

Endüstriyel atıksuların KOİ bileşenleri ve biyolojik arıtılabilirlikleri: Tekstil ve bira endüstrisi örnekleri

Agne KARLIKANOVAİTE, Özlem KARAHAN*, Ebru DÜLEKGÜRGEN

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul

Özet

Biyolojik atıksu arıtma proseslerinin tasarımında önem arz eden unsurların başında atıksu kompozisyonu ve özellikle organik madde içeriği gelmektedir. Bu çalışma kapsamında, konvansiyonel atıksu karakterizasyonunun ötesinde atıksulardaki organiklerin biyobozunurluk davranışlarının karşılaştırılabilir olarak irdelenmesi hedeflenmiş ve bu bağlamda kendilerine ait atıksu arıtma tesisleri bulunan bir tekstil ve bir bira endüstrisinden kaynaklanan atıksular ele alınmıştır. Sözkonusu endüstrilerden alınan anlık atıksu örneklerinin konvansiyonel karakterizasyonu gerçekleştirilmiş, ayrıca yürütülen respirometrik analizler ile bu endüstriyel atıksulara maruz bırakılan heterotrofik biyokütlelerin oksijen tüketim hız profilleri ve paralelinde atıksularda kalan süzölmüş KOİ profilleri çıkarılmıştır. Deneysel verilerden elde edilen dönüşüm oranları (Y_H) tekstil ve bira endüstrisi atıksuları için sırasıyla 0.66 ve 0.69 gKOİ/gKOİ'dir. Her iki atıksu için de toplam yavaş ayrışabilen KOİ (X_S^) oranının aynı mertebede (%87-88) ve bu fraksiyon içindeki yavaş ayrışabilen çözünmüş KOİ bileşenlerinin (S_H) birbirine yakın seviyelerde olduğu belirlenmiştir. Ancak, respirometrik deneyler sonucunda elde edilen oksijen tüketim hızı (OTH) profilleri incelendiğinde, tekstil ve bira endüstrisi atıksularının yavaş ayrışan çözünmüş KOİ bileşenlerinin (S_H) hidrolizlerinin birbirlerinden süreç ve süre olarak oldukça farklı olduğu tespit edilmiştir. Yavaş ayrışabilen organik maddelerin hidrolizi için gerekli olan süre, biyolojik arıtma birimlerinin hidrolitik bekletme sürelerine etkileyen bir parametre olması itibarıyla önem arz etmektedir. Bu bağlamda, bu çalışmada gerçekleştirilenlere benzer biyolojik arıtılabilirlik çalışmalarının endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin uygun tasarımını ve verimli işletimini destekleyici çalışmalar olduğu sonucuna varılmaktadır.*

Anahtar Kelimeler: Arıtılabilirlik, endüstriyel atıksu, KOİ bileşenleri, oksijen tüketim hızı, respirometre, yavaş ayrışan KOİ bileşeni.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Özlem KARAHAN. ozlem.karahan@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 6545.

Bu makale, 17-20 Kasım 2011 tarihinde Namık Kemal Üniversitesi'nde gerçekleştirilen I. Ulusal Kıyı Bölgelerinde Çevre Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu'nda sunulmuştur.

Makale metni 12.03.2012 tarihinde dergiye ulaşmış, 10.05.2012 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.09.2012 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Karlikanovaite, A., Karahan, Ö., Dülekgürgen, E., (2012) 'Endüstriyel atıksuların KOİ bileşenleri ve biyolojik arıtılabilirlikleri: Tekstil ve bira endüstrisi örnekleri', İTÜ Dergisi/E Su Kirlenmesi Kontrolü, 22: 1, 3-10" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

COD fractions and biodegradability of industrial wastewaters: textile and brewery industry examples

Extended abstract

Effluent discharge limits are getting more stringent every day. In order to design appropriate wastewater treatment systems to cope up with the stringent effluent limits, it is necessary to investigate the wastewater characteristics. For industries like agro-industries, in addition to the organic pollutant load, composition of the organic pollutants is also particularly important for the appropriate design of wastewater treatment plants. In other words, it is important to investigate the biodegradable and inert organic fractions and the rates of biodegradation of different COD fractions.

This study was conducted to investigate and compare the COD fractions and biodegradability of those fractions present in textile and brewery industry wastewaters. Respirometric tests were conducted in order to determine COD fractions and the stoichiometric and kinetic coefficients of biochemical processes occurring in the biodegradation mechanism. Oxygen uptake rate (OUR) measurements conducted together with COD analysis enabled determine readily biodegradable COD (S_S), soluble inert COD fraction (S_I), rapidly hydrolysable COD (S_H), slowly hydrolysable COD (X_S) and particulate inert COD fraction (X_I).

The evaluation performed on a grab sample of the textile wastewater showed that the heterotrophic yield Y_H was 0.66 gCOD/gCOD and the total biodegradable fraction consisted of 97% of the total COD of the wastewater. Readily biodegradable COD fraction (S_S) was estimated as 10% of the total COD and the rapidly hydrolysable COD fraction (S_H) was found as 69%, whereas slowly hydrolysable COD fraction (X_S) was determined as 19%. The inert fractions, namely S_I and X_I constituted only 2% and 1%, respectively.

Similar evaluation for the brewery wastewater grab sample showed that the heterotrophic yield Y_H was 0.69 gCOD/gCOD and the total biodegradable fraction consisted of 96% of the total COD. . The readily biodegradable COD fraction (S_S) was determined as the 9% of the total COD, readily hydrolysable fraction (S_H) consisted of 78% and the slowly hydrolysable portion (X_S) was determined as 9% of the total COD.

The experimental results showed that those two agro-industry wastewaters had similar characteristics in terms of the biodegradable portion of the organic matter: total biodegradable fraction was 97% for textile wastewater and that of brewery wastewater was 96%. Those two wastewater samples also had similar fractions of readily biodegradable COD (S_S): textile wastewater 10% and brewery wastewater 9%. However, the textile wastewater had a rapidly hydrolysable COD (S_H) of 69% whereas S_H fraction present in the brewery wastewater sample was 78%.

Respirometric tests revealed that the nature of the slowly biodegradable fractions of those two effluents and the time required for complete degradation of those soluble slowly biodegradable components were also different: OUR profile obtained with the textile wastewater had a second plateau for a short period of 2 hours. This shows that a portion of the rapidly hydrolysable COD fraction (S_H) was hydrolyzed quickly, yet there was still a second portion - although soluble- that underwent a slower hydrolysis. However, OUR profile obtained with the brewery wastewater presented a completely different form. After the first peak observed for degradation of the S_S , the second plateau was monitored as a single line fragment whose trend increased stepwise. This shows that the S_H of the brewery wastewater was composed of a single portion that hydrolyzed very rapidly.

This difference in wastewater characteristics plays an important role in the design and operation of wastewater treatment plants. The presence and the rate of degradation of both rapidly and slowly hydrolysable COD compounds would be an important factor for the selection of hydraulic retention times and sludge retention time of activated sludge systems, since these retention times are the key parameters that determine the effluent concentrations and thus the plant performance. Hence, design and operation strategies based solely on the total COD parameter may not be enough to reach the stringent discharge limits and wastewater biodegradability studies, similar to those presented in this study, will be helpful in achieving appropriate and efficient design and operation of industrial wastewater treatment plants.

Keywords: biodegradability, COD fractions, industrial wastewater, oxygen utilization rate, respirometry, slowly biodegradable COD fraction.

Giriş

Endüstriyel atıksuların arıtılması konusunda dikkat edilmesi gereken konular, her endüstriyel sektöre ve hatta her tesise özel atıksu karakterine sahip bu atıksuların arıtılabilmesi için en uygun teknolojilerin ve akım şemalarının seçimi, tasarlanması ve işletilmesidir. Özellikle alıcı ortama deşarj eden endüstriyel tesislerde tasarlanacak olan arıtma tesislerinin doğru boyutlandırılması, yakın gelecekte havza bazında belirlenen su kalitesi hedeflerine göre daha da sıkılaşması muhtemel alıcı ortama deşarj standartlarının sağlanabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, özellikle biyolojik arıtma proseslerinin uygulandığı tarıma dayalı endüstrilere ait atıksu arıtma tesislerinin tasarımında, atıksuların içerdiği toplam organik madde yükünün belirlenmesinin yanı sıra bu organik madde içeriğinin kompozisyonunun, başka bir deyişle KOİ bileşenlerinin belirlenmesinin temel tasarım verileri arasında ele alınmasında büyük yarar vardır. Hedeflenen arıtma performanslarına ulaşılabilmesi için, atıksularda bulunan KOİ'nin ne kadarının kolay ayrışabilir ve ne kadarının yavaş ayrışabilir özellikte olduğunun belirlenmesine ek olarak, bu atıksulara ait biyolojik arıtılabilirlik çalışmaları gerçekleştirilerek biyolojik olarak ayrıştırılmayacak olan inert KOİ bileşenlerinin belirlenmesi ve ayrışabilen bileşenlerin biyobozunurluk davranışlarının ve ayrışma hızlarının saptanması önem arz etmektedir (Wentzel vd. 1999; Hu vd. 2002; Dulekgurgen vd., 2006; Karahan vd, 2009).

Bu tür tasarım bazlı atıksu karakterizasyonu çalışmalarına örnek teşkil etmesi bakımından bu çalışma kapsamında tekstil endüstrisi ve bira endüstrisi atıksularının KOİ bileşenleri ve biyolojik arıtılabilirlikleri incelenmiştir. Yürütülen çalışmada su kullanımı yüksek tarıma dayalı endüstriyel sektörlerden olan tekstil ve bira endüstrisi atıksularının biyolojik olarak ayrışabilen KOİ fraksiyonlarına ilişkin detaylı respirometrik deneyler gerçekleştirilmiştir.

Materyal ve yöntem

Konvansiyonel atıksu analizleri

Çalışmada konvansiyonel biyolojik atıksu arıtma tesisi olan bir tekstil fabrikasından ve benzer

şekilde biyolojik atıksu arıtma tesisi mevcut bir bira endüstrisinden alınan anlık atıksu örneklerinde konvansiyonel atıksu karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir (APHA vd., 2005; International Organization for Standardization, 1989). Kullanılan hammaddelerin, uygulanan üretim süreçlerin, tüketilen su miktarlarının ve eklenen yardımcı maddelerin atıksu kompozisyonunu doğrudan etkilemesi itibarıyla ve seçilen endüstrilerin bu unsurlar açısından birbirinden oldukça farklı olması nedeniyle, konvansiyonel parametrelere ek olarak her iki atıksuya özgü parametreler de ölçülmüştür.

KOİ bileşenlerine ait analizler

Konvansiyonel atıksu karakterizasyonuna ek olarak, atıksulardaki organik madde içeriğinin göstergesi olan KOİ'nin biyobozunurluk ve mikrobiyal kinetikler bağlamındaki kompozisyonu-bileşenleri (S_s , çözülmüş-hızlı ayrışabilen; S_H , çözülmüş-yavaş ayrışabilen, X_s , askıda/partiküler-yavaş ayrışabilen; vb.) genel arıtım performansı açısından büyük önem arz edeceğinden, çalışmada değerlendirmeye alınan atıksulardaki KOİ bileşenleri ve bazı kinetik/stoikiometrik büyüklükler gerçekleştirilen respirometrik deneylerle belirlenmiştir.

Respirometrik analizler

Atıksuların KOİ bileşenlerinin belirlenmesi için seçilen respirometrik deneysel yöntemde aerobik aktif çamur reaktörleri kullanılmıştır. Deneyler, seçilen belirli F/M (besin/mikroorganizma) oranlarında (biyokütle yüklemesi) yürütülmüş ve OTH (oksijen tüketim hızı) ölçümleri sırasında reaktör içinde en az 6.0-7.0 mg/L çözülmüş oksijen konsantrasyonu olması sağlanmıştır. Ölçümler sırasınca ototrofik çoğalmadan kaynaklanan oksijen tüketimini engellemek amacıyla Formula 2533TM (Hach Company) nitrifikasyon inhibitörü ilave edilmiştir.

Respirometrik deneyler, sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonunu sürekli olarak ölçen ve kaydeden respirometre ünitesinin (Applitek Ra-Combo) havalandırma hücresine aktif çamur ($V=2000$ mL) eklenmesi ile başlatılmıştır. Beslenmeksizin havalandırılmaya başlanan biyokütlenin içsel solunuma, yani sabit solunum koşul-

larına gelmesi sağlandıktan sonra (birinci bH platosunun gözlenmesi), havalandırılmakta olan biyokütlenin üzerine hacmi ve toplam KOİ değeri bilinen atıksu eklenmiş ve Oksijen Tüketim Hızı (OTH) verileri içsel solunum seviyesine kadar (ikinci bH platosunun gözlenmesi) toplanmıştır.

Çalışmada kullanılan respirometre ünitesinin görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Respirometre ünitesinin görüntüsü

OTH verileri kullanılarak modelleme yaklaşımıyla atıksudaki kolay ayrışan organik madde (S_S); ve yavaş ayrışan organik madde (X_S) konsantrasyonları Ekama vd (1984) tarafından tanımlanan yöntem kullanılarak belirlenebilmektedir. Atıksuyun toplam KOİ’si hem çözülmüş hem de partiküler ayrışabilir ve inert KOİ bileşenlerinin toplamından oluşmaktadır. Süzölmüş KOİ’si ise ayrışabilir ve inert bileşenlerin çözülmüş kısımlarından teşekkül etmektedir. Bu noktadan hareketle süzölmüş KOİ ölçümlerine dayanarak yapılan kütle dengesi ile hesaplanan kolay ayrışan KOİ bileşeni (S_S) ve çözülmüş inert KOİ bileşeni (S_I) değerlerinin süzölmüş KOİ (S_T) değerinden çıkarılması sonucu yavaş ayrışan KOİ’nin çözülmüş fraksiyonu (S_H) belirlenebilmektedir. Yavaş ayrışan KOİ’nin partiküler fraksiyonu (X_S) ise toplam yavaş ayrışabilir KOİ’den (X_S^*) çözülmüş yavaş ayrışan KOİ fraksiyonunun (S_H) çıkarılması sonucu hesaplanmaktadır. Partiküler KOİ’nin geri kalanı ise

partiküler inert fraksiyon (X_I) olarak belirlenmiştir.

Deneysel çalışma sonuçları

Tekstil endüstrisi atıksuyu

Bu çalışmada irdelenen tekstil endüstrisi atıksu numunesi, ağırlıklı olarak pamuklu ve az miktarda pamuklu-sentetik tekstil üretimi yapan bir işletmeden alınmıştır. Fabrikaya ait atıksu arıtma tesisi tasarım debisi $10000 \text{ m}^3/\text{gün}$ ’dür. Arıtma tesisinin konvansiyonel biyolojik arıtma birimi $5000 \text{ m}^3/\text{gün}$ ’lük debiye göre inşaa edilmiş paralel 2 hattan oluşmakta olup tasarım KOİ’si 1200 mg/L ’dir. Üretim süreçlerinin doğasından (boya banyoları, vb.) kaynaklanan yüksek tuz konsantrasyonları nedeniyle bu atıksuyun iletkenliği $6500-7000 \text{ mikroSi}$ gibi yüksek bir mertebede seyretmektedir. Aşağıda Tablo 1’de konvansiyonel ve spesifik atıksu karakterizasyon sonuçları verilen anlık atıksu örneği, biyolojik arıtma havalandırma havuzu girişi öncesindeki dengeleme havuzu çıkışından alınmıştır.

Tablo 1. Tekstil endüstrisi atıksuyu karakterizasyonu

| Parametre | Birim | Değer |
|--|-------|-------|
| pH | - | 7.52 |
| AKM | mg/L | 200 |
| UAKM | mg/L | 165 |
| TÇM (Toplam Çözülmüş Madde) | mg/L | 5020 |
| Toplam KOİ | mg/L | 1020 |
| Çözülmüş KOİ (450 nm’den süzölmüş) | mg/L | 820 |
| Çözülmüş KOİ/Toplam KOİ | - | %80 |
| Toplam Fosfor (TP) | mg/L | 2.7 |
| Orto-fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) | mg/L | 2.4 |
| TKN | mg/L | 15 |
| Amonyak ($\text{NH}_4\text{-N}$) | mg/L | 10 |
| Klorür (Cl) | mg/L | 2000 |
| Renk $\lambda = 436 \text{ nm}$ | OD | 0.037 |
| $\lambda = 525 \text{ nm}$ | OD | 0.043 |
| $\lambda = 620 \text{ nm}$ | OD | 0.048 |

Tekstil atıksuyu için gerçekleştirilecek respirometrik çalışmalarda biyokütle olarak kullanılmak üzere, tekstil atıksuyu numunesinin alındığı

tesiste bulunan konvansiyonel askıda çoğalan biyolojik arıtma tesisin 2. çökeltim tankı çamur geri devir hattından aktif çamur alınmıştır. Laboratuvar koşullarında 1 gün beslenmeden havalandırılan floküler çamurdan 1 L alınarak respirometrenin havalandırma hücresine konulmuştur. Respirometreye aktarılan biyokütlenin AKM ve UAKM değerleri sırasıyla 4135 mg/L, 2845 mg/L'dir (UAKM/AKM= %69). Respirometreye aktarılan biyokütle önce beslenmeksizin bir süre havalandırılmış (birinci b_H platosu), ardından üzerine gerekli makro ve mikro nütrientler, nitrifikasyon inhibitörü ve 1 L tekstil atıksuyu eklenmiştir. Toplam 2.4 L'lik çalışma hacmine sahip reaktörde 12 saat boyunca (ikinci b_H platosuna dek) oksijen konsantrasyonunda gerçekleşen değişimler kaydedilmiştir. Elde edilen veriler ile zamana karşı çizilen OTH grafiği Şekil 2'de görülmektedir. Atıksuyunun KOİ bileşenlerinin hesabında kullanılacak heterotrofik dönüşüm oranı (Y_H) parametresinin belirlenmesi için, respirometrik ölçümler sırasında süzölmüş KOİ numuneleri de alınmıştır. Bu ölçümler sonucu elde edilen KOİ profili de yine Şekil 2'de yer almaktadır.

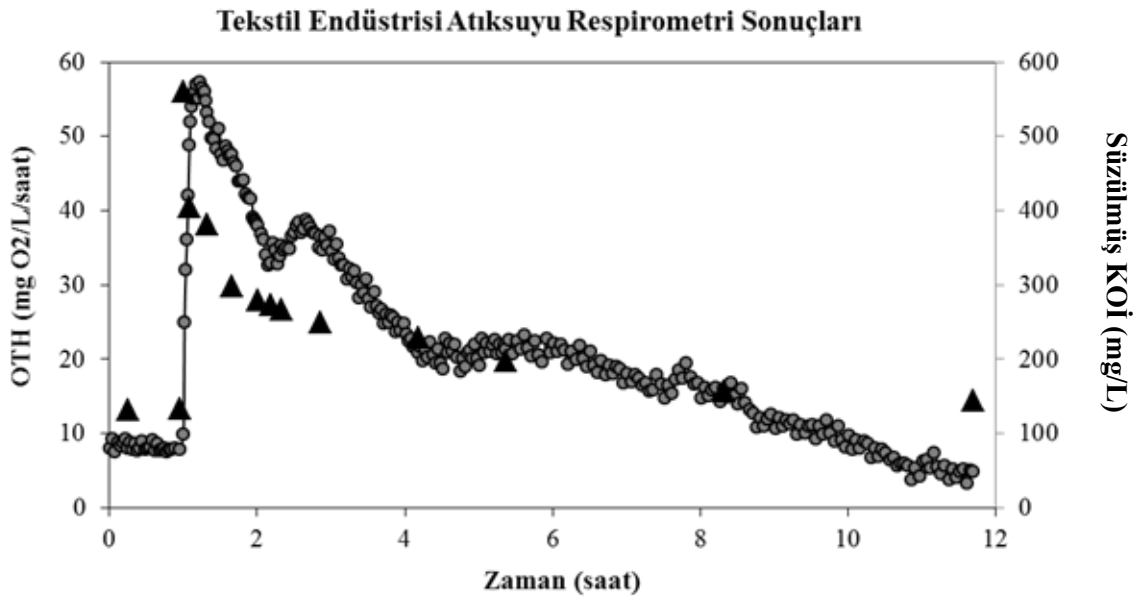
Respirometrik deney sonuçları itibarıyla deney sırasında içsel solunum için harcanan oksijen dışında, toplam net oksijen tüketiminin 141.3 mg/L olduğu hesaplanmıştır. OTH değerleri kullanılarak 14.4 mg/L oksijenin kolay ayrışan

KOİ (S_S) fraksiyonunun tüketilmesinde, geriye kalan 126.9 mg/L oksijenin ise yavaş ayrışan KOİ fraksiyonunun tüketilmesinde harcandığı belirlenmiştir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde deney boyunca toplam 416 mg/L KOİ tüketildiği saptanmış ve bu durumda dönüşüm oranı Y_H, 0.66 gKOİ/gKOİ olarak belirlenmiştir. Bu dönüşüm oranı kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu belirlenen tekstil atıksuyu KOİ bileşenleri Tablo 2'de görülmektedir. Tabloda X_S* sembolü ile gösterilen KOİ fraksiyonu, çözünmüş (S_H) ve partiküler bileşenlerin (X_S) toplamı olmak üzere toplam yavaş ayrışabilir KOİ'yi temsil etmektedir.

Bira endüstrisi atıksuyu

Bira endüstrisine ait biyolojik atıksu arıtma tesisi girişinden alınan anlık numune için elde edilen atıksu karakterizasyon sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Örneklenen tesisin atıksuyuna ait temsil edici toplam KOİ değeri 5000 mg/L civarında seyretmektedir. Bu bağlamda, bu çalışma kapsamında alınmış olan anlık numune, örneklenen tesisin ortalama atıksu karakterini yansıtmamakla birlikte, kısa süreli pik organik madde yüküne karşılık gelme olasılığı nedeniyle organik madde bileşenlerinin biyobozunurluk davranışlarının ve hızlarının irdelenmesinin hedeflendiği bu çalışma için uygun bir örnek teşkil etmiştir.



Şekil 2. Tekstil endüstrisi atıksuyu ile elde edilen OTH ve süzölmüş KOİ profilleri

Tablo 2. Tekstil endüstrisi atıksuyu KOİ bileşenleri (toplam KOİ: 1020 mg/L)

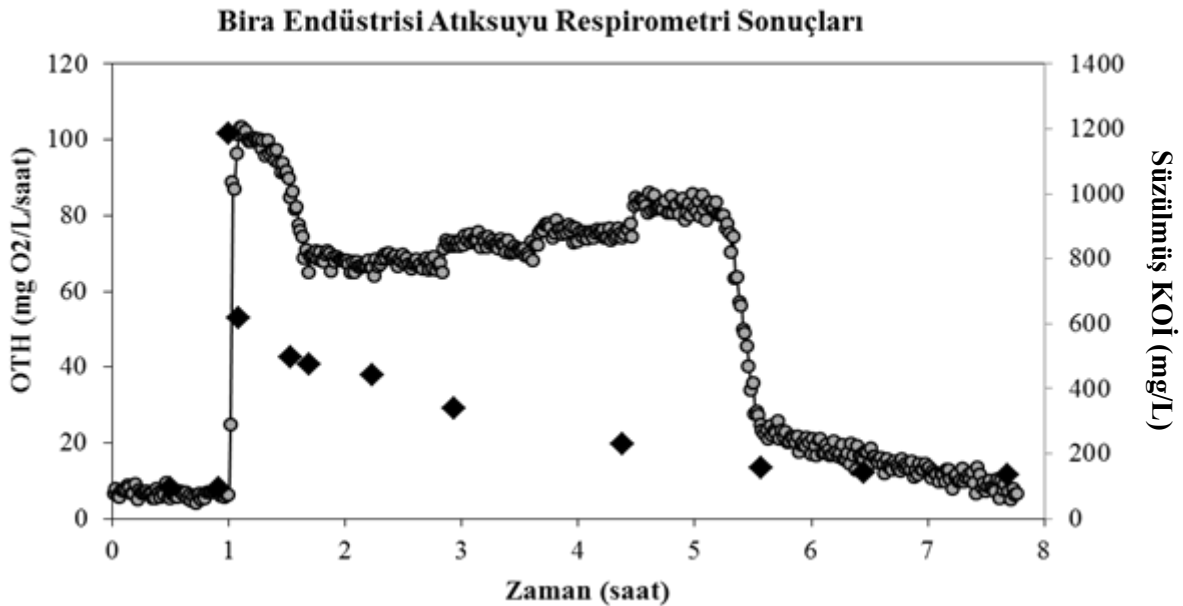
| KOİ Bileşeni | Değer (mg/L) | Oranı |
|------------------------------|--------------|-------|
| Kolay ayrışabilir KOİ | S_s 102 | %10 |
| Toplam yavaş ayrışabilir KOİ | X_s^* 896 | %88 |
| Yavaş ayrışan çözülmüş KOİ | S_H 702 | %69 |
| Yavaş ayrışan partiküler KOİ | X_s 194 | %19 |
| Çözülmüş inert KOİ | S_I 16 | %2 |
| Partiküler inert KOİ | X_I 6 | %1 |

Tablo 3. Bira endüstrisi atıksuyu karakterizasyonu

| Parametre | Birim | Değer |
|------------------------------------|-------|-------|
| pH | - | 5.32 |
| AKM | mg/L | 855 |
| UAKM | mg/L | 555 |
| Toplam KOİ | mg/L | 21806 |
| Çözülmüş KOİ (450 nm'den süzölmüş) | mg/L | 19286 |
| Çözülmüş KOİ/Toplam KOİ | - | %88 |
| Toplam Fosfor (TP) | mg/L | 49 |
| Orto-fosfat (PO_4 -P) | mg/L | 37 |
| TKN | mg/L | 73 |
| Amonyak (NH_4 -N) | mg/L | 22 |

Bira endüstrisi atıksuyu için gerçekleştirilen respirometrik çalışmalarda kullanılan biyokütle lab-ölçekli bir AKR'den alınmıştır. Söz konusu lab-ölçekli sistem 10 günlük çamur yaşında işletilen ve evsel atıksuyu temsilen pepton karışımı ile beslenen bir sistemdir. Pepton karışımına aklime ve 2215 mg/L AKM ile 1285 mg/L UAKM konsantrasyonuna sahip floküler aktif çamurdan 1 L alınarak respirometre ünitesinin havalandırma hücresine aktarılmıştır. Önce beslenmek-sizin havalandırılan (birinci b_H platosu) biyokütlenin üzerine gerekli makro ve mikro nütrientler, nitrifikasyon inhibitörü ve 100 mL bira endüstrisi atıksuyu eklenmiş ve 8 saat boyunca (ikinci b_H platosu görölene dek) havalandırılan toplam 2 L'lik reaksiyon hacminde gerçekleşen oksijen konsantrasyonu değışimleri kaydedilmiştir. Elde edilen veriler ile zamana karşı çizilen OTH grafiğı Şekil 3'te verilmiştir.

Respirometrik deneyden elde edilen OTH profili değerdendirildiğinde deney sırasında içsel solunum için harcanan oksijen dışında, toplam net oksijen tüketiminin 329.3 mg/L olduğı hesaplanmıştır. Birinci b_H platosunun hemen ardından gözlenen ve kolay ayrışabilen KOİ bileşenin 60 dakikadan az bir sürede tüketildiğı ilk yüksek ve dar kamburun altında kalan net alan kullanılarak yapılan hesaplama sonucu kolay



Şekil 3. Bira endüstrisi atıksuyu ile elde edilen OTH ve süzölmüş KOİ profilleri

ayrışan KOİ (S_S) fraksiyonunun tüketilmesi için 31.1 mg/L oksijen kullanıldığı belirlenmiştir. Geriye kalan 298.2 mg/L'lik oksijenin ise, ilk yüksek kambura oranla daha düşük seviyelerde seyreden ve çok kademeli kamburların oluşturduğu ve uzun zamana yayılan profilin temsil ettiği kısım itibariyle yavaş ayrışan KOİ fraksiyonunun tüketilmesi sırasında harcandığı hesaplanmıştır.

Bira endüstrisi atıksuyunun KOİ bileşenlerinin hesaplanmasında kullanılacak heterotrofik dönüşüm oranı (Y_H) parametresinin belirlenmesi için, respirometrik ölçümler sırasında süzölmüş KOİ numuneleri de alınmıştır. Bu ölçümler sonucu elde edilen KOİ profili, OTH profili ile birlikte Şekil 3'te yer almaktadır.

Bu sonuçlara göre deney boyunca tüketilen toplam süzölmüş KOİ konsantrasyonu 1050 mg/L'dir. Burdan hareketle belirlenen dönüşüm oranı Y_H , 0.69 g KOİ/gKOİ'dir.

Bu dönüşüm oranının kullanıldığı hesaplamalardan elde edilen bira endüstrisi atıksuyu KOİ bileşenleri Tablo 4'te verilmiştir. Çözünmüş (S_H) ve partiküler (X_S) yavaş ayrışabilir KOİ fraksiyonlarının bileşimi, toplam yavaş ayrışabilir KOİ'yi (X_S^*) oluşturmaktadır.

Tablo 4. Bira endüstrisi atıksuyu KOİ bileşenleri (toplam KOİ: 21,806 mg/L)

| KOİ Bileşeni | | Değer (mg/L) | Oranı |
|------------------------------|---------|--------------|-------|
| Kolay ayrışabilir KOİ | S_S | 1987 | %9 |
| Toplam yavaş ayrışabilir KOİ | X_S^* | 19019 | %87 |
| Yavaş ayrışan çözünmüş KOİ | S_H | 16913 | %78 |
| Yavaş ayrışan partiküler KOİ | X_S | 2106 | %9 |
| Çözünmüş inert KOİ | S_I | 386 | %2 |
| Partiküler inert KOİ | X_I | 414 | %2 |

Değerlendirme ve sonuçlar

Hızlı ayrışabilir çözünmüş KOİ bileşeni (S_S)

Bu çalışma kapsamında yürütülen konvansiyonel atıksu karakterizasyonu ile respirometrik analizler temelli KOİ fraksiyonasyonu çalışma-

larından elde edilen deneysel sonuçlar incelendiğinde, tekstil atıksuyunun %10, bira endüstrisi atıksuyunun %9 oranında kolay ayrışabilir KOİ (S_S) içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Yavaş ayrışabilir partiküler KOİ bileşeni (X_S)

Karakterizasyonu gerçekleştirilen endüstriyel atıksuların yavaş ayrışan partiküler KOİ fraksiyonları (X_S) karşılaştırıldığında, tekstil atıksuyunun %19, bira endüstrisi atıksuyunun ise %9 oranında yavaş ayrışan partiküler KOİ (X_S) içerdiği tespit edilmiştir.

Yavaş ayrışabilir çözünmüş KOİ bileşeni (S_H)

Endüstriyel atıksular yavaş ayrışan çözünmüş KOİ fraksiyonları (S_H) bakımından karşılaştırıldıklarında ise, tekstil atıksuyunun %69, bira endüstrisi atıksuyunun ise %78 oranında S_H barındırdığı görülmüştür.

Tekstil atıksuyu ile elde edilen OTH profili incelendiğinde, gözlenen ikinci kamburun 2 saat gibi nispeten dar bir zaman aralığına sıkışmış olması, S_H bileşeninin bir bölümünün hızlı bir şekilde hidroliz olduğunu, ancak daha yavaş hızlarla hidroliz edilmesi gereken yine çözünmüş formda yavaş ayrışan başka bir KOİ fraksiyonunun da mevcut olduğunu göstermektedir.

Bira endüstrisi atıksuyu ile yürütülen respirometrik deney sonucu elde edilen OTH profilinde ise hızlı ayrışan KOİ bileşeninin (S_S) tüketimine karşılık gelen ilk yüksek ve dar pikin ardından, tek ve uzun süren, üstelik de OTH hızının kademeli olarak giderek arttığı formda ikinci bir plato gözlenmesi, çözünmüş formdaki yavaş ayrışan KOİ fraksiyonunun tamamının oldukça hızlı bir şekilde hidroliz olduğunu göstermektedir.

Söz konusu biyobozunurluk davranışları ve hidroliz hızları değerlendirildiğinde, bu çalışmada irdelenen tekstil endüstrisi atıksuyuna benzer yapıdaki tekstil atıksularını arıtmaya yönelik biyolojik atıksu arıtma tesislerinin tasarımı ve işletilmesinde yavaş ayrışan KOİ bileşenlerinin hidrolizine ve yıkımına olanak tanıyacak uzun hidrolik bekleme sürelerinin seçilmesinin ge-

rektiği sonucuna varılabilir. Buna mukabil, bu çalışmada irdelenen bira endüstrisi atıksuyuna benzer yapıdaki atıksuları arıtmaya yönelik tesislerde ise daha kısa hidrolik bekletme süreleri ile çalışmak olanaklı görölmektedir.

Teřekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 108Y313 nolu ARDEB projesi kapsamında gerççekleştirilmiştir.

Kaynaklar

APHA, WEF, AWWA, (2005). In: Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., Eaton, A.D., eds, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA.

Dulekgurgen, E., Doğruel, S., Karahan, Ö., Orhon, D., (2006). Size distribution of wastewater COD fractions as an index for biodegradability, *Water Research*, **40**, 2, 273-282.

Ekama, G.A., Dold, P.L., Marais, G.V.R., (1984). Procedures for determining influent COD frac-

tions and maximum specific growth rate of heterotrophs in activated sludge systems, *Water Science and Technology*, **18**, 91-114.

Hu, Z., Chandran, K., Barth, F.S., Domenico, G., (2002). Evaluation of a rapid physical-chemical method for the determination of extant soluble COD, *Water Research*, **36**, 617-624.

International Organization for Standardization, 1989. In: Technical Committee ISO/TC 147, eds, International Standard ISO 6060: Water Quality-Determination of the Chemical Oxygen Demand, second ed. 1989-10-15, Reference No. ISO 6060-1989(E), ISO, Switzerland.

Karahan, Ö., Doğruel, S., Dulekgurgen, E., Orhon, D., (2008). COD fractionation of tannery wastewaters- particle size distribution, biodegradability and modeling, *Water Research*, **42**, 4-5, 1083-1092.

Wentzel, M.C., Mbewe, A., Lakay, M.T., Ekama, G.A., (1999). Batch test for characterization of the carbonaceous materials in municipal wastewaters, *Water SA*, **25**, 3, 327-335.