

Su Şebeke Sistemlerinde Mikrobiyal Biyofilm Tabakası

Dr. İrfan Türetgen

Özet

Biyofilm tabakası, birbirlerine ve yüzeye tutunmuş mikroorganizma topluluğu olarak tanımlanır. Biyofilm tabakası besin maddelerini biriktirmesi, içindeki mikroorganizmaları dezenfektanlardan, bakterileri yiyerek beslenen canlılardan, virüslerden ve pH dalgalanmalarından koruması gibi birçok avantajı sunmaktadır. Su sistemlerinde bakterilerin çoğalması ve biyofilm tabakasının oluşumu halk sağlığı ve endüstri açısından büyük bir problem oluşturur. Biyofilm tabakası, şebeke suyu ileten boru ve depolarda su kalitesinin bozulması ve işletim ile ilgili sorunları beraberinde getirir. Dezenfektanlara toleransına ek olarak karmaşık fiziksel yapısı ve dinamik doğasından ötürü ölçümü, izlenmesi, kontrolü zor olmakta ve mücadele stratejilerinin etkinliğini azaltmaktadır. Biyofilm tabakasının kontrolü, su şebeke sistemlerinin sağlıklı işletilmesinde çok büyük bir paya sahiptir.

Anahtar kelimeler: Biyofilm, şebeke suyu sistemi, mikrobiyal ekoloji, dezenfektan.

1. GİRİŞ

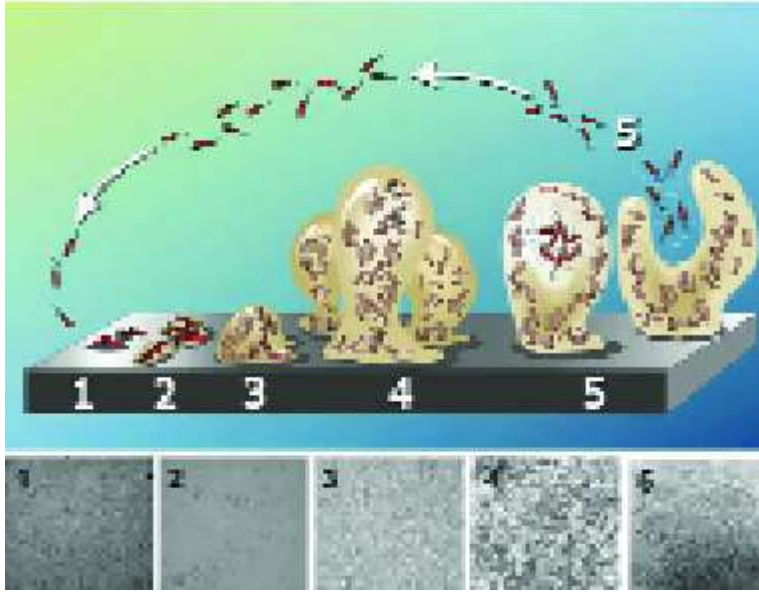
Biyofilm, canlı veya cansız bir yüzeye yapışarak kendi ürettikleri polimerik yapıda jelsi bir tabaka içinde yaşayan mikroorganizmaların oluşturduğu topluluk olarak tanımlanabilir [1]. Bu jelsi tabaka, bakteri hücreleri tarafından üretilen EPS adı verilen polisakkarit bazlı bir kafestir [2]. EPS, terminolojide “extracellular polymeric substances”, “exopolysaccharides” ya da “exopolymers” terimlerinin karşılığı olarak kullanılmaktadır. EPS’yi biyofilm tabakasında bakterilerin hücre dışına saldıkları ve onları bir arada tutan çimento gibi düşünebiliriz. Birçok araştırmacı tarafından farklı tarif edilmesine karşılık biyofilm tabakasından söz edilmesi için gereken 3 temel eleman yüzey, mikroorganizma ve EPS’dir. Biyofilm tabakası çok farklı çevrelerde oluşabilirken, en basit biyofilm

tabakası bile karmaşık bir dinamiğe sahiptir (Şekil 1). 1930’lu yıllardan bugüne dek yoğun olarak araştırılan biyofilm tabakası, endüstriyel / evsel su sistemlerinde, ısı değiştiricilerde, su ileten borularda, gemi karinalarında, su arıtma, depolama, işleme ve dağıtım tesislerinde biyofouling olarak da adlandırılan istenmeyen tortu ve tabakalaşmalara yol açarak önemli derecede ekonomik kayıplara yol açar [3].

2. BİYOFİLM TABAKASI

Yaşam alanlarının çeşitliliği ve genişliği açısından bakteriler dünyanın en başarılı yaşam formlarıdır. Su depo ve borularında az sayıda da olsa besin maddeleri ve mikroorganizmalar devamlı olarak bulunur. Bir çok çalışma, su şebekelerinde bakteriyel üreme ile suyun estetik ve hijyenik kalitesini bozulduğunu belirtmektedir. Lejyoner

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Vezneciler – İstanbul



Şekil 1: Bakterilerin yüzeye tutunması ve çoğalarak mikrokoloni oluşturması. Alt sıradaki resimler mikroskobik görüntüleridir (Montana State Üniversitesi, CBE, Costerton & Stoodley'den).

hastalığı, kistik fibroz, kalp kası enfeksiyonu, orta kulak iltihabı, periyodontit, osteomyelit, kronik prostat gibi hastalıkların etkenlerinin biyofilm ilişkili mikroorganizmalar olduğu göz önüne alınırsa tehlikenin ne kadar büyük olduğu anlaşılabilir [1]. Endüstriyel ya da evsel su sistemlerine gelen şebeke suyu kilometrelerce uzunlukta borulardan geçerek, bazen depolarda bekledikten sonra kullanılmaktadır. Suyun boru içindeki akış hızının azalması ya da durmasıyla biyofilm oluşumun daha hızlı gerçekleştiği bilinmektedir. Bu nedenle az kullanılan su sistemlerinde ya da bina içi tesisattaki ölü uçlara giden borularda mikroorganizmalar daha kolay çoğalmaktadırlar. Biyofilm tabakası endüstriyel su sistemlerinde ısı değiştiricilerde sıcaklık transfer veriminin düşmesine, boru çapının daralmasıyla sistem basıncının artmasına ve bunun sonucu olarak bağlantı noktalarında sızdırmaya neden olmaktadır. Mikroorganizmaların bu tabaka içinde yaşarken hücre dışına salgıladıkları yan ve son ürünlerle mikrobiyolojik olarak indüklenen korozyon başlamakta, bu sorunlara maruz kalan enerji santrallerinin soğutma kuleleri bakım ve onarım için günlerce kapalı kalmakta ve çok büyük ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Benzer bir korozyon problemi mikroorganizmalar tarafından gemilerin yakıt ileten borularında gerçekleştiğinde bakım için gemi karaya çekilmekte

ve haftalarca sefere çıkamamaktadır.

Bakteriler, şebeke suyu gibi besin varlığı açısından zayıf bir ortamda yaşamak ve çoğalmak için her zaman daha avantajlı bir ortam ararlar. Özellikle metabolik açıdan aktif bakteriler yüzeye tutunmak için olağanüstü bir istek gösterirler. Tanımlanmış olan bakterilerin %99'u bu biyofilm tabakası içinde yaşayabilmektedir [1]. Sucul ortamlarda besin maddeleri de katı yüzeylerin yakınında birikme eğilimi gösterirler. Ancak sucul ortam içindeki yüzeylerde oluşan biyofilm tabakasının büyüklüğü, hücre çoğalması ve EPS üretimi için gerekli besin miktarı ile sınırlıdır. Besin miktarının çok az olduğu ortamlarda bölgesel biyofilm gelişimi olur. Biyofilm tabakasının oluşumu sıcaklık, su akış hızı, suyun kimyasal ve mikrobiyolojik parametreleri, dezenfektan maddeler ya da kalıntılarına bağlı olduğu gibi depo ve boru malzemelerinin tipine de bağlıdır.

Hallam ve arkadaşları [3] su şebeke sistemlerinde yaptıkları bir çalışmayı şu ana başlıklarla özetlemektedirler:

- Biyofilm tabakası, gözle görülebilir büyüklükteki organizmaların bile çoğalmasına imkan verebilecek besin zincirinde başlangıç noktası konumundadırlar.
- Bakteriye üreme şebeke suyunda bulanıklık,

- kötü tat, koku ve renk değişimine neden olabilir.
- Biyofilm tabakası içinde sağlık riski oluşturabilecek mikroorganizmalar barınabilir.
- Bakteriye üreme sonucunda metal depo ve

- Biyofilmin doğal oluşum sürecinde tabaka içine farklı türlerde mikroorganizmalar katılmakta ve heterojen bir yapı hüküm sürmektedir. Çoğunlukla bakterilerin baskın olduğu biyofilm tabakalarının da mantar ve çok hücreli canlılara da rastlanmak

borularda korozyon meydana gelmektedir.

Biyofilm tabakası, bakterileri başta klor olmak üzere dezenfektanlardan, besinsizlikten, kuraklık tan, pH dalgalanmalarından, toksinlerden, virüslerden korur; hücreleri bir arada tutar. Biyofilm tabakası bir difüzyon kalkanı ya da moleküler filtre gibi davranarak barındırdığı mikroorganizmaları korur. Özellikle temizliği göz ardı edilen su tankları ve depolarda biyofilm tabakası bakterilerin yerleşmesi için ideal bir sığınak durumuna gelir [4].

Bakteriler, sucul ortamlarda serbest yüzmek yerine bir yüzeye tutunmayı tercih ederler. Bunun sebepleri; tutunduğu yüzeyin besin kaynağı olması, suyun akışıyla tutunduğu yere besin maddesi taşınması ya da su akışı sayesinde bol oksijen bulunması olabilir. Biyofilm tabakasının oluşumu mundaki ilk basamak yaklaşımdır. Bakteri, tutunacağı yüzeye aktif hareket ya da konveksiyon ile yaklaşır. Yüzeye kritik uzaklıkta olduğu anda [yaklaşık 1 nanometre], bakteri itici ve çekici güçlerin etkisiyle ya yüzeye yapışır ya da itilir. Bu itici ve çekici güçler; elektrostatik ve hidrofobik etkileşimler, van der Waals bağlarının kuvveti, sıcaklık, hidrodinamik güçler olarak tanımlanmaktadır. Elektrostatik etkileşimler daha çok itici güçlerdir, çünkü bakteriler ve katı yüzeyler negatif yüklüdür. Yüzeye ilk temasın gerçekleşmesinde hidrofobik etkileşimlerin katkısı büyüktür. Bunun yanında bakterinin tutunmasını kolaylaştıran hücre dışı yapıları, pH, besin miktarı, sıcaklık da yüzeye yapışmada etkili role sahiptir. Bakteri, sahip olduğu hücre dışı uzantılar ya da saldırdığı polimerler ile yüzeye sıkıca bağlanır. Bu bağlanma geri dönüşümsüzdür. Yüzeye sıkıca tutunan bakteri burada çoğalarak önce mikrokolonileri, mikrokoloniler de büyüyerek ve genişleyerek biyofilm tabakasını oluşturur. Bakterilerin hücre dışına saldıkları EPS, kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından farklılık gösterse de polisakkarit yapıda bir polimerdir ve biyofilm tabakası içindeki total organik karbon miktarının % 50 ila 90'ını temsil eder. Yarı olarak, ortam şartlarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilen, bünyesinde oldukça fazla su tutabilen yarı katı bir tabakadır. Biyofilm tabakasının %97'si su olması özelliği ile barındırdığı mikroorganizmaları kuruluğa karşı bir derece koruyabilmektedir [1].

tadır[5].

Su sistemlerinde bakteri sayısı tayini su kalitesini belirleyen kriterlerden biridir ve bakterilerin bir kısmı fırsatçı patojen oldukları için sağlık riski oluşturabilmektedir. Kısıtlı risk değerlendirme çalışmaları ve yetersiz salgın hastalık verileri nedeniyle bakterilerin insan sağlığına olan olumsuz etkileri arasında tam bir bağlantı kurulamamıştır. Bakteri sayısı tayini ile depo ve sirkülasyon sularındaki mikrobiyal değişimler kolayca izlenebilir. Ayrıca su sistemlerinin yapımında kullanılan malzemeler üzerindeki mikrobiyal popülasyonun ölçümü için de kullanılır. Biyofilm tabakası içinde barınan bakteriler, su fazında serbest yüzenlerden sayıca üstündür [7]. Toplam bakteriyel yükün %95'i biyofilm tabakasının içinde bulunur. Suda serbest yüzen bakterilerin ölçülmesiyle yapılan analizler çok küçük bir kısmı yansıttığından, gerçek bir değerlendirme için suyun temas ettiği yüzeyden biyofilm örneği de alınarak yorum yapılmalıdır.

Doğal ya da insan yapımı su sistemlerinde gelişen biyofilm tabakasındaki bakteriler, düşmanları olan organizmalara karşı korunurken aynı zamanda çeşitli özelliklere sahip farklı dezenfektanlara da direnç gösterirler [8]. Bu mücadelede farklı mekanizmalar iş görürler. Bunlardan biri, biyofilm tabakasının dip kısımlarına dezenfektanların erişiminin zor olması ya da olmayışıdır. Tabaka, dezenfektan geçişini yavaşlattığı gibi onların sudaki çözünme hızını yavaşlatır. Bir hipoteze göre, az besin bulunan su şebeke sistemindeki biyofilm bakterileri açlık nedeniyle yavaş üreme ya da durgunluk evresine geçer ve bu metabolik değişiklik onu dezenfektanlara daha dirençli kılar. Daha farklı bir hipoteze göre, biyofilm tabakası içindeki bakteri farklı bir yaşama tarzına adapte olur. Bu durum besin azlığına karşı yapılan bir davranış değil, yüzeye yapışarak üremek için biyolojik olarak programlanmış bir cevaptır.

Biyofilm tabakasının oluşumunu önlemek için tek bir strateji vardır, o da biyofilm oluşmadan önce düzenli olarak uygun dozda dezenfeksiyon yapmaktır. Büyük depoların mekanik olarak temizliği mümkün olmasına rağmen bina içindeki borular

gibi uzak ve dar noktalara erişmek neredeyse imkansızdır. Biyofilm tabakası, suda belli bir oranda bulunan dezenfektan maddelerin, bakterilere ulaşmasını önler. Bu engelleme mekanik ya da elektrik yüklerindeki farklılıklar nedeniyle oluşur. Dezenfektan madde tabakanın içine girmeyi başarsa bile, jelsi yapı içinde seyrelirler. Yapılmış olan araştırmalardan bilindiği üzere besin açısından fakir ortamlarda yaşayan bakteriler, dezenfektanlara laboratuvar ortamından kat kat fazla

çeşidi de biyofilm tabakasıyla mücadelede etkin bir role sahip olduğundan, amaca ve mekana uygun seçim yapılması şarttır [9].

KAYNAKLAR

1. Costerton, J.W., Lewandowski, Z., Caldwell, D.E., Korber, D.R., Lappin-Scott, H.M. "Microbial biofilms" Ann Rev Microbiol, 49, 711-745, 1995.
2. Sutherland, I.W. "Biofilm exopolysaccharides: a

la direnç gösterirler. Olumsuz şartlar altında yaşayan bakteriler ile mücadelenin çok daha zor olduğu sonucuna varabiliriz.

3. SONUÇ

Biyofilm tabakasının doğurduğu hijyenik riskler göz ardı edilemeyecek kadar çeşitli ve büyük olduğu için su sistemlerinde oluşmasını önlemek amacıyla tedbirler alınmalıdır. Bu tedbirlerin en başında sistemin en iyi şekilde dizayn edilmesi, kaliteli tesisat malzemesi kullanılması gelmektedir. Suyun estetik kalitesini olumsuz etkileyecek faktörler kontrol altına alınmalıdır. Çünkü şebeke suyuna, kaynağında ne kadar temiz olursa olsun, taşındığı boru ve depolarda mikroorganizmalar karışacaktır. Uygulanan dezenfeksiyon sürecinin de takibinin yapılması şarttır. Uygulama noktasında ölçülen dezenfektan dozu uzak uçlarda seyrelecek ve etkisini yitirecektir. Limitlerin üstünde kullanılacak dozların sistemde korozyona neden olarak ekonomik kayıplara yol açacağı gibi suyun kullanıldığı ya da deşarj edildiği ortamda canlılar üzerinde olumsuz etkilere yol açacağı unutulmamalıdır. Özellikle olgun biyofilm tabakasına dezenfektanların etkisinin çok zayıf olduğu bilindiğinden mekanik temizlik yapılması gerekir. Mekanik temizliğin mümkün olmadığı sistemlerde "dispersan" özelliğe sahip ürünler kullanılarak dezenfektanın biyofilm tabakasına erişimi kolaylaştırılır. Biyofilm tabakasının kontrolü, su şebeke sistemlerinin sağlıklı işletilmesinde çok büyük bir paya sahiptir. Tesisat malzemesinin

strong and sticky framework" Microbiol, 147, 3-9, 2001.

3. Hallam, N.B., West, J.R., Forster, C.F., Simms, J. "The potential for biofilm growth in water distribution systems" Wat Res, 35, 4063-4071, 2001
4. LeChevallier, M., Cawthon, C.D., Lee, R.G. "Factors promoting survival of bacteria in chlorinated water supplies" Appl Environ Microbiol, 54, 649-654, 1988
5. Boe-Hansen, R., Albrechtsen, H.J., Arvin, E., Jorgensen, C. "Bulk water phase and biofilm growth in drinking water at low nutrient conditions" Wat Res, 36, 4477-4486, 2002.
6. Codony, F., Morato, J., Ribas, F., Mas, J. "Effect of chlorine, biodegradable dissolved organic carbon and suspended bacteria on biofilm development in drinking water systems" J Basic Microbiol, 42, 311-319, 2002.
7. Donlan, R.M. "Biofilms: Microbial life on surfaces" Emerging Infect Dis, 8, 881-890, 2002.
8. Türetgen, I.. "Comparison of free residual chlorine and monochloramine for efficacy against biofilms in model and full scale cooling towers" Biofouling 20:81-85, 2004
9. Türetgen, I. and A. Cotuk. "Formation of Bacterial Biofilms in Model Recirculating Water System" J. Environ. Micropaleo. Microbiol. Meiobenth. 2, 136-142, 2005.