

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

PORSUK ÇAYI'NDAN İZOLE EDİLMİŞ BAKTERİLER TARAFINDAN DETERJAN AKTİF MADDELERİNİN BİYOLOJİK PARÇALANABİLİRLİĞİ

Erdoğan ÇAKIR^{1,2} ve Merih KIVANÇ¹

ÖZ

Günümüzde büyük ölçüde ulaşan çevre kirlenmesinde rolü olan sentetik deterjanlardan, özellikle biyolojik olarak parçalanamayanlar, evsel ve endüstriyel atıksularla su ortamlarına karışarak birikmektedir. Bu durum da, suların doğal dengesini bozarak, suda yaşayan canlıları ve onlarla beslenen insanların sağlığını tehdit etmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'de üretilen ve kullanılan SLES ve NI deterjan aktif maddelerinin, Porsuk Çayı'ndan izole edilmiş bakteriler tarafından biyolojik parçalanabilirliği araştırılmıştır. Durgun ve çalkalamalı ortamda 28°C'de, 33 gün süre ile deterjan aktif maddelerinin parçalanma miktarları ölçülmüş ve bakteri sayımları yapılmıştır. Deterjan miktarları metilen mavisi metoduyla ölçülmüştür. Durgun ortamda, 33 günlük inkübasyondan sonra, 1 mg/l SLES aktif maddesini %51; 1 mg/l NI aktif maddesini %44; çalkalamalı ortamda, 1 mg/l SLES aktif maddesini %60; 1 mg/l NI aktif maddesini %53 oranlarında parçalayarak, en fazla parçalamayı sağlayan bakterinin *Pseudomonas putida* olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Deterjan aktif maddesi, yüze aktif madde, biyolojik ayrışabilirlik

BIODEGRADATION OF DETERGENT ACTIVE SUBSTANCES BY BACTERIA ISOLATED FROM PORSUK RIVER

ABSTRACT

Synthetic detergents, especially non degradable ones, originating from domestic and industrial use, reach to the environment, accumulate a cause negative affect on living organisms and human consuming them. In this study, biodegradability of SLES and NI detergent active substances which are produced and used in Turkey was investigated by bacteria isolated from Porsuk River. Degradation quantity of detergent active substances was determined. In stable and shaken conditions at 28 °C during 33 days and numbers of bacteria were counted. Concentrations of surfactants were determined in terms of Methylene Blue Active Substances (MBAS) in the detergent samples. After 33 days incubation in stable conditions, it was observed that 1 mg/l SLES active substance was degraded at a ratio of 51 %, 1 mg/l NI active substance was degraded at a ratio of 44 %; whereas in shaken conditions, 1 mg/l SLES active substance was degraded at a ratio of 60 % and 1 mg/l NI active substance was degraded at a ratio of 53 %. The most efficient bacterium degrading the synthetic detergents was determined as *Pseudomonas putida* in this study.

Key words: Detergent active substances, surfactant, biodegradation

1. GİRİŞ

İlerleyen teknoloji topluma kolay yaşama şartları kazandırırken, çevreye yeni kirletici unsurlar katmakta ve giderek doğal dengeyi bozmaktadır. Çok geniş bir kullanım alanı bularak, üretim ve tüketim miktarları

büyük ölçüde artan yüze aktif maddeler de bu kirletici unsurlar arasındadır. Özellikle "sert" kategoride yer alan deterjanlarda, biyolojik oksidasyon ve parçalanma daha uzun sürede gerçekleşmektedir (Doğan vd.,1986).

¹ Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, 26470 ESKİŞEHİR

² Email: ecakir@anadolu.edu.tr

Birçok üstün özellikleri nedeniyle sabuna tercih edilen sentetik deterjanların yarattığı çevre sorunları ekonomik gelişme ve nüfus artışı sonucunda her geçen gün büyük boyutlara ulaşmakta ve gelecekte ne gibi sorunlar getireceği kesin olarak bilinmemektedir. Deterjan içeren atıksuların toprağa, denizlere, göllere ve nehirlerle karışması sonucu çevrede büyük zararlar oluşmaktadır (Öztürk ve Türkan, 1989).

Deterjanlar, toprak geçirgenliğinin değişmesine neden olmaktadır. Bunun yanında mikroorganizmalar, köpük içinde birikerek etrafa yayılırlar. Bu sular, sulama suyu olarak kullanıldığında, köpük içerisindeki mikroorganizmalar, bitki ve hayvanlara zarar verebilmektedir. Yine deterjanlar, su arıtılması sırasında problemlere neden olmaktadır. Deterjanlar içerisinde katkı maddesi olarak kullanılan fosfatlar, su bitki ve canlılarını etkilemektedir (Yaramaz, 1992).

Deterjanların yeraltısularına ulaşması da özellikle kanalizasyon tertibatının bulunmadığı kırsal bölgelerde sık rastlanan bir durumdur. Atıksuları yerleşim bölgesinden uzağa taşıyan kanalizasyon sistemi yoksa, deterjan içeren ev ve endüstri atıksularının foseptiklerden veya birikinti sularından toprağın derinliklerine sızması mümkün olmaktadır. Bu deterjanlar yeraltısuyundan yararlanmak için açılan kuyulardan insan, hayvan ve bitkilere yeniden ulaşabilmektedirler (Doğan vd., 1986).

Merkezi Londra'da bulunan "Sentetik Deterjanlar Daimi Teknik Komitesi" 4. Gelişim Raporu'nda aldığı kararla, deterjanların da bir kirlilik indikatörü olarak kabul edilmelerini, bakteriyolojik ve fiziksel özellikleriyle temiz görünen suda 0.5 mg/l'den fazla deterjan bulunması halinde o suyun kirliliği kabul edilmesini önermiştir. Deterjanların suda bulunmasına izin verilen miktarı Amerika ve Avrupa'nın bir çok ülkesinde 0.5 mg/l olmasına rağmen, Dünya Sağlık Örgütü'nün temkinli bir yaklaşımla bu seviye 0.2 mg/l'de tutulmaktadır (Doğan vd., 1986).

Deterjanlar, toksik etkileri yanında, toksik dozun altında da sulardaki biyolojik yaşam üzerinde bir çok olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Sucul hayvan türlerinde patolojik, embriyolojik, üreme, fizyolojik, biyokimyasal ve diğer etkilere sebep olurken, sucul bitki türlerinde sararma, klorofil-protein kompleksinin parçalanması, membrana zarar vererek hücre ölümü, metabolizma ve büyümenin geciktirilmesi, patomorfolojik başkalaşım, biyokütle artışında, protein ve DNA sentezinde azalmalar gibi deterjana bağlı etkiler deneylemlerle gösterilmiştir (Öztürk ve Türkan, 1989).

Etkili deterjan kirlenmesinin, en çok insanların besin kaynaklarının başında gelen sucul ortamlarda olması, insanları doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Tüm çevre kirliliği açısından dikkate

alındığında, bu tür su kirliliğinin canlı sistemler arasındaki ve diğer etkileşimlerden dolayı, canlılar üzerinde dikkate değer olumsuz etkilere neden olduğu görülmektedir (Öztürk ve Türkan, 1989).

İnsan sağlığı üzerine yapılan çalışmalarda deterjanların, toksik, allerjik etkilere sahip olduğu ve zamanla kansere zemin hazırladığı araştırmacılar tarafından bildirilmektedir (Özkalp ve Özçelik, 1988).

İçme sularına deterjan karışması, sentetik deterjanların 3,4 benzopiren gibi kanserojen maddelerin çözünmesine neden olmaktadır (Uslu ve Türkman, 1987).

Suda bulunan doğal mikroorganizmalardan bazıları deterjanlara adapte olmuşlardır. Uygun sıcaklık koşullarında parçalanmanın tamamlanabilmesi için uygun bir zamana gereksinim vardır (Yaramaz, 1992). Bu mikroorganizmaların deterjanları karbon ve kükürt kaynağı olarak kullandıkları bildirilmektedir (Özkalp ve Özçelik, 1988).

Deterjan ve şampuanların bulunduğu nehir suyu örneklerinde doğal mikrobiyal komünite gibi hücre sayısındaki artışın, metabolik işlemler için tek karbon ve enerji kaynağı olarak yüzey aktif maddelerin kullanılmasından kaynaklanmış olabileceği bildirilmiştir. Deterjan ve şampuanlardaki sodyum tripolifosfat gibi maddeler mikrobiyal gelişme için besin kaynağı olarak da kullanılabilirler (Okpokwasili and Olisa, 1991). Yapılan bir çalışmada, satılan bazı deterjanların biyolojik parçalanmaya dirençli bileşenler içerdiği belirlenmiştir. Bu kimyasal ürünlerin, kanalizasyon gibi sucul ortama karıştıklarında, dirençli olmaya devam ettikleri bildirilmiştir (Okpokwasili and Nwabuzor, 1988).

Son yıllarda deterjanlarda, biyolojik olarak parçalanamayan bileşiklerin yerine biyolojik olarak parçalanabilen bileşiklerin kullanılması nedeniyle, dünya nehirlerinde daha düşük deterjan miktarlarının bulunduğu bildirilmiştir (Cosovic vd., 1985).

Bu çalışmada, Türkiye'de üretilen ve kullanılan deterjan aktif maddelerinin, Porsuk Çayı'ndan izole edilmiş bakteriler tarafından, biyolojik parçalanabilirliği araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Denemede Kullanılan Deterjan Aktif Maddeleri

Çalışmada kullanılan, SLES (Sodyum Lauril Eter Sülfat) ve NI (Non İyonik: Dehydol LS 7 Lev. C₁₂-C₁₄, doğrusal alkil zincirli, primer yapıda) deterjan aktif maddeleri, Lever'den temin edilmiştir.

2.1.2. Denemede Kullanılan Test Mikroorganizmaları

Kontrol mikroorganizması olarak, deterjan aktif maddelerinin parçalanmasında karşılaştırma amacıyla; United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service Midwest Area National Center for Agriculture Utilization Research, 1815 North University Street Peoria, Illinois 61604'den sağlanan *Pseudomonas putida* NRRL B-13 suşu kullanılmıştır.

Deterjan aktif maddelerini parçalayabilen, Porsuk Çayı'ndan daha önce izole edilmiş olan (Çakır, 1998) *Pseudomonas putida*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Bacillus cereus* ve *Proteus vulgaris* suşları kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

2.2.1. Deterjan Aktif Maddelerinin Ekstraksiyonu

Deterjan aktif madde miktarını belirlemek için, Metilen Mavisi Aktif Maddeleri (MBAS) metodundan faydalanılmıştır ve standart çözeltiler bu metoda göre hazırlanmıştır

Dizi halindeki 7 tane ayırma hunisine sırası ile 0, 1 ml, 3 ml, 5 ml, 7 ml, 9 ml ve 12 ml hacimlerde standart aktif madde çözeltisi konularak, distile su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Bu standart aktif madde çözeltisi hacimlerine karşılık gelen aktif madde miktarları sırasıyla şu şekildedir: 0, 10 µg, 30 µg, 50 µg, 70 µg, 90 µg ve 120 µg. Bundan sonra her bir ayırma hunisindeki çözeltilere, sırası ile, aşağıdaki işlemler uygulanmıştır:

3 damla fenol fitalein indikatör çözeltisi eklenerek, pembe renk elde edilinceye kadar damla damla sodyum hidroksit çözeltisi ilave edilmiştir. Pembe renk giderilene kadar damla damla sülfirik asit çözeltisi katılmıştır. 25 ml metilen mavisi çözeltisi eklenip karıştırıldıktan sonra, 25 ml kloroform ilave edilerek, 30 saniye süreyle şiddetle çalkalanmıştır. Fazların ayrılması için dindendirilerek, ara yüzeydeki emülsiyon, birinci hunide kalacak şekilde, alttaki kloroform fazı ikinci bir ayırma hunisine alınmıştır. 25'er ml'lik kloroformla ekstraksiyon iki kere daha tekrarlanmıştır. İkinci ayırma hunisinde toplanan kloroform ekstraktlarına, 50 ml fosfat yıkama solusyonu ilave edilerek, 30 saniye süreyle şiddetle çalkalanmıştır. Fazların ayrılması için dindendirilmiş ve kloroform fazı, cam pamuğundan 100 ml'lik temiz bir ölçülü erlenmeye süzümüştür. Ayırma hunisindeki çözelti, iki kere daha 10'er ml'lik kısımlar halinde kloroformla ekstrakte edilerek, dindendirildikten sonra ayrılan kloroform ekstraktları aynı cam pamuğundan erlenmeye süzümüştür. Cam pamuğu, birkaç ml kloroformla yıkanmış ve kloroform erlenmeye ilave edilmiştir. Kloroform ekstraktlarının

toplandığı erlenmeye kloroformla işaret çizgisine kadar seyreltilerek, iyice karıştırılmıştır..

Bundan sonra her bir kalibrasyon çözeltisinin kloroform ekstraktları, sırası ile optik hücelere alınarak, optik yoğunluğu ölçülmüştür. Spektrofotometrik ölçmeler 652 nm dalga boyunda yapılmıştır. Kalibrasyon çözeltisi optik hücreye konulduktan sonra, en kısa zamanda optik yoğunluk ölçülmüş ve hücre boşaltıldıktan sonra kloroformla çalkalanmıştır. Kurutulduktan sonra yeni kalibrasyon çözeltisi ölçülmüştür. Her bir kalibrasyon çözeltisinin optik yoğunluğu dikey eksene ve bu değeri karşılayan aktif madde miktarı mg olarak yatay eksene işaretlenerek, bir kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Numunenin 1 litresindeki aktif madde miktarı (c), mg olarak aşağıdaki formül ile bulunmuştur:

$$c = m / v$$

Burada:

m : Kalibrasyon eğrisi yardımı ile deney numunesinde tayin edilen aktif madde miktarı (mg),

v : Orijinal deney numunesinin hacmi (ml) göstermektedir (APHA, 1992).

2.2.2. Deneme Sisteminin Kurulması

Porsuk Çayı su örnekleri otoklavda 121°C'de 15 dakika steril edilerek, 18 saatlik bakteri kültürlerinin herbirinden ayrı ayrı %1 oranında bu örneklere ilave edilmiştir. Aynı örneklere 1 mg/l oranında SLES ve NI aktif maddeleri eklenerek, 28°C'de 33 gün süreyle durgun ve çalkalamalı ortamlarda, aktif maddelerin parçalama oranları gözlenerek, bakteri sayımları yapılmıştır.

Porsuk Çayı Mezbahta istasyonundan alınan su örneği kontrol olarak kullanılmıştır. Ayrıca Kontrol örneğine 1 mg/l SLES ve NI deterjan aktif maddeleri ilave edilerek, aktif madde parçalanma oranları gözlenmiştir.

2.2.3. Mikroorganizma Sayımı

Deterjan aktif maddesi ve mikroorganizma içeren su örneklerinden seyreltmeler hazırlanarak, nütrient agar petrilere, iki paralel olmak üzere, 10⁻¹-10⁻⁷'lik seyreltmelerden damlatma yöntemiyle ekimler yapılmıştır (Gürgün ve Halkman, 1988). Petrilere 28°C'de 24-48 saat inkübasyondan sonra sayılmıştır (Okpokwasili and Olisa, 1991).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

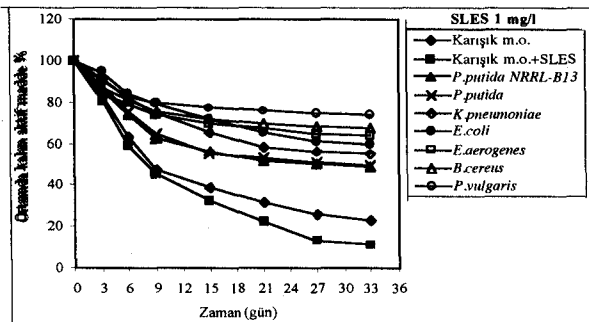
Porsuk Çayı suyundan genel olarak, deterjanları parçalayabilen Gram (-) bakteriler izole edilmiştir. Bu da, Gram (-) bakterilerin deterjanları daha iyi tolere edebildiğini göstermektedir (Çakır, 1998). Yapılan bir çalışmada, 10-20 mg/l miktarındaki deterjanların Gram (+)'leri etkilerken, daha yüksek miktarlardaki deterjanların bile Gram (-)'leri hiç etkilemedikleri bildirilmiştir (Okpokwasili and Olisa, 1991).

Çeşitli deterjan aktif maddelerini içeren Porsuk Çayı su örneklerinden izole edilen mikroorganizmalardan *Pseudomonas putida* toplam izolatların % 25'ini; *Enterobacter aerogenes* % 21.05'ini; *Bacillus cereus* % 18.42'sini; *Escherichia coli* % 14.47'sini; *Proteus vulgaris* % 11.84'ünü ve *Klebsiella pneumoniae* % 9.21'ini oluşturduğu bildirilmiştir (Çakır, 1998).

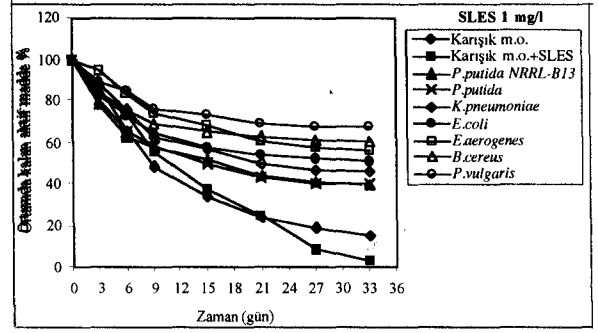
28 °C'de 12 gün süre ile yapılan benzer bir çalışmada, nehir suyundaki deterjanları parçalayan bakteri izolatlarının % 43.3'ünün *Vibrio*; % 10'unun *Flavobacterium*; % 10'unun *Klebsiella*; % 6.7'sinin *Pseudomonas*; % 6.7'sinin *Enterobacter*; % 6.7'sinin *Bacillus*; % 3.3'ünün *Shigella*; % 3.3'ünün *Citrobacter*; % 3.3'ünün *Escherichia*; % 3.3'ünün *Proteus* ve % 3.3'ünün de *Actinomyces* olduğu bildirilmiştir. Bu mikroorganizmalardan bazılarının saf anyonik yüzey aktif madde moleküllerinin bir bölümünü parçalayabildiği rapor edilmiştir (Okpokwasili and Olisa, 1991).

Çalışmamızda, durgun ortamda 33 günlük inkübasyon sonunda, 1 mg/l SLES aktif maddesini *P. putida* NRRL-B13: % 51.24; *P. putida*: % 50.96; *K. pneumoniae*: % 45.42; *E. coli*: % 40.46; *E. aerogenes*: % 36.07; *B. cereus*: % 32.88; *P. vulgaris*: % 26.22 oranında parçalanmıştır. Aktif madde ilave edilmeyen Porsuk Çayı su örneğinde 0.432 mg/l olan deterjan miktarı, içerisindeki doğal mikroorganizmalar tarafından % 76.92; bu ortama ilave edilen 1 mg/l SLES aktif maddesi ise % 88.99 oranında parçalanmıştır (Şekil 1.).

Çalkalamalı ortamda ise 1 mg/l SLES aktif maddesini *P. putida* NRRL-B13: % 60.89; *P. putida*: %



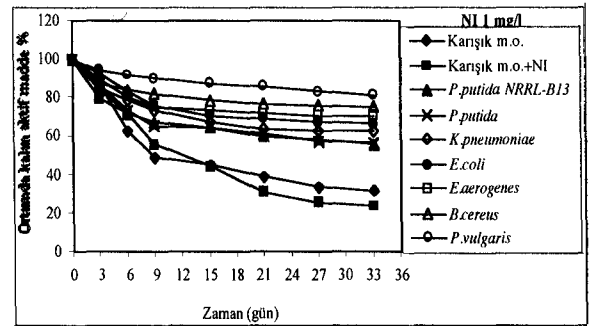
Şekil 1. Porsuk Çayı'ndan izole edilmiş bakterilerin, durgun ortamda 1 mg/l SLES aktif maddesini parçalamasıyla, ortamda kalan aktif madde yüzdeleri (m.o.: mikroorganizma).



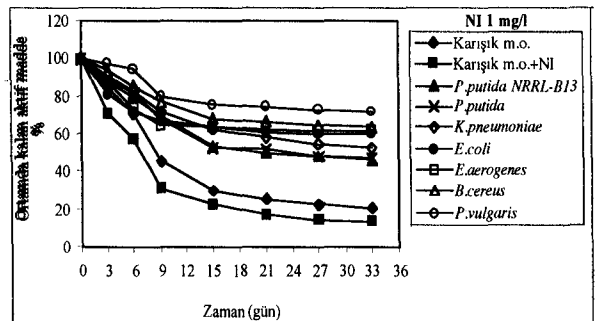
Şekil 2. Porsuk Çayı'ndan izole edilmiş bakterilerin, çalkalamalı ortamda 1 mg/l SLES aktif maddesini parçalamasıyla, ortamda kalan aktif madde yüzdeleri (m.o.: mikroorganizma).

60.11; *K. pneumoniae*: % 54.3; *E. coli*: % 49.18; *E. aerogenes*: % 44.2; *B. cereus*: % 39.89; *P. vulgaris*: % 33.07 oranında parçalanmıştır. Aktif madde ilave edilmeyen Porsuk Çayı su örneğinde 0.432 mg/l olan deterjan miktarı, içerisindeki doğal mikroorganizmalar tarafından % 84.96; bu ortama ilave edilen 1 mg/l SLES aktif maddesi ise % 96.79 oranında parçalanmıştır (Şekil 2.).

Durgun ortamda, 1 mg/l NI aktif maddesini 33 günlük inkübasyon sonunda, *P. putida* NRRL-B13: % 44.26; *P. putida*: % 43.9; *K. pneumoniae*: % 37.72; *E. coli*: % 33.94; *E. aerogenes*: % 29.84; *B. cereus*: % 25.38; *P. vulgaris*: % 18.89 oranında parçalanmıştır.



Şekil 3. Porsuk Çayı'ndan izole edilmiş bakterilerin, durgun ortamda 1 mg/l NI aktif maddesini parçalamasıyla, ortamda kalan aktif madde yüzdeleri (m.o.: mikroorganizma).



Şekil 4. Porsuk Çayı'ndan izole edilmiş bakterilerin, çalkalamalı ortamda 1 mg/l NI aktif maddesini parçalamasıyla, ortamda kalan aktif madde %'leri (m.o.: mikroorganizma).

Aktif madde ilave edilmeyen Porsuk Çayı su örneğinde 0.432 mg/l olan deterjan miktarı, içerisindeki doğal mikroorganizmalar tarafından % 68.09; bu ortama ilave edilen 1 mg/l NI aktif maddesi ise % 75.86 oranında parçalanmıştır (Şekil 3.).

Çalkalamalı ortamda ise 1 mg/l NI aktif maddesini *P. putida* NRRL-B13: % 53.4; *P. putida*: % 53.05;

K. pneumoniae: % 46.85; *E. coli*: % 40.42; *E. aerogenes*: % 38.37; *B. cereus*: % 36.11 ve *P. vulgaris*: % 27.92 oranında parçalanmıştır. Aktif madde ilave edilmeyen Porsuk Çayı su örneğinde 0.432 mg/l olan deterjan miktarı, içerisindeki doğal mikroorganizmalar tarafından % 79.22; bu ortama ilave edilen 1 mg/l NI aktif maddesi ise % 86.37 oranında parçalanmıştır (Şekil 4.).

Tablo 1. Durgun ortamda, 1 mg/l SLES aktif maddesini parçalayan bakterilerin ml'deki sayıları.

Gün	Kanşık m.o. Toplam Bakteri	Kanşık m.o.+SLES Toplam Bakteri	<i>P.putida</i> NRRL-B13	<i>P.putida</i>	<i>K.pneumoniae</i>	<i>E.coli</i>	<i>E.aerogenes</i>	<i>B.cereus</i>	<i>P.vulgaris</i>
0	50x10 ⁷	44x10 ⁷	63x10 ⁴	60x10 ⁴	9x10 ⁴	15x10 ⁴	20x10 ⁴	17x10 ⁴	11x10 ⁴
3	57x10 ⁷	51x10 ⁷	71x10 ⁴	68x10 ⁴	16x10 ⁴	21x10 ⁴	26x10 ⁴	23x10 ⁴	17x10 ⁴
6	62x10 ⁷	58x10 ⁷	76x10 ⁴	73x10 ⁴	20x10 ⁴	27x10 ⁴	32x10 ⁴	29x10 ⁴	22x10 ⁴
9	71x10 ⁷	69x10 ⁷	83x10 ⁴	80x10 ⁴	27x10 ⁴	34x10 ⁴	41x10 ⁴	36x10 ⁴	30x10 ⁴
15	83x10 ⁷	77x10 ⁷	92x10 ⁴	86x10 ⁴	33x10 ⁴	39x10 ⁴	47x10 ⁴	43x10 ⁴	36x10 ⁴
21	91x10 ⁷	83x10 ⁷	97x10 ⁴	92x10 ⁴	41x10 ⁴	46x10 ⁴	53x10 ⁴	49x10 ⁴	44x10 ⁴
27	10x10 ⁸	91x10 ⁷	12x10 ⁵	10x10 ⁵	47x10 ⁴	55x10 ⁴	61x10 ⁴	57x10 ⁴	49x10 ⁴
33	11x10 ⁸	96x10 ⁷	13x10 ⁵	12x10 ⁵	52x10 ⁴	59x10 ⁴	69x10 ⁴	63x10 ⁴	55x10 ⁴

Tablo 2. Çalkalamalı ortamda, 1 mg/l SLES aktif maddesini parçalayan bakterilerin ml'deki sayıları.

Gün	Kanşık m.o. Toplam Bakteri	Kanşık m.o.+SLES Toplam Bakteri	<i>P.putida</i> NRRL-B13	<i>P.putida</i>	<i>K.pneumoniae</i>	<i>E.coli</i>	<i>E.aerogenes</i>	<i>B.cereus</i>	<i>P.vulgaris</i>
0	52x10 ⁷	45x10 ⁷	65x10 ⁴	61x10 ⁴	11x10 ⁴	16x10 ⁴	19x10 ⁴	19x10 ⁴	12x10 ⁴
3	62x10 ⁷	58x10 ⁷	79x10 ⁴	77x10 ⁴	26x10 ⁴	30x10 ⁴	35x10 ⁴	34x10 ⁴	26x10 ⁴
6	70x10 ⁷	67x10 ⁷	84x10 ⁴	83x10 ⁴	29x10 ⁴	36x10 ⁴	40x10 ⁴	38x10 ⁴	33x10 ⁴
9	79x10 ⁷	76x10 ⁷	93x10 ⁴	91x10 ⁴	37x10 ⁴	43x10 ⁴	51x10 ⁴	47x10 ⁴	41x10 ⁴
15	92x10 ⁷	87x10 ⁷	99x10 ⁴	96x10 ⁴	42x10 ⁴	50x10 ⁴	58x10 ⁴	54x10 ⁴	45x10 ⁴
21	10x10 ⁸	96x10 ⁷	11x10 ⁵	10x10 ⁵	50x10 ⁴	55x10 ⁴	62x10 ⁴	60x10 ⁴	55x10 ⁴
27	12x10 ⁸	10x10 ⁸	13x10 ⁵	11x10 ⁵	58x10 ⁴	64x10 ⁴	70x10 ⁴	68x10 ⁴	60x10 ⁴
33	14x10 ⁸	12x10 ⁸	16x10 ⁵	14x10 ⁵	63x10 ⁴	68x10 ⁴	80x10 ⁴	74x10 ⁴	66x10 ⁴

Tablo 3. Durgun ortamda, 1 mg/l NI aktif maddesini parçalayan bakterilerin ml'deki sayıları.

Gün	Kanşık m.o. Toplam Bakteri	Kanşık m.o.+NI Toplam Bakteri	<i>P.putida</i> NRRL-B13	<i>P.putida</i>	<i>K.pneumoniae</i>	<i>E.coli</i>	<i>E.aerogenes</i>	<i>B.cereus</i>	<i>P.vulgaris</i>
0	52x10 ⁷	41x10 ⁷	59x10 ⁴	57x10 ⁴	6x10 ⁴	11x10 ⁴	17x10 ⁴	14x10 ⁴	8x10 ⁴
3	58x10 ⁷	45x10 ⁷	70x10 ⁴	66x10 ⁴	13x10 ⁴	18x10 ⁴	23x10 ⁴	19x10 ⁴	14x10 ⁴
6	64x10 ⁷	51x10 ⁷	74x10 ⁴	70x10 ⁴	19x10 ⁴	25x10 ⁴	30x10 ⁴	25x10 ⁴	20x10 ⁴
9	73x10 ⁷	55x10 ⁷	79x10 ⁴	76x10 ⁴	24x10 ⁴	31x10 ⁴	40x10 ⁴	33x10 ⁴	27x10 ⁴
15	82x10 ⁷	66x10 ⁷	90x10 ⁴	85x10 ⁴	31x10 ⁴	36x10 ⁴	45x10 ⁴	41x10 ⁴	34x10 ⁴
21	89x10 ⁷	81x10 ⁷	95x10 ⁴	91x10 ⁴	38x10 ⁴	44x10 ⁴	50x10 ⁴	47x10 ⁴	42x10 ⁴
27	99x10 ⁷	92x10 ⁷	10x10 ⁵	97x10 ⁴	45x10 ⁴	53x10 ⁴	58x10 ⁴	54x10 ⁴	45x10 ⁴
33	11x10 ⁸	10x10 ⁸	11x10 ⁵	10x10 ⁵	50x10 ⁴	57x10 ⁴	66x10 ⁴	61x10 ⁴	53x10 ⁴

Tablo 4. Çalkalamalı ortamda, 1 mg/l NI aktif maddesini parçalayan bakterilerin ml'deki sayıları.

Gün	Karışık m.o. Toplam Bakteri	Karışık m.o.+NI Toplam Bakteri	<i>P.putida</i> NRRL-B13	<i>P.putida</i>	<i>K.pneu moniae</i>	<i>E.coli</i>	<i>E.aerogenes</i>	<i>B.cereus</i>	<i>P.vulgaris</i>
0	51x10 ⁷	42x10 ⁷	60x10 ⁴	58x10 ⁴	7x10 ⁴	10x10 ⁴	18x10 ⁴	13x10 ⁴	9x10 ⁴
3	60x10 ⁷	55x10 ⁷	71x10 ⁴	69x10 ⁴	18x10 ⁴	25x10 ⁴	29x10 ⁴	24x10 ⁴	23x10 ⁴
6	68x10 ⁷	66x10 ⁷	80x10 ⁴	77x10 ⁴	26x10 ⁴	34x10 ⁴	37x10 ⁴	32x10 ⁴	31x10 ⁴
9	77x10 ⁷	73x10 ⁷	89x10 ⁴	86x10 ⁴	35x10 ⁴	40x10 ⁴	48x10 ⁴	44x10 ⁴	38x10 ⁴
15	90x10 ⁷	83x10 ⁷	95x10 ⁴	91x10 ⁴	40x10 ⁴	51x10 ⁴	55x10 ⁴	52x10 ⁴	44x10 ⁴
21	98x10 ⁷	92x10 ⁷	10x10 ⁵	98x10 ⁴	51x10 ⁴	57x10 ⁴	60x10 ⁴	60x10 ⁴	53x10 ⁴
27	11x10 ⁸	99x10 ⁷	11x10 ⁵	10x10 ⁵	59x10 ⁴	63x10 ⁴	67x10 ⁴	66x10 ⁴	59x10 ⁴
33	13x10 ⁸	11x10 ⁸	13x10 ⁵	12x10 ⁵	64x10 ⁴	66x10 ⁴	76x10 ⁴	71x10 ⁴	64x10 ⁴

Durgun ortamdaki parçalanmanın, çalkalamalı ortamdaki parçalanmaya göre daha düşük oranda gerçekleştiği gözlenmiştir. Havalanma, deterjan aktif maddesinin parçalanma oranını etkilemiştir. Çalkalanan ortamlarda mikroorganizma çoğalması daha fazla olmuştur (Tablo 1., 2., 3., 4.).

Yapılan bir çalışmada, durgun sıvı ortamdaki parçalanmanın, çalkalanan sıvı ortamdaki parçalanmaya göre daha düşük oranda gerçekleştiği bildirilmiştir (Özkalp ve Özçelik, 1988). Çalkalamalı ve durgun ortamlarda deterjan aktif maddesinin parçalanmaları arasındaki farkın oluşmasında; deterjan aktif maddesi ve mikroorganizma etkilerinin de önemli olduğu görülmüştür.

Takada et al. (1994) tarafından bildirildiğine göre; Larson and Payne LAS biyolojik ayrışmasının kirli nehir suyu kullanan deney sistemlerinde, saf bakteri kültürü kullanan sistemlerdekinden daha hızlı olduğunu bildirmişlerdir. Bizim çalışmamızda da, Porsuk Çayı'nda bulunan doğal mikroorganizmalar, aktif maddeleri saf kültürlerle göre daha fazla parçalamışlardır. Porsuk Çayı suyunda bulunan mikroorganizma sayısının yüksek olması nedeniyle, karışık kültürlerin deterjan aktif maddelerini parçalamada daha etkili olduğu görülmüştür.

Özkalp ve Özçelik (1988) tarafından yapılan bir çalışmada, denemede kullandıkları deterjanlarda en fazla parçalayıcı etki gösteren mikroorganizmanın *Pseudomonas aeruginosa* olduğu saptanmıştır. Çalışmamızda denemeye alınan SLES ve NI aktif maddelerini, gerek durgun ve gerekse de çalkalamalı ortamda en fazla *Pseudomonas putida* parçalamıştır.

Özkalp ve Özçelik (1988) tarafından bildirildiğine göre; Lee and Houg, *P. aeruginosa* ve *Klebsiella* ile yaptıkları çalışmalarda, belirtilen mikroorganizmaların alkil benzen sülfonatin ve dodesil sülfonatin sırası ile % 40-60 ve % 70-75'den fazla oranlarda parçalandıklarını saptamışlardır. Çalışmamızda kullanılan mikroorganiz-

malar da, SLES aktif maddesini %26-61 ve NI aktif maddesini %19-53 arasındaki oranlarda parçalamışlardır.

Hrsak et al, sürekli akış gösteren birimler içinde, lineer alkil benzen sülfonatin parçalanma durumunu *Pseudomonas*'a ait beş tür, *Achromobacter* ve *Acinetobacter*'e ait iki tür ile araştırmışlardır. Araştırmacılar, hiçbir türün lineer alkil benzen sülfonatin tamamını parçalamadığını saptamışlardır (Özkalp ve Özçelik, 1988). Bizim çalışmamız da da hiçbir tür, SLES ve NI aktif maddelerinin tamamını parçalamamıştır.

Orhan ve Büyükgüngör (1994), tarafından yapılan bir çalışmada, dodesil benzen sülfonat ve lineer alkil benzen sülfonat gibi kullanımı yaygın yüzey aktif maddelerin *Pseudomonas putida* (DSM 50026) tarafından biyolojik parçalanması, 30 gün süreyle 26 °C'de çalkalamalı ortamda incelenmiş ve DBS ile LAS parçalanma oranlarını sırasıyla % 70 ve % 80 olarak bulduklarını bildirmişlerdir. Çalışmamızda, SLES ve NI yüzey aktif maddelerinin *Pseudomonas putida* (NRRL-B13) tarafından biyolojik parçalanması, 33 gün süreyle 28 °C'de çalkalamalı ortamda incelendiğinde, SLES ve NI parçalanma oranları sırasıyla %61 ve %53; durgun ortamda incelendiğinde ise, %51 ve %44 olarak bulunmuştur.

Cosovic et al. (1985), Yugoslavya'da Sava, Drava ve Kupa nehrinde yapmış oldukları çalışmada, üç haftalık inceleme periyodunda nehirdeki yüzey aktif maddelerinin parçalanmaya dirençli olduğunu, sodyum liginosülfonat ve Triton-X-100 adlı bu aktif maddelerin % 20'den daha az oranda parçalandıklarını bildirmişlerdir. Bunun nedeninin, deterjan aktif maddelerinin kimyasal yapısı olabileceği gibi, ortamda bulunan mikroorganizmaların da olabileceğini bildirmişlerdir. Çalışmamızda, Porsuk Çayı'nda bulunan yüzey aktif maddeler parçalanmaya dirençli olmayıp, 0.432 mg/l olan yüzey aktif madde miktarı, 33 günde, 28 °C'de durgun ve çalkalamalı ortamlarda %68-85 oranlarında parçalanmıştır.

4. SONUÇ

Saf mikroorganizma kültürleri içeren ortamlarda deterjan parçalanması, karışık mikroorganizma kültürlerini içeren ortamlardaki deterjan parçalanmasından daha düşük olmaktadır. Deterjan aktif maddelerini parçalayan mikroorganizmaların, Porsuk Çayı'nda doğal olarak bulunması, Porsuk Çayı'ndaki deterjan kirliliğinin önlenmesine neden olabilir. Deterjan üretici firmaların, biyolojik olarak parçalanabilen deterjan ve aktif maddelerin üretilmesi konusunda daha duyarlı davranmaları sonucunda ve endüstri kuruluşlarının atıksularındaki deterjanların ayrıştırılmasında, bunları karbon kaynağı olarak kullanabilen mikroorganizmalar vasıtasıyla çevre kirlenmesindeki büyük bir problemin çözülebileceği görüşüdeyiz.

KAYNAKÇA

- APHA, (1992). Standard Methods For the Examination of Water and Waste Water. American Public Health Association 1015 Fifteen st. NM:, Washington, DC 20005, USA, 18 th ed., 5, ss. 36-38.
- Cosovic, B., Vojvodic V. ve Plese, T. (1985). Electrochemical determination and characterization of surface active substances in freshwaters. *Water Research*, 19, 175-183.
- Çakır, E. (1998). Porsuk Çayı'nda Deterjanları Parçalayan Mikroorganizmaların Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Doğan, F., Tokgöz, M. ve Tarımcı, A.A. (1986). İzmir şehri içme ve kullanma sularında deterjan araştırması. *Anadolu Tıp Dergisi*, 8, 93-102.
- Gürgan, V. ve Halkman, A.K. (1988). *Mikrobiyolojide Sayım Yöntemleri*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayın No:7, San Matbaası, Ankara.
- Okpokwasili, G.C. ve Nwabuzor, C.N. (1988). Primary biodegradation of anionic surfactants in laundry detergents. *Chemosphere*, 17, 11, 2175-2182.
- Okpokwasili, G.C. ve Olisa, A.O. (1991). River-water biodegradation of surfactants in liquid detergents and shampoos. *Water Research*, 25, 1425-1429.
- Orhan, Y. ve Büyükgüngör, H. (1994). Yüzey aktif maddelerin pseudomonas putida kullanılarak biyodegradasyonunun incelenmesi. II. *Ulusal Biyoteknoloji Simpozyumu Bildiri ve Poster Özetleri Kitabı*, s. 6.
- Özkalp, B. ve Özçelik, S. (1988). Türkiye'de üretilen bazı deterjanların biyolojik yolla parçalanabilme durumlarının araştırılması. IX. *Ulusal Biyoloji Kongresi, Genel Biyoloji, Numerik Taksonomi ve Kantitatif Ekoloji Paneli Bildirileri*, Cilt:1, ss. 217-226.

Öztürk, M.A. ve Türkan, İ. (1989). *Canlılar ve Çevre*. Ege Üniversitesi Ofset Basımevi, İzmir.

Takada, H., Mutoh, K., Tomita, N., Miyadzu, T. ve Ogura, N. (1994). Rapid removal of linear alkylbenzenesulfonates (LAS) by attached biofilm in an urban shallow stream, *Water Research*, 28, 1953-1960.

Uslu, O. ve Türkman, A. (1987). *Su Kirliliği ve Kontrolü*. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları, Eğitim Dizisi 1, Ankara.

Yaramaz, Ö. (1992). *Çevre ve Su Kirliliği*. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.



Erdoğan Çakır 01.10.1972 Eskişehir doğumludur. İlk, orta ve lise tahsilini Eskişehir'de tamamladı. 1990 yılında Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü'ne girerek 1994 yılında lisans öğrenimini tamamladı. Aynı yıl Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Genel Biyoloji Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans'a başladı ve 1998 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 1997 yılında Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü'nde Uzman ünvanıyla göreve başladı. Halen bu göreve devam etmektedir.



Merih Kıvanç 28.01.1954 tarihinde Akşehir'de doğdu. 1977 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümünden lisans, 1983 yılında aynı fakültenin Tarım Ürünleri Teknolojisi Bölümünden Doktora derecesini aldı. 1990 yılında Anadolu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümünde Doçent, 1995 yılında aynı bölümde Profesör oldu. Halen Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Uzmanlık alanı Mikrobiyoloji, yabancı dili İngilizcedir.