteri türleri de elde edilebilmiştir. Ancak, yalnızca laboratuvar merakları olarak kalmamaları için, bu türlerin, havadaki ve çevre ortamındaki çok dayanıklı bakterilerden iyi yalıtılmış olarak, içinde hızla üreyebildikleri biyoreaktörler geliştirilmelidir. Bu çalışmalar, henüz deney aşamasındadır.

Sonuç olarak bakteriler dünyasındaki bu kısa gezimizden anlaşıldığı gibi, eski biyolojik yöntemlerin çağdaşlaştırılması sonucu bulunan biyoteknolojiler, suların arıtımı için yeni araçlar sağlamıştır. Bunlar, bilinen fiziksel ve kimyasal yöntemlerle birlikte, hem onlarla yarışarak, hem de onları tamamlayarak kullanılmalıdır. Çevre korunması, ancak bu şartlarda gerçekleştirilebilir.

La Recherche'den çev.: Dr.Hanaslı GÜR

İnsan iki şeyi unutmamalıdır :

- Yaptığı iyiliği,
- Kendisine yapılan kötülüğü.