

## 4-Klorofenolün aktif çamurda kometabolik ayrışması üzerine biyosurfaktan etkisi

Ayla UYSAL<sup>\*1</sup>, Ayşen TÜRKMAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Batı Kampüsü, Isparta

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tinaztepe Kampüsü, Buca, İzmir

### Özet

Bazı kimyasal endüstri atıksularında bulunan klorlu fenolik bileşikler organizmalar üzerinde önemli toksik etkilere neden olurlar ve sıklıkla biyolojik ayrışmaya karşı direnç göstermektedirler. Kometabolizma son zamanlarda klorlu solventler gibi ayrışmaya direnç gösteren bileşiklerin biyolojik arıtımında önemli bir teknik olarak belirmiştir. Kometabolizma ile biyolojik ayrışmada hücre büyümesi için uygun bir büyüme maddesine ihtiyaç duyulmaktadır. Biyosurfaktanlar su ve toprak ortamında ayrışmaya karşı direnç gösteren kirleticilerin giderimini artırabilmektedir. Bu çalışmada büyüme maddesi olarak glikoz kullanan aklime edilmiş karışık kültür ile 4-Klorofenol'ün (4-KF) ayrışması üzerine biyosurfaktanın etkisi, çamur yaşı 10 gün ve hidrolik bekletme süresi 17 saat olarak sabit tutulması ile aktif çamur reaktörü kullanılarak incelenmiştir. Biyosurfaktan olarak JBR 425 rhamnolipid, kritik misel konsantrasyonunda (15 mg/l) kullanılmıştır. Biyosurfaktanın eklendiği reaktör (test reaktörü) ile, eklenmediği kontrol reaktörü aynı 4-KF ve KOİ yükleme hızlarında paralel olarak çalıştırılmıştır. 4-KF konsantrasyonu 40-250 mg/l aralığında uygulandığı zaman, kontrol ve test reaktöründe 4-KF giderim verimleri %97.1-91.1 ve %98-96.5 aralığında olmuştur. Bu 4-KF konsantrasyon aralığında, 4-KF giderim verimindeki azalma biyokütlenin 4-KF'e adaptasyonundan dolayı önemsizdir. 4-KF konsantrasyonu 350-450 mg/l aralığında uygulandığı zaman, kontrol reaktöründe arıtma verimi %80-76.64 aralığında iken, test reaktöründe %86.5-84.6 aralığında olmuştur. Test reaktöründe biyosurfaktan glikoza ilave olarak biyokütle üretiminde kullanıldığından dolayı biyokütle konsantrasyonu kontrol reaktörüne göre daha yüksek olmuştur. Biyosurfaktan mevcudiyeti 4-KF'ün biyokütle üzerine olan toksisitesini azalttığından 4-KF'ün ayrışma hızı artmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Aktif çamur, biyokütle, biyosurfaktan, 4-klorofenol, toksisite.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Ayla UYSAL. auysal@mmf.sdu.edu.trf; Tel: (246) 211 16 97.

Bu makale, 07-09 Haziran 2006 tarihleri arasında İstanbul'da düzenlenen 10. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumunda sunulan bildirilen arasından, İTÜ Dergisi/e Su Kirlenmesi Kontrolü dergisinde basılmak üzere seçilmiştir. Makale metni 17.10.2006 tarihinde dergiye ulaşmış, 19.10.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Effect of biosurfactant on cometabolic degradation of 4-chlorophenol in activated sludge

### Extended abstract

Chlorophenols are introduced to the environment through man-made activities, such as waste incineration, uncontrolled use of wood preservatives, pesticides, fungicides and herbicides as well as bleaching of pulp with chlorine. Chlorophenols discharge into the environment is of great concern because of their toxicity and suspected carcinogenicity. Hence, the removal of phenol and chlorinated organic compounds from wastewater is necessary task to conserve the water quality of natural water recourses. Different physical, chemical and biological methods such as activated carbon adsorption, chemical oxidation and aerobic/anaerobic biological degradation were used for removal of chlorophenols from wastewater. Adsorption and ion exchange methods were usually used to concentrate the chlorophenols on the solid phase, which require further treatment by chemical or biological oxidation for complete mineralization. Chemical oxidation methods are fast, but expensive and also may result in formation of undesirable by products. Despite the recalcitrant nature of chlorophenols, there are still some efforts toward their biological treatment with specialized culture conditions, because of economical reasons and a low possibility of byproduct formation. Aerobes are more efficient at degrading toxic compounds because they grow faster than anaerobes and usually achieve complete mineralization of toxic organic compounds, rather than transformation, as in the case of anaerobic treatment. However, it has been reported that chlorinated solvents generally cannot serve as a single carbon and energy source for microbial growth, but rather must be biodegraded by cometabolism. The nongrowth substrate, then, can only be transformed in the presence of a growth substrate, a phenomenon called cometabolism. For biological degradation of toxic compounds degraded through cometabolic pathways, a suitable growth substrate, which serves as sources of carbon and energy to support cell growth, is required. It is quite common that an organic compound is chosen as a growth substrate because it can support cell growth of the cometabolizing bacterium naturally. Numerous studies have focused on the biodegradation of 4-CP under aerobic conditions in fed-batch reactors, in sequencing batch reactor and in special culture. Limited number of studies was reported on biological treatment of 4-CP using activated sludge by continuous operations.

When practical application of engineering systems are considered, however, the fate and effect of 4-CP in continuously operated systems with a mixed culture gains importance. Surfactants can either be chemically synthesized (synthetic) or microbially produced (biosurfactants). Biosurfactants are usually classified based on their biochemical nature and the microbial species producing them. For specific applications, biological surfactants have advantages over synthetic surfactants due to their structural diversity, biodegradability, and effectiveness at extreme temperatures, pH and salinity. Biosurfactant applications in the environmental industries are promising due to their biodegradability, low toxicity and effectiveness in enhancing biodegradation and solubilization of low solubility compounds. A number of researchers indicated surfactant enhancement in microbial degradation of organic contaminants. However, there are no studies in literature on enhanced biodegradation of 4-chlorophenol using a biosurfactant in an activated sludge bioreactor. In this study, the effect of biosurfactant on degradation of 4-Chlorophenol (4-CP) by acclimated mixed culture using glucose as a growth substrate was investigated by an activated sludge reactor. JBR 425 rhamnolipid was used as biosurfactant. Test reactor with added biosurfactant and control reactor (without biosurfactant) were used in parallel tests. The results of this study show that 4-CP degradation can be enhanced in the presence of biosurfactant by cells grown on glucose as the growth substrate. When the 4-CP concentration was applied between 40-250 mg/l, 4-CP removal efficiencies ranged between 97.1-91.1% and 98-96.5% in the control and test reactor. In this range of 4-CP concentrations, the decrease in 4-CP removal efficiency was not significant in both of the reactors because of the biomass adaptation to 4-CP. When the 4-CP concentration was applied between 350-450 mg/l, while 4-CP removal efficiency ranged between 80-76.64% in the control reactor, it ranged between 86.5-84.6% in the test reactor, respectively. Addition of biosurfactant in the test reactor would increase the COD removal capacity in the presence of 4-CP. The presence of biosurfactant may have attenuated the toxicity of 4-CP on biomass, and consequently enhanced the biodegradation rate of 4-CP and COD. As a result of using glucose as the growth substrate, competitive inhibition with 4-CP can be avoided. Moreover, the use of glucose would not result in additional environmental pollution as opposed to using phenol.

**Keywords:** Activated sludge, biomass, biosurfactant, 4-chlorophenol, toxicity.

## Giriş

Biyolojik ayrışmaya karşı direnç gösteren ve toksik özelliklere sahip klorofenollü bileşikler arasında, monoklorofenoller (2-klorofenol, 3-klorofenol ve 4-klorofenol) başlıca tekstil endüstrisi boyarmaddelerinin ara ürünü olarak, poliklorofenollerin üretiminde ve kömürden kükürt ve azot bileşiklerinin ekstraksiyonunda kullanılmaktadırlar (Pandiyan vd., 2002; Takeuchi, vd., 2000; Annachhatre ve Gheewala, 1996).

4-klorofenol (4-KF), atıksuların klorlanması, kağıt hamurunun klorla beyazlatılması ve 2,4-diklorofenoksiasetik asit gibi fenoksi herbisitlerin bozunması sırasında oluşmaktadır (Pritchard vd., 1987). 4-KF aynı zamanda pentaklorofenol gibi oldukça yüksek klorlu fenollerin anaerobik ayrışma ürünüdür (Madsen ve Aamand, 1992; Woods vd., 1989). Literatürde yer alan çalışmalarda 4-KF'ün aktif çamur reaktöründe saf kültür kullanılarak 10 mg/l den 350 mg/l ye kadar olan geniş bir konsantrasyon aralığında aerobik bakteriler ile ayrıştırılabildiği belirlenmiştir (Puhakka ve Melin, 1996; Ellis vd., 1996; Elvang vd., 2001).

Biyolojik arıtma klorofenollerin güç ayrışabilir yapılarına rağmen, ekonomik nedenler ve yan ürün oluşumunun düşük olmasından dolayı, diğer arıtma yöntemlerine göre daha cazip bir alternatiftir (Wang vd., 2000). Bununla beraber, klorlu bileşikler genellikle mikrobiyal büyüme için karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılmadığından, kometabolizma ile biyolojik olarak ayrışabilirlik tercih edilmektedir. Kometabolizma aracılığıyla toksik bileşiklerin biyolojik olarak ayrışabilmeleri için, hücre büyümesinde karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılacak, uygun bir büyüme maddesine ihtiyaç olmaktadır (Wang ve Loh, 1999). 4-KF ayrışabilir bir madde olmakla beraber, daha kolay biyolojik olarak ayrıştırılabilen bir substrat varlığında ayrışma hızı artmaktadır. Bu çalışmada, 4-KF'ün ayrışmasında büyüme maddesi olarak glikoz seçilmiştir.

Surfaktanlar kimyasal olarak ya da mikrobiyolojik olarak üretilebilmektedir. Kimyasal yöntemlerle üretilen surfaktanlar sentetik surfaktanlar, mikrobiyolojik olarak birçok farklı mik-

roorganizma tarafından çoğunlukla oksijenli ortam koşullarında üretilenler ise mikrobiyal surfaktanlar (biyosurfaktanlar) olarak isimlendirilmektedir. Bu tür biyolojik temelli surfaktanların avantajları, biyolojik olarak doğayla uyumluluk içermeleri ve sentetik surfaktanlara göre toksisitelerinin düşük olmasıdır. Belirli hidrokarbon kirleticilerinin mikrobiyal ayrışmasının biyosurfaktanların eşzamanlı üretimi ile kolaylaştığı belirlenmiştir (Thangamani ve Shreve, 1994).

Biyosurfaktan mevcudiyetinde biyolojik prosesler, biyosurfaktan, organik bileşik ve mikroorganizma arasındaki etkileşimden dolayı etkilenmektedir. Biyosurfaktanlar hidrokarbon metabolizmasında farklı roller oynayabilmektedir. Hidrokarbon bileşiğinin biyosurfaktan miselleri içine alınmasıyla, mikroorganizmalar tarafından alımı kolaylaşmaktadır (Miller ve Bartha, 1989).

Daha önce yapılmış olan çalışmalarda, başlıca PAH'ların (çoklu zincirli aromatik hidrokarbonların) ayrışması üzerine surfaktanların etkileri araştırılmıştır. Ancak, klorlu fenoller de surfaktan destekli ayrışma için iyi bir adaydır (Cort vd., 2002).

Zhang ve arkadaşları (1998), aerobik reaktör sisteminde yaptıkları çalışmada klorlu hidrokarbon bileşiklerini içeren atıksuya surfaktan eklenmesi ile biyolojik ayrışmanın hızlandığını ve aynı zamanda surfaktan karbon kaynağı olarak kullanıldığından mikrobiyal büyümenin de arttığını saptamışlardır. Diehl ve Borazjani (1998), kesikli aerobik reaktörde yaptıkları çalışmada Span 80 ve Tergitol surfaktanlarına göre Brij 35'de pentaklorofenol (PKF) ayrışmasının daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Cort ve arkadaşları kesikli olarak yaptıkları çalışmada (2002), TNP 10 noniyonik surfaktanının yüksek konsantrasyonlardaki PKF (pentaklorofenolün) biyolojik ayrışma hızını artırdığını saptamışlardır.

Yapılan çalışmalardan da görüleceği üzere, çok sayıda araştırmacı, organik kirleticilerin mikrobiyal ayrışmasının surfaktan kullanımı ile arttığını belirtmişlerdir. Bununla beraber, literatürde aktif çamur biyoreaktöründe biyosurfaktan

kullanımının klorofenollerin biyolojik ayrışması üzerine etkilerinin incelendiği az sayıda çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; 4-KF giderimini artırmak için aerobik reaktör sistemindeki 4-KF'ü ayrıştıran karışık kültüre biyosurfaktan eklenmesinin sistem performansı üzerindeki etkisini araştırmaktır.

## Materyal ve metot

### Aerobik reaktör modeli

Laboratuar koşullarında kurulan model reaktör sistemi Şekil 1'de gösterilmektedir. Paslanmaz çelikten yapılmış tam karışimli aerobik reaktör deneysel çalışmada kullanılmıştır. Aerobik reaktörün hacmi 8.75 litre ve çökeltme ünitesinin hacmi 1.15 litredir. Atıksu girişi, besleme pompası ile reaktörün üstünden sürekli olarak yapılmıştır. Aerobik reaktör hava pompası ile havalandırılmıştır. Çamur yaşı her gün aerobik reaktörden aktif çamurun belirli hacminin atılması ile 10 gün olarak ayarlanmıştır.

### Mikroorganizma

Aerobik reaktörde karışık kültür kullanılmıştır. Aşı çamuru İzmir Pakmaya Endüstrisi arıtma tesisinin aerobik ünitesinden elde edilmiştir.

### Sentetik atıksu

Çalışma boyunca kullanılan sentetik atıksu bileşimi, karbon kaynağı olarak glikoz, azot kaynağı olarak üre, fosfor kaynağı olarak  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,

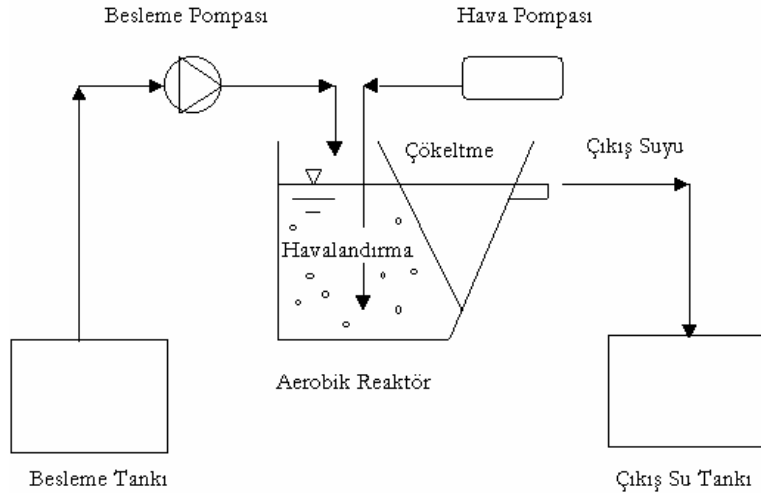
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$  ve çeşitli konsantrasyonlarda (0-450 mg/l) 4-KF'den oluşmuştur. Deneysel çalışma boyunca azot ve fosfor konsantrasyonları C/N/P=100/10/2 olacak şekilde ayarlanmıştır.

### Analitik yöntemler

Numuneler, sıvı ortamdan mikroorganizmaları gidermek için 6000 rpm'de 25 dakika santrifüjlenmiştir. Üst sıvıda KOİ ve 4-KF analizleri Standart Metotlara göre yapılmıştır. KOİ ölçümleri kapalı reflux kolorimetrik yöntemi ile yapılmıştır (APHA, 1992). 4-KF ölçümünde, 4-aminoantipirin kolorimetrik tekniği kullanılmıştır (APHA, 1992). Askıda katı madde ölçümleri çamur örneklerinin membran filtrasyonu ile Standart Metotlara (APHA-AWWA, 1992) göre yapılmıştır.

### İşletme koşulları

Başlangıç aşamasında aerobik reaktör yoğun bir aktif çamur kültürü elde etmek amacıyla kesikli düzende glikoz ile beslenmiştir. Yoğun kültür elde edildikten sonra sürekli düzende işletilen sisteme geçilmiştir. Hidrolik bekletme süresi 75 günlük işletim periyodu boyunca 17 saat olarak sabit tutulmuştur. Çamur yaşı her gün aerobik reaktörden belirli miktarda çamurun atılması ile 10 gün olarak ayarlanmıştır. İşletim boyunca aerobik reaktördeki pH 7.2 ile 7.8 aralığında değişmiştir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu 3 mg/l civarında muhafaza edilmiştir.



Şekil 1. Kullanılan tam karışimli aktif çamur reaktör model sistemi

Karışık kültür, başlangıçta 4-KF'ün yokluğunda reaktör performansını belirleyebilmek için sadece glikoz ile beslenmiş, daha sonra yavaş yavaş 4-KF'e aklime edilmiştir. Kontrol reaktöründe besleme suyu, biyosurfaktanın 4-KF giderimindeki etkisini belirleyebilmek için biyosurfaktan içermemektedir. Kontrol reaktörü ile paralel çalıştırılan test reaktörü giriş besleme suyu biyosurfaktan içermektedir.

4-KF yükleme hızı 4-KF konsantrasyonunun ayarlanması ile değiştirilmiştir. Giriş 4-KF konsantrasyonu işletim boyunca 0, 5, 40, 100, 150, 250, 350 ve 450 mg/l olacak şekilde kademeli olarak artırılmıştır. 4-KF konsantrasyonu 250 mg/l'ye artırılınca kadar KOİ konsantrasyonu 500 mg/l olarak sabit tutulmuştur. 4-KF konsantrasyonu 350 ile 450 mg/l konsantrasyonlarında uygulandığı zaman KOİ konsantrasyonu 850 mg/l olarak sabit tutulmuştur.

## DeneySEL ÇALIŞMA

### Sonuçlar ve değerlendirme

*4-KF arıtım verimlerinin karşılaştırılması-* Reaktörler işletmeye alma periyodunda 18 gün boyunca giriş KOİ konsantrasyonu 500 mg/l olacak şekilde sadece glikoz ile beslenmiş, bu periyot sonunda kontrol reaktöründe %81.4, test reaktöründe ise %81.5 KOİ arıtım verimi elde edilmiştir. Bu periyottan sonra reaktörler 5 mg/l 4-KF dozlamasına başlanmıştır. 10 günlük 4-KF aklimasyon periyodu sonunda, kontrol reaktöründe %98.4 ve test reaktöründe %98.9 4-KF giderimi elde edilmiştir.

4-KF aklimasyon periyodundan sonra, reaktörler 40-450 mg/l aralığındaki 4-KF konsantrasyonlarında işletilmişlerdir. Bu 4-KF konsantrasyon aralığında test reaktöründe 15 mg/l biyosurfaktan konsantrasyonu (kritik misel konsantrasyonu) uygulanmıştır.

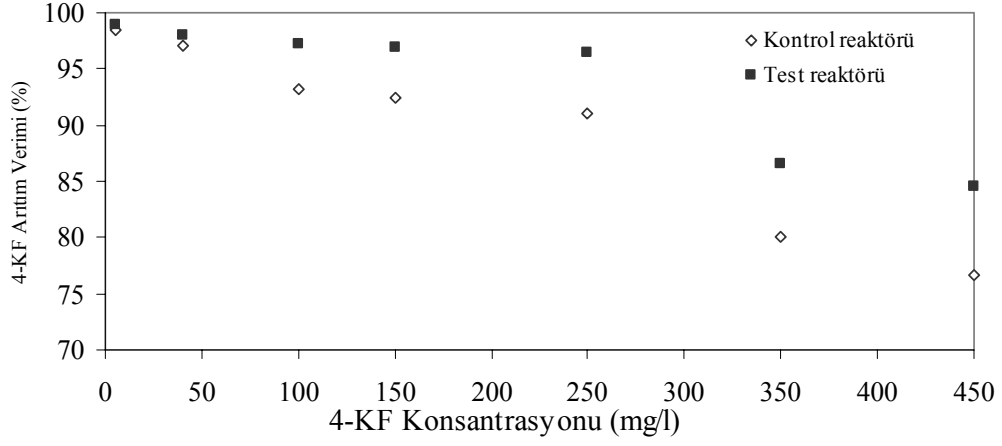
Şekil 2 biyosurfaktan uygulaması ile kontrol ve test reaktöründe 4-KF giderim verimlerinin karşılaştırılmasını göstermektedir. Şekil 2'den görüldüğü üzere, 40 mg/l 4-KF işletimi sonunda, 4-KF giderim verimleri kontrol reaktöründe %97.1 ve test reaktöründe %98 olmuştur.

4-KF konsantrasyonu 40 mg/l'den 100 mg/l'ye yükseltildiği zaman 4-KF giderim verimi kontrol reaktöründe %93.2'ye düşmüştür. Test reaktöründe, 100 mg/l 4-KF konsantrasyonu giderim verimini olumsuz olarak etkilememiştir (%97.2). 4-KF konsantrasyonu 150 mg/l ve 250 mg/l'ye artırıldığında, kontrol reaktöründe 4-KF giderim verimi %92.4-91.1 aralığında ve test reaktöründe %96.9-96.5 aralığında olmuştur. Bu 4-KF konsantrasyon aralığında, biyokütlenin 4-KF'ne adaptasyonundan dolayı 4-KF giderim verimindeki azalma önemsizdir.

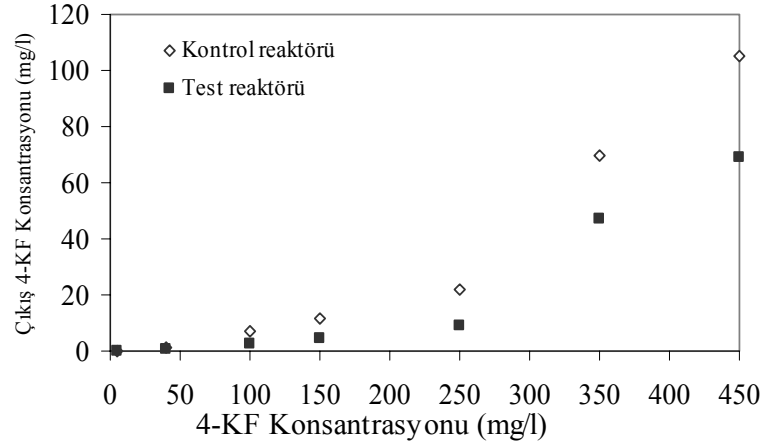
4-KF konsantrasyonunun 250 mg/l'den 350 mg/l'ye yükseltilmesi kontrol reaktöründe %80 ve test reaktöründe %86.5 olan 4-KF giderim verimleri ile önemli bir azalmaya neden olmuştur. İşletimin son fazında, 450 mg/l gibi yüksek 4-KF konsantrasyonu uygulandığı zaman, 4-KF giderim verimi kontrol reaktöründe %76.7 ve test reaktöründe %84.6'ya düşmüştür. Test reaktöründe, 4-KF'ün daha fazla ayrışması glikoz, 4-KF ve biyosurfaktan arasındaki kometabolizma sonucu olmuş olabilir. Biyosurfaktan mevcudiyeti 4-KF'ün biyolojik ayrışmasını olumlu yönde etkilemiştir.

Şekil 3'ten görüldüğü üzere, giriş 4-KF konsantrasyon artışı özellikle kontrol reaktöründe çıkış konsantrasyonlarının artışına neden olmuştur. Giriş 4-KF konsantrasyonu 40 mg/l ile 250 mg/l arasında uygulandığı zaman kontrol reaktöründeki çıkış 4-KF konsantrasyonları 1.16 mg/l ile 22.25 mg/l arasında olmuştur. Test reaktöründe, çıkış 4-KF konsantrasyonu kontrol reaktörüne göre daha yavaş bir şekilde artarak 0.80 mg/l ile 8.75 mg/l aralığında kalmıştır. 4-KF konsantrasyonu 350-450 mg/l arasında uygulandığı zaman, kontrol reaktöründe çıkış 4-KF konsantrasyonu 70-105 mg/l arasında iken, test reaktöründe 47-69 mg/l arasında ölçülmüştür.

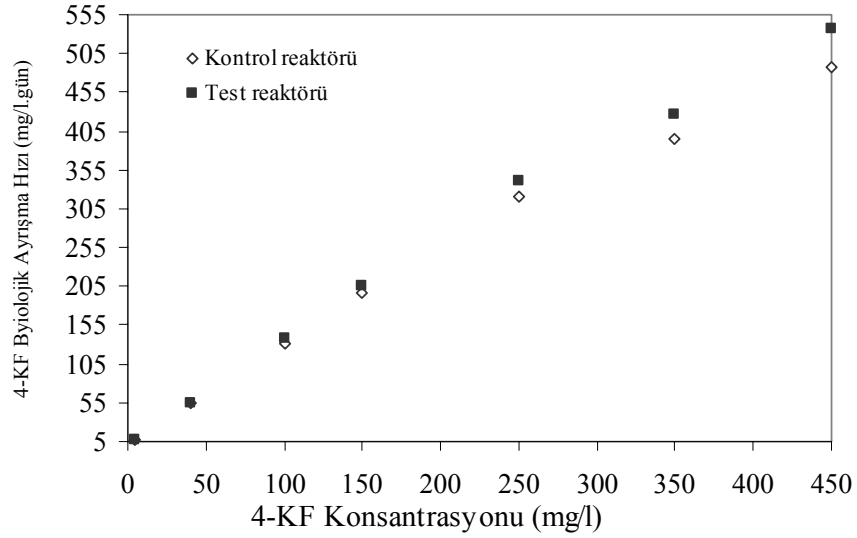
4-KF biyolojik ayrışma hızı üzerine 4-KF konsantrasyonunun etkisi Şekil 4'te gösterilmektedir. Reaktörlerdeki 4-KF giderim verimleri giriş 4-KF konsantrasyonunun artması ile azalmasına rağmen, 4-KF giderim hızı giriş konsantrasyon artışı ile artmaktadır. 4-KF konsantrasyonu 0 dan 450 mg/l'ye yükseltildiği zaman, 4-KF'nin



Şekil 2. 4-KF arıtım verimlerinin karşılaştırılması



Şekil 3. Çıkış 4-KF konsantrasyonlarının karşılaştırılması

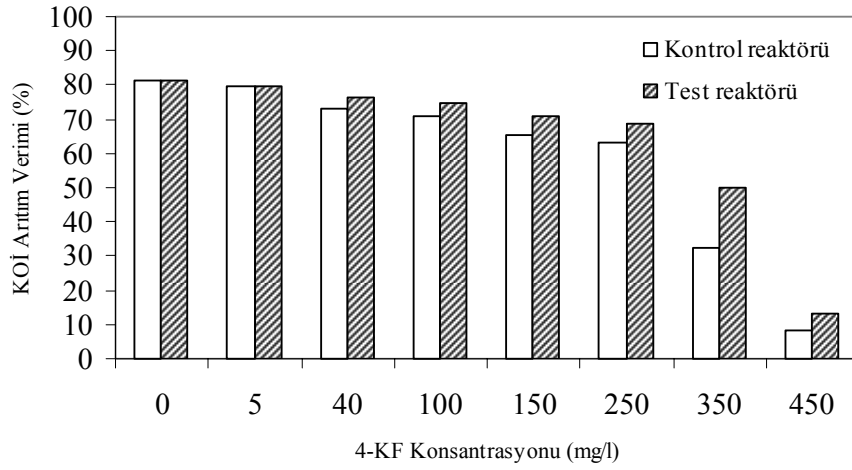


Şekil 4. 4-KF biyolojik ayrışma hızlarının karşılaştırılması

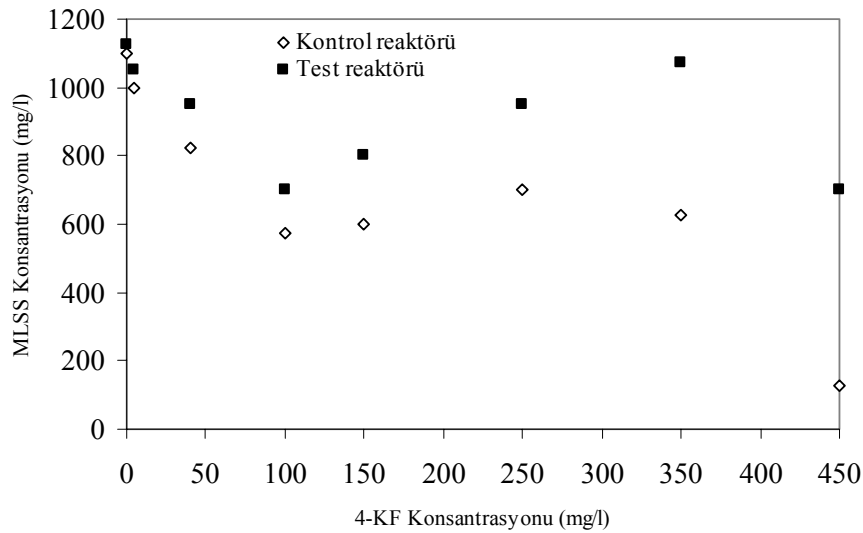
biyolojik ayrışma hızı kontrol reaktöründe 6.95 mg/l.gün'den 487.27 mg/l.gün'e artarken, test reaktöründe 6.98 mg/l.gün'den 537.46 mg/l.gün'e yükselmiştir.

*KOİ arıtım verimleri üzerine giriş 4-KF konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması*-Şekil 5, kontrol ve test reaktöründe 4-KF konsantrasyonuna karşılık KOİ arıtım verimlerini göstermektedir. 4-KF konsantrasyonu zamanla artarken KOİ arıtım verimleri reaktörlerde azalmıştır. 4-KF konsantrasyonu 40 mg/l ile 250 mg/l arasında uygulandığı zaman, KOİ arıtım verimleri kontrol reaktöründe %73 ile %63 aralığında ve test reaktöründe %76 ile %69 aralığında değişmiştir.

4-KF konsantrasyonu 250 mg/l'den 350 mg/l'ye artırıldığı zaman reaktörlerde KOİ giderim verimleri belirgin bir şekilde azalma tespit edilmiştir. Kontrol reaktöründe, KOİ giderim verimi %63'den %32'ye test reaktöründe ise %69'dan %50'ye düşmüştür. 4-KF konsantrasyonu 350 mg/l'den 450 mg/l'ye artırıldığı zaman KOİ arıtım verimleri biyokütle üzerine 4-KF'ün inhibe edici etkisinden dolayı kontrol ve test reaktöründe %8.2 ve %13.4'e azalmıştır.



Şekil 5. KOİ arıtım verimlerinin karşılaştırılması



Şekil 6. MLSS konsantrasyonlarının karşılaştırılması

MLSS konsantrasyonu üzerine giriş 4-KF konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması-Şekil 6'da kontrol ve test reaktöründe giriş 4-KF konsantrasyonuna karşılık MLSS konsantrasyonlarındaki değişim gösterilmektedir. İşletmeye alma periyodundan sonra, MLSS konsantrasyonu kontrol reaktöründe 1100 mg/l ve test reaktöründe 1125 mg/l olarak ölçülmüştür. 4-KF konsantrasyonu 5-150 mg/l arasında uygulandığında, biyokütle konsantrasyonu kontrol reaktöründe 1000 mg/l'den 600 mg/l'ye, test reaktöründe 1050 mg/l'den 800 mg/l'ye düşmüştür. 4-KF 250 mg/l'ye artırıldığında, kontrol reaktöründe biyokütle üretimi 700 mg/l, 350 mg/l'ye artırıldığında biyokütle üretimi test reaktöründe 1075 mg/l'ye yükselmiştir. Daha yüksek 4-KF konsantrasyonları 250 ve 450 mg/l arasında uygulandığı zaman, kontrol reaktöründe belirgin bir biyokütle azalması gözlenmiştir. Diğer taraftan, 450 mg/l 4-KF konsantrasyonunda test reaktöründe bir miktar biyokütle kaybı gözlenmiştir

## Sonuç

Bu çalışmada, aktif çamur reaktöründe biyosurfaktan eklenmesinin karışık kültür ile 4-KF'ün biyolojik ayrışması üzerine olan potansiyel etkileri belirlenmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, 4-KF'ün glikoz mevcudiyetinde kometabolik ayrışmasının biyosurfaktan eklenmesi ile artabileceğini ve aynı zamanda biyosurfaktanın mikroorganizmalar üzerine toksik etkisinin olmadığını da göstermiştir. Biyosurfaktan ile ayrışmanın artırılması çeşitli mekanizmalar ile mümkün olabilmektedir. Biyosurfaktan ile ayrışmanın artması, 4-KF glikoz ve biyosurfaktan arasındaki kometabolizma sonucu olmuş olabilir. Biyosurfaktan karbon ve enerji kaynağı olarak kullanıldığından, biyosurfaktan mikrobiyal büyümeyi artırmıştır (Vardar-Sukan ve Kosaric, 2000). Test reaktöründeki biyokütle konsantrasyonu kontrol reaktöründeki konsantrasyondan daha yüksektir. Vardar-Sukan ve Kosaric (2000) biyosurfaktanların endüstriyel atıksuların toksisitesinin giderilmesinde etkili bir şekilde kullanıldığını belirtmişlerdir. Biyosurfaktan mevcudiyeti 4-KF'ün toksisitesini azaltmış ve sonuç

olarak 4-KF'ün biyolojik ayrışması artmıştır. Yüksek 4-KF konsantrasyonları biyokütle üzerine toksik etki yaptığından dolayı, hem glikoz hem de 4-KF'ün oksidasyonu azalmıştır.

## Kaynaklar

- Annachhatre, A.P., Gheewala, S.H. (1996). Biodegradation of chlorinated phenolic compounds, *Biotechnology Advances*, **14**, 1, 35-36.
- APHA (American Public Health Association) (1992). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 18<sup>th</sup> Edn. APHA, Washington, DC.
- Cort, T.L., Song, M. ve Bielefeldt, A.R. (2002). Nonionic surfactant effects on pentachlorophenol biodegradation, *Water Research*, **36**, 1253-1261.
- Diehl, S.V., Borazjani, A. (1998). Enhanced biodegradation of organic wood-preservative contaminated wastewater by commercial surfactants, Technical Completion Report, Water Resources Research Institute Mississippi State University, Mississippi State, Mississippi.
- Ellis, T.G., Smets, B.F., Magbanua Jr., B.S., Grady Jr., C.P.L. (1996). Changes in measured biodegradation kinetics during the long-term operation of completely mixed activated sludge (CMAS) bioreactors, *Water Science and Technology*, **34**, 5/6, 35-42.
- Elvang, A.M., Westerberg, K., Jernberg, C. ve Jansson, J.K. (2001). Use of green fluorescent protein and luciferase biomarkers to monitor survival and activity of *Arthrobacter Chlorophenolicus* A<sub>6</sub> cells during biodegradation of 4-chlorophenol in soil, *Environmental Microbiology*, **3**, 32-42.
- Madsen, T., Aamand, J. (1992). Anaerobic transformation and toxicity of trichlorophenols in a stable enrichment culture, *Applied and Environmental Microbiology*, **58**, 557-561.
- Miller, R.M., Bartha, R. (1989). Evidence from liposome encapsulation for transport-limited microbial metabolism of solid alkanes, *Applied and Environmental Microbiology*, **55**, 269-274.
- Pandiyan, T., Martinez, O., Martinez, J.O., Amezcua, G.B. and Martinez-Carrillo, M.A. (2002). Comparison of methods for the photochemical degradation of chlorophenols. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **146**, 149-155.
- Pritchard, P.H., O'Neill, E.J., Spain, C.M. ve Ahearn, D.J. (1987). Physical and biological parameters that determine the fate of p-chlorophenol in laboratory test systems, *Applied and Environmental Microbiology*, **53**, 1833-1838.



- Puhakka, J.A., Melin, E.S. (1996). Bioremediation of chlorinated phenols, In: Crawford, R.L., Crawford, D.L. (Eds.), *Bioremediation: Principles and applications*. Cambridge University press, UK, 254-299.
- Takeuchi, R., Suwa, Y., Yamagishi, T. ve Yonezawa, Y. (2000). Anaerobic transformation of chlorophenols in methanogenic sludge unexposed to chlorophenols, *Chemosphere*, **41**, 1457-1462.
- Thangamani, S., Shreve, G.S. (1994). Effect of anionic biosurfactant on hexadecane partitioning in multiphase systems, *Environmental Science and Technology*, **28**, 12, 1994-2000.
- Vardar-Sukan, F., Kosaric, N. (2000). Biosurfactants, *Encyclopedia of Microbiology*, Volume 1, Second Edition.
- Wang, S.J., Loh, K.C. (1999). Facilitation of cometabolic degradation of 4-chlorophenol using glucose as an added growth substrate, *Biodegradation*, **10**, 261-269.
- Wang, C.C., Lee, C.M. ve Kuan, C.H. (2000). Removal of 2,4-dichlorophenol by suspended and immobilized *Bacillus Insolitus*, *Chemosphere*, **41**, 447-452.
- Woods, S.L., Ferguson, J.F. ve Benjamin, M.M. (1989). Characterization of chlorophenol and chloromethoxybenzene biodegradation during anaerobic treatment, *Environmental Science and Technology*, **23**, 62-68.
- Zhang, C., Valsaraj, K.T., Constant, W.D., Roy, D. (1998). Nutrient and surfactant enhancement for the biodegradation of chlorinated hydrocarbons in the wastewater from a Louisiana superfund Site, *Journal of Hazardous Materials*, **62**, 41-58.