

## Stirenin Biyolojik Giderim Performansının Araştırılması

Beste YALÇIN ÇELİK<sup>1</sup> Tuba TURAN<sup>2</sup>

**ÖZET:** Divinil benzen (stiren) kimya endüstrisinde geniş çapta kullanılan xenobiyotik organik bileşiklerdendir. Bu yüzden kimya endüstrilerindeki atıksu ve atıkgazlardan bu bileşiğin etkili ve ekonomik giderimine ihtiyaç duyulur. Bu çalışmada stirenin karışık kültür ile aerobik şartlar altında biyolojik giderim performansı incelenmiştir. Dene- meler kesikli şartlarda 50-150 mg L<sup>-1</sup>stirenin farklı başlangıç konsantrasyonları için yürütülmüştür. Mikroorganiz- maların büyümesi üzerine organik bileşiklerin konsantrasyon etkisi araştırma süresince çalışılmıştır. Sonuç olarak kesikli işletme şartlarında kullanılan karışık kültürün stiren gideriminde oldukça yüksek performans gösterdiği bel-irlenmiştir. Karbon ve enerji kaynağı olarak bu bileşikleri kullanan kültür başarılı bir şekilde stireni giderebilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Xenobiyotik bileşikler, stiren, biyolojik arıtım, karışık kültür

## Investigation of The Biological Removal Performance of Styrene



**ABSTRACT:** Divinylbenzene (styrene) are among the xenobiotic organic compounds that are widely used in chemical industries. For this reason, it is necessary to effectively and economically remove these compounds from the waste waters and effluent gases of chemical industries. In this study, the performance of mixed cultures for the biological removal of styrene mixture was investigated under aerobic conditions. Batch experiments were conduct- ed with different initial concentrations of styrene (50-150 mg L<sup>-1</sup>). The effect of the concentration of these organic compounds on the growth characteristics of the microorganisms was studied during the conducted research. In con- clusion, mixed cultures were identified to perform highly satisfactorily in the removal of styrene in batch operating conditions. The culture has successfully removed styrene using these compounds as the carbon and energy source.

**Key word:** Xenobiotic compounds, styrene, biological treatment, mixture culture

<sup>1</sup> Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği, Artvin, Türkiye

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği, Erzurum, Türkiye  
Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: Beste YALÇIN ÇELİK, beste@artvin.edu.tr

## GİRİŞ

Son yıllarda sanayileşme ve endüstriyel gelişme paralel olarak kentlerin büyümesi ve nüfusun artması ile gelişen plansız şehirleşme sonucu çevre kirliliği sorunları gittikçe artmaktadır. Kalkınmanın ana sektörlerinden birisi olan sanayi ve çevre arasında çok yönlü ve birbirlerini etkileyici nitelikte çok sıkı bir ilişki olup, bu etkileşimin yarattığı olumlu sonuçlar yanında, çevre koruma açısından önlemler alınmadığı ve uygun teknolojiler kullanılmadığı takdirde çevre üzerinde olumsuz sonuçlar doğuran bir dengesizlik sorunu ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucunda da kaynaklar giderek tahrip olmakta, çevre hızla kirlenmektedir. Sanayinin gelişmesi ile özellikle son 30 yılda kimyasal ve toksik madde kullanımında önemli artış olmuştur. Birçok teknoloji alanında hammadde ve ara ürün olarak bu maddelerin kullanılması sonucu üretilen atıksuların toksik etkileri çevreyi ciddi şekilde tehdit etmektedir. Su kirliliği, günümüzde karşılaşılan çevre sorunlarının en önemlilerinden birisini oluşturmaktadır. Su kirlenmesinin ana kaynakları; evlerden gelen kullanılmış sular ile sanayi kuruluşları tarafından su yataklarına verilen sıvı atıklardır. Kirleticiler alıcı su ortamında; estetik kirlenmeye, zehirli bir reaksiyona veya su canlılarının yaşam şartlarını bozan taban birikmelerine, biyolojik olarak ayrışarak veya çürüyerek oksijen sarfına ve böylece de bu su çevresinden yararlanan insan grupları ve diğer canlı hayatı için tehlikeli durumların doğmasına sebep olmaktadır.

Suda bulunabilecek her türlü madde belli bir derişimin üzerinde bulunduğunda insan ve diğer canlılar için zararlıdır. Toksik maddeler, suda düşük miktarlarda bulunmaları halinde bile zararlı etkilere sahiptirler. Düşük miktarlarda bile sakıncalı olan bu maddeler "zenobiyotikler" olarak adlandırılan ağır metaller, siyanürler, aromatik çözücüler vs. bileşiklerdir. Zirai aktivitelerde kullanılan gübreler, plastikler, boyalar, pigmentler, çözücüler, halojenli organikler gibi sentetik kimyasallar endüstriyel aktiviteler sonucu üretilirler. Son on yıldır bu kimyasalların önemli bir miktarı pek çok kirlenmiş alandan çevreye serbest bırakılmıştır. Benzen, toluen, stiren, ksilen, etil benzen yıllık milyonlarca ton üretilen endüstriyel aromatik ürünlerden en yaygın 50 sinin içerisinde sayılabilirler. Zararlı atıkların biyolojik yöntemler ile giderilmesi oldukça yavaş olup, bazı özel yöntemler de arıtım için gerekmektedir. Çoğu durumda zararlı atıklar mikroorganizmalar üzerine toksik etki yaptığından fiziksel ve kimyasal yöntemler bu tür atıkların giderilmesinde tercih edilir. Ancak fiziksel ve kimyasal yöntemlerle zararlı atıkları CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dönüştürmek zordur. Ayrıca kullanılan kimyasal maddelerin geri kazanılması da gerekir. Bu nedenle biyolojik yöntemler yavaşta olsa diğer yöntemlere nazaran daha çok

tercih edilirler. Son yıllarda mikroorganizmalar tarafından öncelikle giderilemeyeceği düşünülen birçok bileşik biyolojik proseslerle giderilebilmektedir. Bu durum araştırmacıları toksik kirleticileri giderebilen mikrobiyal çeşitliliği incelemeye yöneltmiştir (Top and Sprin-gael, 2003).

## Divinil Benzen (Stiren)

Stiren, toksik ve kanserojen etkilere sahip, kötü kokulu karakterinden dolayı sık sık hava emisyonlarında problemleri olan önemli bir endüstriyel kimyasaldır. Benzen ve etilenden üretilen bir sıvıdır. Stiren atmosfere endüstriyel üretim, metan yanmaları, yanma prosesleri, bina metaryalleri ve tüketici ürünlerinden yayılır. Stiren 1987'de hava emisyonları kimyasalları arasında 20. sırada yer alır. Endüstriyel stirenin en önemli kaynağı polistiren, sentetik kauçuk ve reçinelerdir. Sularda gözlenen stirenin en önemli kaynağı endüstriyel atıksulardır. Stiren ayrıca kimya, tekstil, kauçuk, kömür yakma tesisleri çıkış sularında gözlenmiştir. Stiren 10 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonda 63 endüstri çıkış suyundan birinde mutlaka gözlenir. Kimya endüstrisi çıkış sularında 970 mg L<sup>-1</sup>'den çok stiren konsantrasyonu rapor edilmiştir (Anonymous, 2005). En basit alkenilbenzen olan stiren çoğu kimya endüstrisinde bir çözücü olarak ve sentetik polimerler için de bir başlangıç materyali olarak kullanılır. Stiren ayrıca polistiren ve stiren-bütadien kauçuk gibi polimerlerin sentezlenmesinde yaygın bir şekilde kullanılır. Bu metaryaller de kauçuk, plastik, yalıtım, fiberglass, boru, otomobil parçaları ve yiyecek kaplarında kullanılır Çevredeki toksik bileşenlerin artması pestisit, pigment, kağıt türevleri, plastik ve polimer üretim endüstrilerinde ileri gelir. Stiren başlıca evsel teçhizat, güçlü plastik yapımı, elektronik plastik üretimi için sentetik bir polimer olarak kullanılır. Stiren sentetik ürün piyasasına katılmakla çevrede büyük bir artış göstermiştir. Stiren 1990'da yalnız ABD'de imal edilen 3.64x10<sup>9</sup> kg ile endüstriyel olarak üretilen en önemli aromatik kimyasallardan biridir (Warhust and Fewson, 1994; Araya et al., 2000). Bunların yanı sıra, doğal mikrobiyal ve mantar metabolizmaları, sigara dumanı, otomobil egzozları gibi kaynaklardan da düşük miktarlarda üretilir. Stiren; meyve, sebze, fındık, ceviz, meşrubat, et gibi yiyecek çeşitlerinde olduğu kadar bitkilerde de doğal olarak düşük oranlarda mevcuttur (Bina et al., 2004; Jang et al., 2005; Park et al., 2005). 1990'da stirenin insan sağlığına olan zararlı etkilerinden dolayı CAAA (Clean Air Act Amendments) tarafından 189 tehlikeli ve toksik kirleticiler arasında listelenmiştir. EPA ve IARC tarafından da kanserojen madde olarak sınıflandırılır. Stirenin insanlardaki akut etkisi gastro-

intestinal bozukluklar ve gözlerde tahriş olarak kendini gösterirken kronik olarak ise; başağrısı, yorgunluk, zayıflık, depresyon, merkezi sinir sistemi bozuklukları ve işitme kaybı gibi rahatsızlıklarla kendini gösterir (Bina et al., 2004). Stiren atık sularında biyolojik olarak giderilebilir. Alışmış bir mikroorganizma topluluğu ile 5 günde stirenin %42'sinin giderildiği belirtilmiştir. Stirenin yüzey sularında biyolojik giderim oranı oldukça düşüktür, yarılanma ömrü 6 haftayla 7,5 ay arasındadır (Anonymous, 2005).

Hem endüstriyel hem de çevresel olarak önemli bir molekül olan stirenin yaygın alanlarda kullanımının bir sonucu olarak, bu bileşiğe karşı bilim adamlarının ilgisi artmıştır. Bu nedenle stirenin mikrobiyal ve memelilerdeki metabolizması son yıllarda çok incelenen bir konu olmuştur. Mikroorganizmalar kullanılarak yapılan biyolojik giderim, stireni gidermede fiziksel ya da kimyasal proseslerden daha iyidir. Pek çok araştırmacı bu bileşiğin biyolojik gideriminin çeşitli yollarını artan bir şekilde araştırmaktadırlar (O'Connor et al., 1995; Money et al., 2006; Jung and Park, 2005).

Yapılan çoğu çalışma *Pseudomonas* spp. üzerine odaklanmıştır. Son çalışmalarda diğer stiren gideren bakterilerde tanımlanmıştır. Aerobik şartlar altında stireni giderme yeteneğine sahip olan türler; *Pseudomonas*, *Xanthobacter*, *Rhodococcus*, *Methylosinus*, *Methylococcus*, *Brevibacterium* gibi alkali kullanan yapılarıdır (Arnold et al. 1997; Jang et al. 2006). Bu mikroorganizmalar stireni iki farklı biyokimyasal yol ile giderirler. Birinci yol, stirenin 3-vinilkatekole dönüşümü ve aromatik nükleotidlere saldırması olan dioksijenaz reaksiyonudur. İkinci yol, bakteri türleri arasında birinci yoldan daha popüler olan monooksijenaz reaksiyonudur (Cox et al., 1996; Gennaro et al., 1999; Bestetti et al., 2004; Park et al., 2005).

Fallah et al. (2010a, 2010b) stiren içeren sentetik atıksu arıtımı için bir batık membran biyoreaktörün uzun süreli işletilmesini çalışmışlardır. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) 1500 mg L<sup>-1</sup> ve stiren konsantrasyonunu 50 mg L<sup>-1</sup>'ye sahip sentetik atıksuyla çalışmışlardır. Stiren giderimi için bir membran biyoreaktör kullanılmıştır. 18 ve 24 saatlik hidroliz kalış sürelerinde reaktör 100 gün çalıştırılmıştır ve her iki kalış süresi içinde %99'dan daha yüksek stiren ve KOİ giderim verimini tespit etmişlerdir. Membran biyoreaktörde stiren giderim mekanizmasının biyolojik giderime özgü olduğunu belirtmişlerdir. Toplam stiren giderimi üzerine uçmanın katkısının klasik aktif çamur prosesiyle karşılaştırıldığında membran biyoreaktörde daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.

Bu çalışmada stirenin biyolojik giderimi karışık kültür kullanılarak incelenmiştir. Tek karbon ve enerji kaynağı olarak stireni kullanan kültür başarılı bir şekilde stireni giderebilmiştir. Bu veriler daha sonra yapılacak olan stirenin biyolojik giderim yöntemlerine bir ışık tutacaktır.

## MATERYAL VE METOT

**Mikroorganizma ve Sentetik Atıksu:** Aerobik stiren gideriminde kullanılan aktif çamur, Erzincan Kenti Atıksu Arıtma Tesisinden sağlanmıştır. Çamur, karbon kaynağı olarak stiren ile beslenerek mikroorganizmaların bu maddelere adaptasyonu sağlandıktan sonra çalışmaya başlanmıştır. Mikroorganizmaların canlılıklarını sürdürürebilmeleri için kullanılan sıvı besi ortamı; karbon kaynağı olarak stiren (Sigma-Aldrich marka), ve Çizelge 1'de verilen bileşenlerden (Merck marka) oluşmaktadır

**Metot:** Aerobik şartlar altında stirene alıştıran mikroorganizmalar ile kesikli denemelere başlanmıştır. Kesikli denemelerde sabit bir başlangıç mikroorganizma konsantrasyonunda, farklı konsantrasyonlarda stiren hazırlanarak erlenlere ilave edilmiş, stiren ve mikroorganizma konsantrasyonlarının zamana göre değişimi takip edilmiştir. Denemeler süresince erlenler 110 rpm karıştırma hızında, 25°C sıcaklıkta tutulmuştur ve pH 7'de çalışılmıştır. Çalışmalar yürütülürken pH ayarlaması hem başlangıçta hem de deney anında 1N'lik NaOH ve 1N'lik HCl ile yapılmıştır. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu 2 mg L<sup>-1</sup> de sabit tutulmuştur. Erlenlerin ağzı sıkıca kapatılarak stirenin atmosfere uçulduğu önlenmiştir.

Öncelikle mikroorganizmalar aerobik şartlarda yaklaşık bir ay stirene alıştırmıştır. Daha sonra başlangıç stiren konsantrasyonları 50 ile 150 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonları arasında değişen miktarlar ortama ilave edilerek aerobik şartlarda kesikli denemeler yapılmıştır. Mikroorganizma konsantrasyonu her deneme için yaklaşık olarak 200 mg/L seçilmiştir. AKM ve KOİ ölçümleri standart metotlarda verilen yöntemlerle belirlenmiştir. Çalışmada mikroorganizma konsantrasyonunun ölçümleri spektrofotometrik olarak spektrofotometrede (Spekol 1100, Carl Zeiss Technology) yapılmıştır. Standart metotlara göre 525 nm'de kalibrasyon eğrileri hazırlanmış ve mikroorganizma konsantrasyonları bu eğrilere göre bulunmuştur. KOİ analizi standart metotlarda belirtilen yöntemlere uygun olarak yapılmıştır. KOİ ölçümü için, 850 mg Potasyum Hidrojen Fitalat 0,5 L saf suda çözülerek elde edilen 2000 mg L<sup>-1</sup> KOİ stok çözeltisinden standartlar hazırlanmıştır. Daha sonra bu

**Çizelge 1.** Sentetik atıksuya katılan besi elementlerinin miktarları

Kimyasal Madde	Konsantrasyon (g L <sup>-1</sup> )
Amonyum sülfat ((NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	1.0
Magnezyumsülfat (MgSO <sub>4</sub> )	0.58
Kalsiyumklorür (CaCl <sub>2</sub> )	0.05
Potasyum fosfat (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	3.4
Potasyum di fosfat (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )	0.6
Demir III klorür (FeCl <sub>3</sub> )	0.005

standartlardan 1.5 ml alınarak üzerine litresinde 10,216 g K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, 167 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve 33 g HgSO<sub>4</sub> bulunan parçalama çözeltisinden 1 ml ve son olarak litresinde 11 g AgSO<sub>4</sub> bulunan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> asit çözeltisinden 1,5 ml eklenerek 148 ± 2 °C'de 2 saat boyunca bir termoreaktörde (WTW marka CR3000 model) ısıtılmıştır. Daha sonra reaktörden alınan örnekler oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulmuş 600 nm'de Spekol 1100 (Carl Zeiss Technology) marka spektrofotometrede absorbans değerleri okunarak kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. KOİ konsantrasyonları bu eğriye göre bulunmuştur.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Stirenin biyolojik giderimi kesikli şartlarda incelenmiştir. Mikroorganizmalar tek karbon ve enerji kaynağı olarak bu bileşiği kullanmışlardır. Stirenin başlangıç konsantrasyonu 50-150 mg L<sup>-1</sup> arasında değiştirilmiştir. Stirenin 20°C'deki çözünürlüğü 310 mg L<sup>-1</sup> olduğu için, bu çalışmada da herhangi bir çözücü madde kullanılmadığından yüksek stiren konsantrasyonlarına çıkılmamıştır. Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3 başlangıç stiren konsantrasyonlarının etkisinin gözlemlendiği grafiklerden stirenin tamamen mikroorganizmalar tarafından tüketildiği gözlemlenmiştir. Karışık kültür 50 mg L<sup>-1</sup> başlangıç stiren konsantrasyonunu yaklaşık 3 saatte giderebilmiştir. Konsantrasyon yükseltildikçe giderim süreside artmıştır. Bu sürenin artma sebebinin ortamda oluşan ara ürünlerin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 4, Şekil 5 ile Şekil 6 grafiklerinde ise stiren için mikroorganizma derişimlerinin zamanla değişimleri gösterilmiştir. Bu grafikler stirenin mikroorganizmalar için karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Tüm stiren başlangıç konsantrasyonlarında lag faz gözlemlenmiştir.

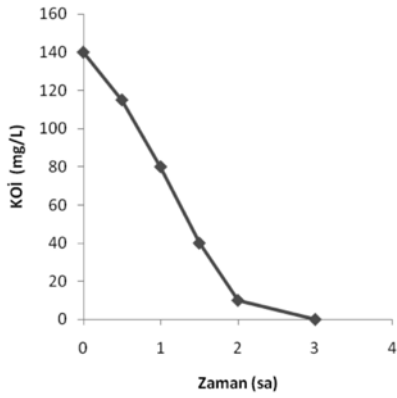
Doğal çevre örneklerinde stirenin biyolojik arıtımı incelenmiş ve stirenin aerobik şartlarda biyolojik gideriminin hızlı bir şekilde olduğu ileri sürülmüştür (Fu and Alexander, 1992). Çeşitli mikroorganizmaların aerobik şartlar altında stireni giderme yeteneğine sahip oldukları bilinmektedir. Bunlar arasında Pseudo-

monas, Xanthobacter, Rhodococcus ve Methylosimus, Methylococcus, Brevibacterium gibi bazı alkan kullanan mikroorganizmalar sayılabilir. Bu mikroorganizmalar stireni iki farklı biyokimyasal yol ile giderirler. Birinci yol, stirenin aromatik nükleotidlerine saldıran dioksijenaz reaksiyonudur ve stiren 3- vinilkatekol'e dönüşür. İkinci yol, bakteri türleri arasında birinci yoldan daha popüler olan monooksijenaz reaksiyonudur. Stiren monooksijenaz (SMO), stiren vinil yan zincirlerine saldırır ve asetaldehit ve fenil asetata daha ileriye oksitleyen stiren oksit üretilir (Beltrametti et al., 1997; Park et al., 2005; Lee et al., 2006; Jang et al., 2006).

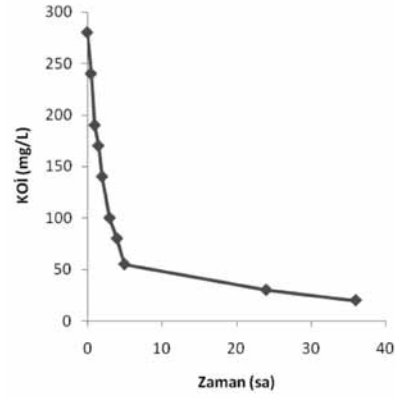
Gaz fazında stirenin biyolojik gideriminin incelendiği pek çok çalışmada mantarlar, çeşitli M.O türleri kullanılmış ve stiren gideriminin gerçekleştiği belirlenmiştir (Lülleman et al., 1997; Jang et al., 2005; Park et al., 2005). Atıksularda stiren giderimi ile ilgili çalışmalara ise literatürde oldukça az rastlanmaktadır. Bir anaerobik giderim prosesinde (UASB reaktör) stirenin toksitesi ve biyolojik giderimi araştırılmış 200 mg stiren ile yapılan kesikli analizlerde stirenin % 74'ünün 7 mL methane/g dönüştürüldüğü tespit edilmiştir (Arya et al., 2000). Anaerobik şartlarda stirenin anaerobik dönüşümünün incelendiği başka bir çalışmada stiren'in 1-10 mmol L<sup>-1</sup> konsantrasyonları tamamen giderilmiştir. İzole edilen Clostridium spp. Enterobacter spp. nin tek karbon ve enerji kaynağı olan stiren de büyüdükleri belirtilmiştir. Enterobacter cloacane DG6'nın saf kültürünün stireni karbondioksit kadar parçaladığını bildirmişlerdir (Gbric-Gallic et al., 1990).

Gaszcak et al., (2009), stirenin mikroorganizmalar için karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Stirenin E-93486 olarak tanımlanan Pseudomonas türündeki bakterilerce parçalandığını belirtmişlerdir. Başlangıç substrat konsantrasyonu 5-90 mg L<sup>-1</sup> arasında değiştirilmiş ve 15 mg L<sup>-1</sup>'den yüksek başlangıç konsantrasyonlarında lag faz gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

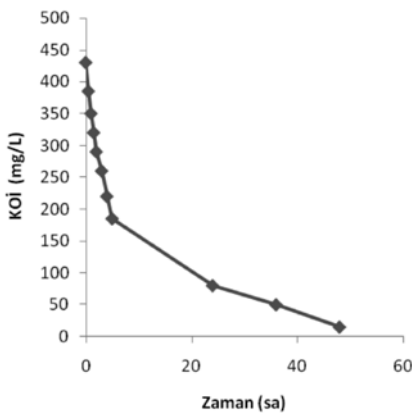
Stirenin çalışma aralığında ve çalışma şartlarında atmosfere uçuculuğunun olmadığı tespit edilmiştir.



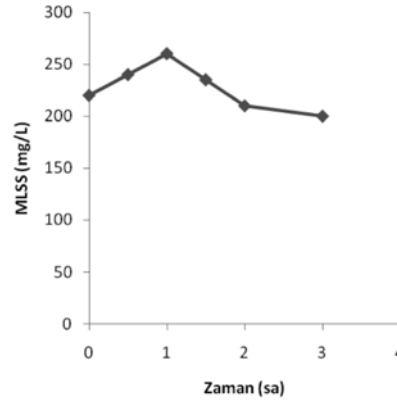
Şekil 1.  $So=50 \text{ mg L}^{-1}$  stiren başlangıç konsantrasyonunun zamanla değişimi.



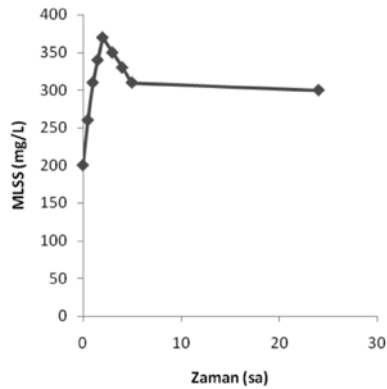
Şekil 2.  $So=100 \text{ mg L}^{-1}$  stiren başlangıç konsantrasyonunun zamanla değişimi.



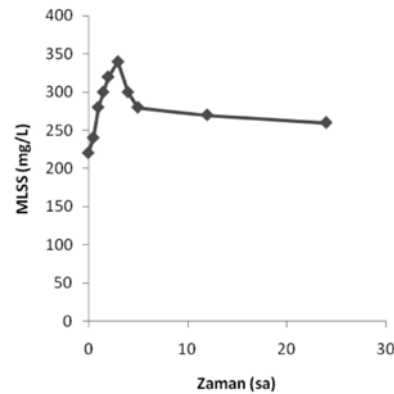
Şekil 3.  $So=150 \text{ mg L}^{-1}$  stiren başlangıç konsantrasyonunun zamanla değişimi.



Şekil 4.  $So=50 \text{ mg L}^{-1}$  stiren başlangıç konsantrasyonunda mikroorganizma konsantrasyonunun zamanla değişimi.



Şekil 5.  $So=100 \text{ mg L}^{-1}$  stiren başlangıç konsantrasyonunda mikroorganizma konsantrasyonunun zamanla değişimi.



Şekil 6.  $So=150 \text{ mg L}^{-1}$  stiren başlangıç konsantrasyonunda mikroorganizma konsantrasyonunun zamanla değişimi.

## SONUÇ

Biyolojik giderim sistemleri diğer giderim sistemleri üzerine pek çok avantaja sahiptir. Düşük ilk yatırım ücreti ve çalışma masrafları biyolojik proseslerin yararlarındandır. İkincil kirleticiler ya da geri kalanlar için daha ileri arıtım gerekmez. Bu avantajları göz önüne alındığında biyolojik arıtımın atık sulardan mevcut ze-

nobiyotik bileşiklerin indirgenmesinde önemli bir arıtım yöntemi olduğu bilinmektedir. Mevcut çalışmada da bu yöntem kullanılarak kesikli işletme şartlarında karışık kültür ile stirenin biyolojik olarak giderilebilirliği belirlenmiştir. Önemli bir uçucu ve toksik kirletici olan stirenin kesikli işletim şartlarında karışık kültürün stiren gideriminde oldukça yüksek performans gösterdiği tespit edilmiştir.



**KAYNAKLAR**

- Anonymous, 2005. SIRC- Sponsored Scientific Investigations to Understand Styrene's Potential Health Effects
- Araya P., Chamy, R., Mota M., Alves, M., 2000. Biodegradability and Toxicity of Styrene in The Anaerobic Digestion Process. *Biotechnology Letters*, 22: 1477-1481
- Arnold, M., Reittu, A., Von Wright, A., Martikainen P.J., Suihko, M.L., 1997. Bacterial Degradation of Styrene in Waste Gases Using A Peat Fitter. *Appl. Microbial Biotechnol* 48: 738-744
- Beltrametti F., Marconi, A.M., Bestetti, G., Colombo, C., Galli, E., Ruzzi, M., Zennaro, E., 1997. Sequencing and Functional Analysis of Styrene Catabolism Genes from *Pseudomonas fluorescens* ST. *Applied and Environmental Microbiology*, 2232-2239
- Bestetti, G., Gennaro, P.D., Colmegna, A., Ronco, I., Gali E., Sello, G., 2004. Characterization of Styrene Catabolic Pathway in *Pseudomonas fluorescens* ST. *International Biodeterioration & Biodegradation* 54 183 -187.
- Bina B., Dehghanzadeh R., Pourmoghadas H., A.Kalantary, A. Toranian, 2004. Removal of Styrene from Waste Gas Stream Using A Biofilter. *Journal of Research in Medical Sciences*, 6.31-39
- Braum-Lüllemann A., Majcherczyk A., Hüttermann.A., 1997. Degradation of Styrene by White-rot Fungi. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 47, 150-155
- Cox, H.H.H., Faber, B. W., Van Heiningen, N. M., Radhoe, H., Doddeme, H. J., and Harder W., 1996. Styrene Metabolism in *Exophiala jeikei* and Involment of A Cytochrome P-450 Dependent Styrene Monooxygenase. *Applied and Environmental Microbiology*. 1471-1474
- Fallah, N., Bonakdarpour, B., Nasernejad, B., Alavimoghaddam, M., 2010. Long-term Operation of Submerged Membrane Bioreactor (MBR) for The Treatment of Synthetic Wastewater Containing Styrene as Volatile Organic Compound (VOC) : Effect of Hydraulic Retention Time (HRT). *Journal of Hazardous Materials*.
- Fallah, N., Bonakdarpour, B., Nasernejad, B., Alavimoghaddam, M., 2010. The use of A Submerged Membrane Bioreactor for The Treatment of A Styrene Containing Synthetic Wastewater. *Iran J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 7 (2), 115-122
- Fu, M.H., Alexander M., 1992. Biodegradation of Styrene in Samples of Natural Environments. *Environ. Sci.* Vol. 26, No. 8
- Gaszcak A., Szczyrba, E., Bartelmus G., 2009. Kinetics Studies of The Biodegradation of Volatile Organic Compounds in A Batch Reactor. *Proceedings of Ecopole.3* (2)
- Gbric-Gallic D., Churchman-Eisel N., Markovic I., 1990. Microbial Transformation of Styrene by Anaerobic Consortia. *J. Appl. Bacteriol.* 69, 247-260
- Gennaro, P.D., Colmegna, A., Galli, E., Sello, G., Pelizzoni, F., Bestetti, G., 1999. A New Biocatalyst for Production of Optically Pure Aryl Epoxides by Styrene Monooxygenase from *Pseudomonas fluorescens* ST. *Applied and Environmental Microbiology*, June 1999, p. 2794-2797.
- Jang, J.H., Hirai, M., Shoda, M., 2005. Performance of A Styrene-degrading Biofilter Inoculated with *Pseudomonas* sp. SR-5. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Vol. 100, No.3, 297-302,
- Park, M.S., Han, J.H., Yoo, S.S., Lee, E.Y., Lee, S.G., Park, S., 2005. Degradation of Styrene by A New Isolate *P. putida* SN1. *Korean J. Chem. Eng.*, 22(3), 418-424
- Jang, J.H., Hirai, M., Shoda, M., 2006. Enhancement of Styrene Removal Efficiency in Biofilter by Mixed Cultures of *Pseudomonas* sp. SR-5. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Vol.102, No.1, 53-59
- Lee, J.W., Lee, S.M., Hong, E.J., Jeung, E.B., Kang, H.Y., Kim, M.K., Choi, I.G., 2006. Esrogenic Reduction of Styrene Monomer Degraded by *Phanerochaete chrysosporium* KFR120742. *The Journal of Microbiology.*, 177-184
- Mooney, A., Ward, P.G., O'Connor, K.E., 2006. Microbial Degradation of Styrene: Biochemistry, Molecular Genetics and Perspectives for Biotechnological Applications. *Appl Microbiol Biotechnol* 72: 1-10.
- O' Connor, K., Buckley, C.M., Hartmans, S., Dobson, A.D.W., 1995. Possible Regulatory Role for Nonaromatic Carbon Sources in Styrene Degradation by *Pseudomonas putida* CA-3. *Applied and Environmental Microbiology*, 544- 548.
- Top, E.M., Springael D., 2003. The Role of Mobile Genetic Elements in Bacterial Adaptation to Xenobiotics Organic Compounds. *Current Opinion in Biotechnology*, 14.262-269
- Warhust, A.M., Fewson, C.A., 1994. Microbial Metabolism and Biotransformation of Styrene, *Journal of Applied Bacteriology*. 77, 597-606,