

Substrat depolama dönüşüm oranının deneysel olarak belirlenmesi

Özlem KARAHAN^{*1}, Derin ORHON² ve Mark M. C. van LOOSDRECHT³

¹ İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

² İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

³ Kluyver Institute for Biotechnology, TU-Delft, Julianalaan 67, 2628 BC Delft, The Netherlands

Özet

Çevre biyoteknolojisindeki son gelişmeler doğrultusunda aktif çamur sistemlerinde substrat depolama kavramı önemli bir proses olarak kabul edilmektedir. Substrat depolama kavramı, aktif çamur modellenmesine, Aktif Çamur Modeli No.3 (ASM3) ve saf substratlar için önerilen biyokimyasal modellerle dâhil edilmiştir. Depolama kavramının ortaya konması, modele çok fazla serbestlik derecesi sağlayarak, modeli daha karmaşık bir hale getiren pek çok kinetik ve stokiyometrik katsayının da eklenmesine yol açmıştır. Substrat depolama dönüşüm oranı, Y_{STO} , ASM3 modelindeki en önemli parametrelerden biridir. Depolama dönüşüm oranı, substratın stokiyometrik olarak ne kadarının depolama ürünlerine dönüşeceğini belirleyen etkin bir model bileşenidir. Bu çalışma, ASM3 modelinde tanımlanan substrat depolama dönüşüm oranının (Y_{STO}), deneysel olarak belirlenmesini amaçlamaktadır. Önerilen yöntem, atıksularda depolama ürünlerinin miktarlarının belirlenmesini gerektirmeyen, respirometrik bir prosedürdür. Yöntemde, model simülasyonlarından yararlanılarak, depolama prosesi için tüketilen oksijen miktarının oksijen tüketim hızı (OTH) eğrisi üzerinde belirlenmesinin esasları ortaya konmuştur. Önerilen yaklaşım kesikli deneylerle elde edilen oksijen tüketim hızına (OTH) dayanmaktadır. Yöntem substrat depolaması için kullanılan oksijen miktarının hesaplanması için grafiksel bir metot tanımlamaktadır. Yöntemin değerlendirilmesi için farklı deneysel başlangıç koşullarının kullanıldığı model simülasyonlarından yararlanılmıştır. Önerilen yöntem ile Y_{STO} değeri %2'den daha düşük hata oranları ile belirlenebilmiştir. Deneysel yöntem ile, asetat, glikoz ve evsel atıksuyun kullanıldığı ve farklı F/M oranlarında yürütülen respirometrik testler sonucunda, depolama dönüşüm oranları, asetat için 0.78 gKOİ/gKOİ, glikoz için 0.87 gKOİ/gKOİ ve evsel atıksu için 0.96 gKOİ/gKOİ olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asetat, Aktif Çamur Modeli No.3, evsel atıksu, glikoz, respirometri, depolama.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Özlem KARAHAN, okarahan@ins.itu.edu.tr; Tel: (212) 285 65 40.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Substrate storage phenomena in the modeling of activated sludge systems" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 25.05.2005 tarihinde dergiye ulaşmış, 30.06.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Experimental assessment of substrate storage yield

Extended Abstract

Substrate storage under dynamic conditions is recently regarded as a significant process for activated sludge systems. The dynamic conditions and substrate gradients convey activated sludge cultures to develop a storage response when external substrate is present in the system. Substrate storage is incorporated into activated sludge modeling with Activated Sludge Model No. 3 (ASM3) and with biochemical models for pure substrates.

ASM3 has been proposed for activated sludge systems both for aerobic and anoxic conditions. Introducing storage phenomena has also introduced a number of stoichiometric and kinetic coefficients making the model rather complicated with many degrees of freedom. Some default values have been proposed, but calibration of kinetic and stoichiometric parameters is needed for various applications. The storage yield (Y_{STO}) is one of the most important parameters of the model, since it represents the stoichiometric amount of substrate converted into storage products, which are subsequently utilized for growth. The assessment of Y_{STO} is therefore crucial for the accurate estimation of the overall electron acceptor utilization and sludge production. The information on the magnitude of the storage yield was mostly derived from pure culture studies. ASM3 suggested value of Y_{STO} as 0.85 mgCOD/mgCOD under aerobic conditions for domestic sewage.

An experimental procedure was developed for the respirometric determination of bacterial storage yield (Y_{STO}) as defined in the Activated Sludge Model No. 3. The proposed approach is based on the oxygen utilization rate (OUR) profile obtained from a batch test and correlates the area under the OUR curve to the amount of oxygen associated with substrate storage. The procedure is based on respirometry and does not involve measurement of storage products, as it will not always be possible or reliable to determine the amount of all the storage products when a complex substrate such as domestic sewage is concerned.

It is theoretically possible to compute substrate storage yield (Y_{STO}) if the oxygen used for the storage of a known amount of readily biodegradable COD can be determined by means of respirometric measurements. Such measurements however only provide the

total oxygen utilization rate (OUR) of the system and not the OUR specific for the process of interest alone. Thus, it is necessary to understand and interpret the components of a total OUR versus time curve associated with the utilization of a readily biodegradable substrate. Model simulation was used to evaluate the procedure for different initial experimental conditions. Obtained results indicated that the proposed procedure was quite consistent with model-input values, involving an error of less than 2%, aside from analytical errors associated with standard COD measurements, for tests to be conducted with feeding (F/M) ratios over 0.1 gCOD/g cellCOD.

The procedure was used to determine the storage yield, Y_{STO} , associated with acetate, glucose and domestic sewage, together with mixtures of acetate/glucose and acetate/domestic sewage at different initial F/M ratios. Y_{STO} was calculated as 0.78 gCOD/gCOD for acetate, 0.87 gCOD/gCOD for glucose and 0.96 gCOD/gCOD for domestic sewage. The high Y_{STO} level related to domestic sewage, consistently obtained for a wide range of initial F/M ratios, challenges the validity of the concept of S_S in ASM3, which is defined as the biodegradable fraction of the soluble substrate and tested in the study. The assumption introduced with ASM3 that the entire soluble biodegradable COD could be regarded as readily biodegradable substrate, although valid for pure substrates, requires, as in this case, careful evaluation for wastewaters with more complex substrate compositions. If readily biodegradable substrate is actually less, the corresponding oxygen consumption can only be interpreted with a superficially higher Y_{STO} .

The experiments conducted on substrate mixtures confirmed the validity of Y_{STO} values calculated for individual substrates, yielding a transient pattern reflecting the character of the dominant substrate fraction in the mixture. For glucose/acetate mixtures, they provided a clear indication of a faster storage rate for glucose as compared to acetate. The proposed procedure may also be used to calculate initial readily biodegradable COD concentration, S_{SI} , for a generally adopted Y_{STO} value, as it defines a stoichiometric procedure between the storage yield and the available readily biodegradable substrate.

Keywords: Acetate, Activated Sludge Model No.3, domestic sewage, glucose, respirometry, storage.

Giriş

Aktif çamur sistemlerinin modellenmesi için bugüne kadar kullanılan ASM1-Aktif Çamur Modeli 1 (Henze vd., 1987)- çok bileşenli modeline alternatif olarak ortaya çıkan ve hücre içi depolama kavramı ile modellemeye yeni bir yaklaşım getiren Activated Sludge Model No.3, ASM3 - Aktif Çamur Modeli 3 (Gujer vd., 2000)- esas olarak oksijen tüketimi, çamur üretimi, nitrifikasyon ve denitrifikasyon proseslerini ele almaktadır. ASM3'ün getirdiği en büyük yeniliklerden biri atıksuda mevcut ya da yavaş ayrışan organik maddenin hidrolizi ile oluşan, biyolojik olarak kolay ayrışan organik maddenin hücre içinde depolandıktan sonra çoğalma ve diğer hücre aktiviteleri için kullanılmasıdır.

Karbon ve azot giderimine yönelik aktif çamur prosesinin değişik konfigürasyonları üzerinde son dönemde yapılan çalışmalar, mikroorganizmaların dinamik işletme koşulları altında sergiledikleri çoğalma ve depolama davranışları üzerinde yoğunlaşmıştır. Bazı proses konfigürasyonlarında (piston akımlı reaktörler, kontakt stabilizasyon prosesi, ardışık kesikli reaktör sistemleri vb.) sistemin tümü kararlı halde olsa dahi biyokütle üzerinde sistem konfigürasyonundan ya da çamur geri devrinden kaynaklanan bir konsantrasyon gradyanının etkisi olmaktadır.

Son dönemde aktif çamur prosesinde depolama kavramının önemi giderek daha yaygın kabul görmekte ise de bu kavram henüz yeterince detaylı bir şekilde incelenmemiş ve proses modellemesinde bugüne kadar dikkate alınmamıştır (van Loosdrecht vd., 1997). Depolama kavramı yalnızca biyolojik aşırı fosfor giderimi prosesinin modellenmesinde ASM2-Aktif Çamur Modeli 2 (Henze ve diğ., 1995)-yaygın olarak kullanılmakta iken bugün ortaya konulan yeni yaklaşım ile bu kavram çok bileşenli modellemeye dahil edilmiştir (Gujer vd., 2000).

Pek çok bilimsel ve uygulamaya yönelik çalışmada kabul görmüş olan aktif çamur sistemlerinin çok bileşenli modeli ASM1'in (Henze vd., 1987) tespit edilen yetersizlikleri ortadan kaldırılıp geliştirilmiş ve depolama prosesi de göz önüne alınarak ASM3 (Gujer vd., 2000) modeli

ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra bozunma prosesinin ASM1'den farklı olarak içsel solunum mekanizması ile tanımlanması sonucu ASM3 hem bileşenleri hem de prosesleri açısından yeni bir yaklaşım ortaya koymaktadır.

Substrat depolama dönüşüm oranı, Y_{STO} , ASM3 modelindeki en önemli parametrelerden biridir. Depolama dönüşüm oranı, substratın stokiyo-metrik olarak ne kadarının depolama ürünlerine dönüşeceğini belirleyen etkin bir model bileşenidir. Bu oran literatürde ilk olarak saf kültür ile yürütülen çalışmalarla belirlenmiştir. van Aalstvan Leeuwen ve diğerleri (1997) asetat ile beslenen *Paracoccus pantotrophus* kültürü için depolama dönüşüm oranını 0.73 gKOİ/gKOİ olarak belirlemişlerdir. Karışık kültürlerle gerçekleştirilen çalışmalarda, asetat ile beslenen aktif çamur kültürü için aerobik depolama dönüşüm oranı 0.69 gKOİ/gKOİ olarak belirlenmiş (Beun vd., 2000a), anoksik koşullar için bu değer 0.59 gKOİ/gKOİ olarak bulunmuştur (Beun vd., 2000b). Goel ve diğerleri (1999) yürüttükleri çalışmalarda, teorik olarak glikozdan glikojen depolanmasının, asetatın polihidroksibütirat depolanmasından daha az enerji tüketmesi gerektiğinden, glikoz için depolama dönüşüm oranını 0.90 gKOİ/gKOİ olarak kabul etmişlerdir. Glikoz ile beslenen aktif çamur kültürü ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda bu oran 0.91 gKOİ/gKOİ olarak belirlenmiştir (Dircks vd., 2001). ASM3 modelinde ise, evsel atıksular için aerobik depolama dönüşüm oranı, Y_{STO} , 0.85 gKOİ/gKOİ ve anoksik dönüşüm oranı, Y_{STOD} , 0.80 gKOİ/gKOİ olarak önerilmektedir.

Bu çalışma, ASM3 modelinde tanımlanan substrat depolama dönüşüm oranının deneysel olarak belirlenmesinin esaslarını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Önerilen yöntem, evsel atıksular gibi karmaşık bir yapıya sahip atıksular için ölçülmesi son derece zor olan depolama ürünlerinin miktarlarının belirlenmesini gerektirmeden, respirometrik yöntemlere dayalı bir prosedür ortaya koymaktadır.

Kavramsal yaklaşım

Asetat gibi kolay ayrışan substratlarla gerçekleştirilen kesikli respirometrik deneyler, sistemde

hem kolay, hem de yavaş ayrışan substrat bileşenleri mevcutmuş gibi iki farklı respirasyon fazı olduğunu ortaya koymuştur. (Dircks vd., 1999). ASM1 kolay ayrışan substratın depolanması ve bu depolama ürünleri üzerinden gerçekleşen heterotrofik çoğalma proseslerini içermediğinden, bu tür kesikli deneylerde gözlenen respirometrik tepkileri simüle edememektedir. ASM3 tüm ayrışabilir KOİ'nin depolama ürünlerine dönüştüğünü ve heterotrofik çoğalmanın yalnızca depolama ürünleri üzerinden oluştuğunu varsaymaktadır. Depolama prosesi heterotrofik çoğalmadan daha hızlı bir prostestir ve kesikli deneylerde ani besleme sonrası, elektron alıcısı tüketen en baskın proses olarak ortaya çıkmaktadır. ASM3 modelinin organik karbon giderimi için tanımladığı kinetik ve stokiyometrik ifadeler sistemde yalnızca kolay ayrışabilen substratın bulunduğu durumlar için sadeleştirilerek Tablo 1'de sunulmaktadır.

Sistemde aerobik şartlarda tüketilen kolay ayrışan KOİ (S_s), üretilen depolama ürünleri ve kullanılan oksijen bileşenleri arasında tanımlanan stokiyometri Şekil 1'de verilmektedir.

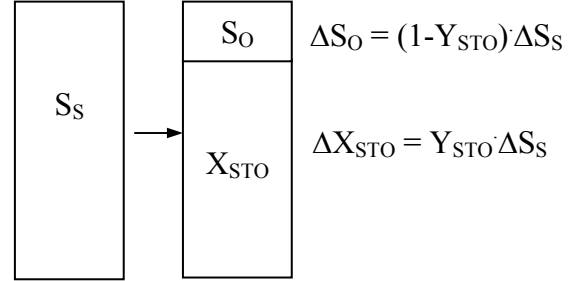
Şekilde gösterilen kütle dengesi uyarınca depolama prosesinde tüketilen oksijen miktarı için aşağıda verilen ifade elde edilmektedir:

$$\Delta S_O = \Delta O_{STO} = (1 - Y_{STO}) \Delta S_s \quad (1)$$

Sistemde başlangıçta mevcut olan kolay ayrışabilir KOİ, S_{S1} , tükendiğinde yukarıda verilen ifade kullanılarak depolama dönüşüm oranı,

Y_{STO} , 2 numaralı denklem ile tanımlanabilmektedir.

$$Y_{STO} = \left(1 - \frac{\Delta O_{STO}}{S_{S1}}\right) \quad (2)$$



Şekil 1. Aerobik depolamanın KOİ stokiyometrisi

Depolama dönüşüm oranının hesaplanması

Yukarıdaki ifadelerden de anlaşılacağı üzere depolama için harcanan oksijen miktarı depolama dönüşüm oranının hesaplanmasında kullanılabilir.

Bilinen miktarlarda kolay ayrışabilen KOİ ile yürütülen kesikli respirometrik deneylerde depolama prosesi için harcanan oksijen miktarı belirlenebildiğinde Y_{STO} hesaplanabilmektedir. Ancak bu deneylerde elde edilen oksijen tüketim hızı (OTH), tüm biyokimyasal süreçleri kapsamaktadır. Bu durumda depolama prosesi için harcanan elektron alıcısı miktarının ayrıca belirlenmesi gerekmektedir.

Tablo 1. Aktif Çamur Modeli No.3 (ASM3)

BİLEŞEN PROSES	S_O O_2	S_s KOİ	X_i KOİ	X_H KOİ	X_{STO} KOİ	PROSES HIZI
Kolay ayrışan substratın depolanması	$-(1 - Y_{STO})$	-1			Y_{STO}	$k_{STO} \frac{S_O}{K_O + S_O} \frac{S_s}{K_S + S_s} X_H$
Depolama ürünleri üzerinden çoğalma	$-\frac{(1 - Y_H)}{Y_H}$			1	$-1/Y_H$	$\mu_H \frac{S_O}{K_O + S_O} \frac{X_{STO}/X_H}{K_{STO} + X_{STO}/X_H} X_H$
İçsel solunum	$-(1 - f_i)$		f_i	-1		$b_H \frac{S_O}{K_O + S_O} X_H$
Depolama ürünlerinin içsel solunumu	-1				-1	$b_{STO} \frac{S_O}{K_O + S_O} X_{STO}$

Bu çalışma çerçevesinde, aerobik koşullar için tanımlanan ASM3 modeli, AQUASIM® (Reichert vd., 1998) programına aktarılmış ve model kesikli sistemler için farklı F/M oranları için çalıştırılarak, farklı başlangıç koşullarının model sonuçları üzerindeki etkisi, önerilen kinetik ve stokiyometrik katsayılar kullanılarak değerlendirilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. ASM3 ile 20 °C için önerilen katsayılar

Parametre	Önerilen Değer
k_{STO}	5 1/gün
K_S	2 mgKOİ/l
Y_{STO}	0.85 gKOİ/gKOİ
μ_H	2 1/gün
K_{STO}	1
Y_H	0.63 gKOİ/gKOİ
b_{STO}	0.2 1/gün
b_H	0.2 1/gün
f_I	0.2 gKOİ/gKOİ

Şekil 2(a), F/M oranı 1.0 gKOİ/ghücreKOİ olarak seçilen, başlangıç koşulu olarak heterotrofik biyokütle konsantrasyonunun (X_H) 200 mgKOİ/l olduğu ve depolama ürünleri konsantrasyonunun (X_{STO}) ihmal edildiği durum için gerçekleştirilen model simülasyonu sonucu elde edilen OTH tepkisini göstermektedir.

Elde edilen bu OTH profili Şekil 2(b)'de gösterildiği gibi, ASM3 modeli ile tanımlanan her bir proses için, 3-6 numaralı denklemlerdeki ifadeler uyarınca bileşenlerine ayrılabilir. Bu simülasyon çalışması sonucu, basit geometrik integrasyon teknikleri kullanılarak her eğrinin altında kalan alan hesaplanabilmekte, başka bir deyişle modelde yer alan her proses için tüketilen elektron alıcısı miktarı belirlenebilmektedir.

$$OTH_{\text{depolama}} = (1 - Y_{STO}) \cdot k_{STO} \frac{S_O}{K_O + S_O} \frac{S_S}{K_S + S_S} X_H \quad (3)$$

$$OTH_{\text{çoğalma}} = \frac{(1 - Y_H)}{Y_H} \cdot \mu_H \frac{S_O}{K_O + S_O} \frac{X_{STO}/X_H}{K_{STO} + X_{STO}/X_H} X_H \quad (4)$$

$$OTH_{\text{içsel_solunum}} = (1 - f_I) \cdot b_H \frac{S_O}{K_O + S_O} X_H \quad (5)$$

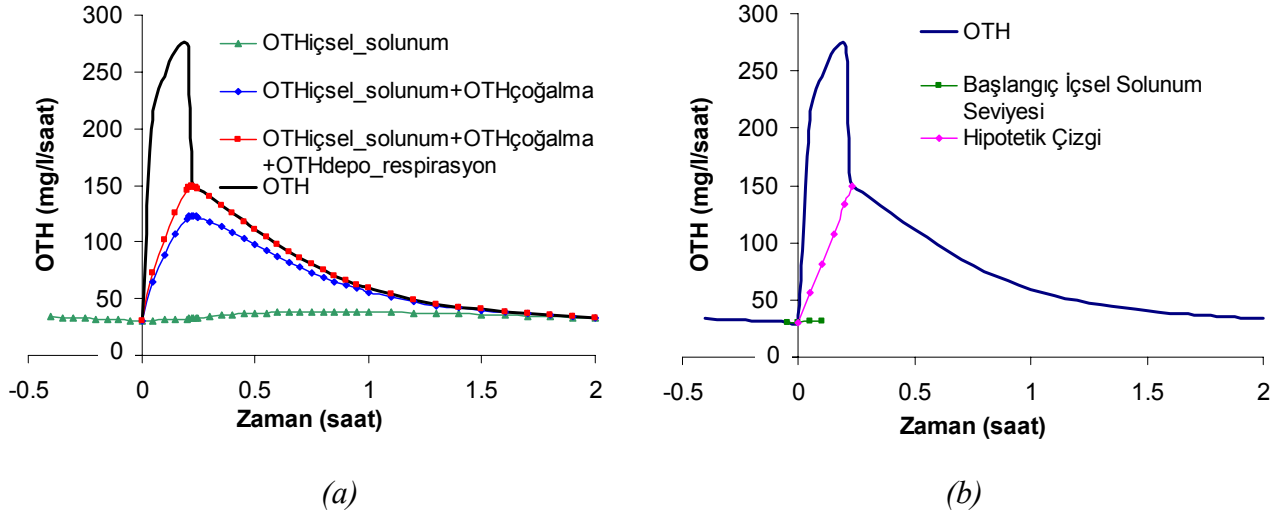
$$OTH_{\text{depo_respirasyon}} = b_{STO} \frac{S_O}{K_O + S_O} X_{STO} \quad (6)$$

Şekil 3'te görüldüğü gibi depolama için tüketilen oksijen miktarını grafik olarak da belirlemek mümkündür. Depolama dışında kalan 3 prosesin birleştirilmiş OTH grafiği 4.5 ve 6 numaralı ifadelerin toplamı olarak elde edilebilir. Toplam OTH eğrisi ve bu 3 procese ait OTH eğrisi arasında kalan alan, teorik olarak depolama için harcanan oksijen miktarına, ΔO_{STO} , eşittir. Model simülasyonu kullanılmadan, ΔO_{STO} 'nun grafik üzerinde belirlenebilmesi için önerilen yöntem, deney başlangıcındaki içsel solunum OTH seviyesi ile toplam OTH eğrisi üzerindeki kırılma noktası arasında bir doğru çizilmesini içermektedir. Toplam OTH eğrisi eğiminin yön değiştirdiği kırılma noktası başlangıçta mevcut olan kolay ayrışabilir KOİ'nin tükendiği, yani depolama prosesinin sona erdiği noktayı temsil eder. Çizilen doğru ile toplam OTH eğrisi arasında kalan alan depolama için harcanan oksijen miktarını, ΔO_{STO} vermektedir (Şekil 3b).

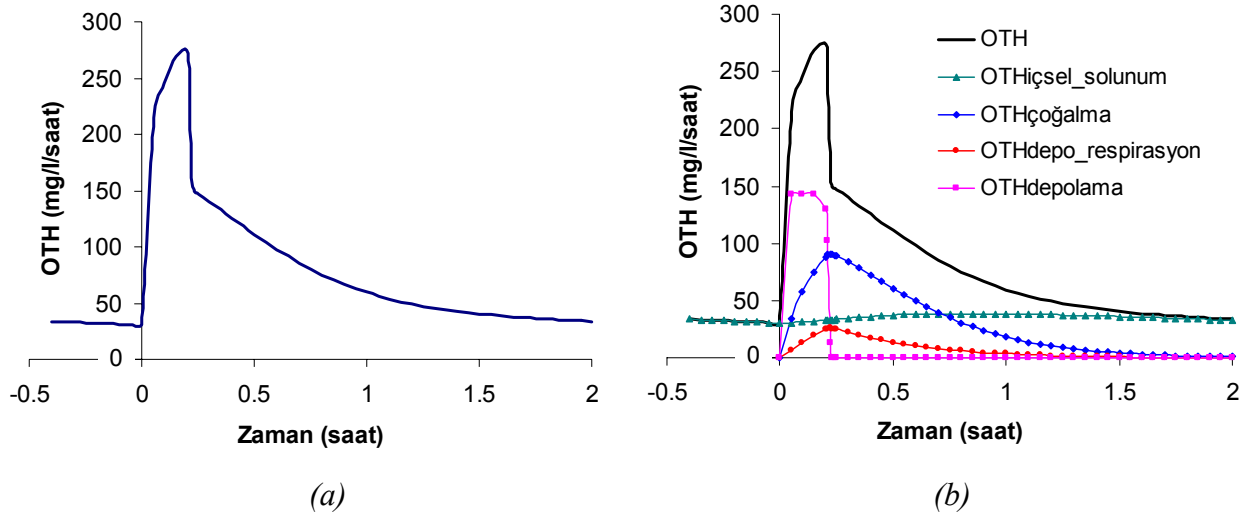
Önerilen yöntem, belirlenen OTH eğrisi üzerinde belirlenen iki noktanın lineer olarak birleştirilmesine dayandığından yaklaşık bir sonuç vermektedir. Bu yüzden, 0.02 ile 1.5 gKOİ/ghücreKOİ aralığında değişen F/M oranları için önerilen yöntemle hesaplanan ve model simülasyonları ile elde edilen Y_{STO} değerlerinin kıyaslandığı bir hassasiyet analizi gerçekleştirilmiştir (Tablo 3).

Hassasiyet analizi sonuçları, çok düşük F/M oranları dışında, önerilen yöntem ile Y_{STO} değerinin %2'den daha düşük hata oranları ile belirlenebileceğini göstermiştir. Depolama prosesi ile harcanan oksijen miktarı aşağıdaki ifade ile hesaplanabilmektedir:

$$\frac{dS_O}{dt} = (1 - Y_{STO}) \cdot \frac{dS_S}{dt} \quad (7)$$



Şekil 2. (a) ASM3 ile elde edilen standart OTH eğrisi ($F/M = 1 \text{ gKOİ/ghücreKOİ}$) (b) Her prosese ait OTH eğrisi bileşenleri



Şekil 3. (a) Model simülasyonu ile depolama prosesi için elde edilen (taralı) alan (b) Depolama prosesi ile tüketilen oksijen için önerilen (taralı) alan

Bu ifadeden de anlaşılacağı gibi tüketilen oksijen miktarı yalnızca kolay ayrışan substrat miktarına bağlıdır ve farklı F/M oranlarında OTH eğrisinin şekli değişiklik gösterse de aynı miktarlarda S_s için eğrinin altında kalan alan değişmeyecektir. Bu yüzden önerilen yöntemde modele ait kinetik parametrelerin değişiminin Y_{STO} hesaplaması üzerinde hiç bir etkisi olamayacaktır.

Materyal ve metot

Önerilen deneysel yöntemi denemek üzere asetat, glikoz ve evsel atıksuyun ve bunların karı-

şımalarının substrat olarak kullanıldığı respirometrik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Tekil substratlar için dönüşüm oranı üzerindeki etkisini görmek amacıyla farklı F/M oranlarında paralel deneyler gerçekleştirilmiştir.

Respirometrik deneyler sürekli olarak havalandırılan 2-3 litre hacimli reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Kesikli deneylerde doldurt-boşalt düzeninde işletilen aklimasyon reaktörlerinden alınan biyokütle kullanılmıştır. Deneyler sırasında öncelikle biyokütlenin içsel solunumundan kaynaklanan OTH seviyesi belirlenmiş, daha sonra substrat eklenmiştir.

Tablo 3. Önerilen Respirometrik yöntemin verifikasyonu için gerçekleştirilen hesaplamalar

Model Başlangıç Koşulları			Model Hesaplamaları		Önerilen Yöntem ile Yapılan Hesaplamalar			
F/M Oranı	S _{S1} (mgKOİ/l)	X _H (mgKOİ/l)	Y _{STO} (gKOİ/gKOİ)	ΔO _{STO} (mg/l)	ΔO _{Toplam} (mg/l)	ΔO _{STO} (mg/l)	Y _{STO} (gKOİ/gKOİ)	% Hata
0.02	4	200	0.85	0.14	53.72	0.10	0.974	14.58
	10	500	0.85	0.02	133.93	0.63	0.937	10.25
	20	1000	0.85	0.00	267.76	1.24	0.938	10.35
0.10	20	200	0.85	2.34	63.26	2.53	0.874	2.79
	50	500	0.85	6.14	158.40	6.66	0.867	1.97
	100	1000	0.85	12.93	317.41	14.02	0.860	1.16
0.50	100	200	0.85	14.32	111.76	16.42	0.836	1.68
	250	500	0.85	35.52	279.10	39.82	0.841	1.09
	500	1000	0.85	71.81	558.81	78.05	0.844	0.72
1.00	200	200	0.85	29.31	171.95	33.53	0.832	2.07
	500	500	0.85	73.10	429.65	82.04	0.836	1.66
	1000	1000	0.85	146.92	859.71	160.89	0.839	1.28
1.50	300	200	0.85	44.30	231.53	49.85	0.834	1.90
	750	500	0.85	110.72	578.73	122.52	0.837	1.57
	1500	1000	0.85	219.74	1155.15	242.63	0.838	1.38

OTH ölçümleri Manotherm RA-1000 sürekli respirometresi kullanılarak gerçekleştirilmiş, deneyler sırasında pH değerinin 7.0-8.0 aralığında kalması sağlanmıştır. KOİ ölçümleri ISO6060 (1986) ile tanımlanan yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Evsel atıksu 0.45 µm gözenek çaplı selüloz asetat filtreler kullanılarak süzülmüştür.

Deneysel sonuçlar

Bu çalışmada önerilen deneysel yöntemi test etmek üzere esas olarak seçilen substrat asetatdır. Asetat polihidroksibütirat (PHB) olarak depolanabilir bir substrattır. Deneylerde ayrıca glikoz da kullanılmıştır. Glikoz ise PHB depolanmasından tamamen farklı bir metabolik yol izleyerek glikojen halinde hücre içinde depolanmaktadır. Atıksulardaki kolay ayrışabilir substratın genellikle polihidroksi-alkanoatlar (PHA) ve glikojen olarak depolandığı kabul edilmektedir. Asetat ve glikoz, iki uç

örneği temsil ettiklerinden özel olarak seçilmişlerdir. Süzülmüş evsel atıksu ile sürdürülen deneyler ise deneysel yöntemin karmaşık bir atıksu yapısı için denenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Asetat ve glikoz ile gerçekleştirilen deneyler

Asetat deneyleri: Asetat ile gerçekleştirilen deneyler 0.09–3.65 gKOİ/ghücreKOİ arasında değişen F/M oranlarında sekiz paralel set olarak gerçekleştirilmiştir. Önerilen hesaplama yöntemi uyarınca elde edilen Y_{STO} değerleri Tablo 4'te verilmektedir.

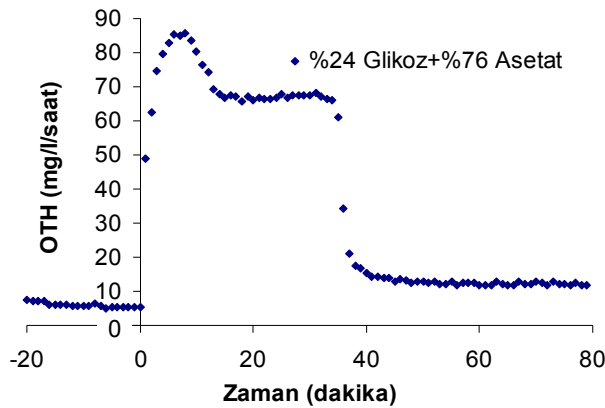
Asetat ile gerçekleştirilen deneylerde hesaplanan ortalama Y_{STO} değeri 0.78 gKOİ/gKOİ'dir. Bu değer, ASM3 modelinde evsel atıksular için önerilen 0.85 gKOİ/gKOİ değerinden biraz düşük olmakla birlikte, literatürde verilen 0.73 gKOİ/gKOİ (van Aalst-van Leeuwen vd., 1997) ve 0.69 (Beun vd., 2000a) değerleri ile uyum içindedir.

Tablo 4. Asetat için elde edilen Y_{STO} değerleri

Set No.	F/M Oranı (gKOİ/ghücreKOİ)	Y_{STO}
Set 1	0.09	0.75
Set 2	0.12	0.76
Set 3	0.19	0.76
Set 4	0.31	0.80
Set 5	0.42	0.75
Set 6	0.71	0.77
Set 7	0.87	0.80
Set 8	3.65	0.82
Ortalama		0.78

Glikoz deneyleri: Glikozun substrat olarak kullanıldığı kesikli deneyler 0.05 ve 0.78 gKOİ/ghücreKOİ olarak belirlenen F/M oranlarında gerçekleştirilmiştir. Glikoz ile yürütülen deneylerde dönüşüm oranı Y_{STO} , 0.87 gKOİ/gKOİ, olarak hesaplanmıştır. Bu değer asetat ile karşılaştırıldığında çok yüksek olmakla birlikte literatürde kaydedilen 0.90 gKOİ/gKOİ değeriyle uyumludur.

Glikoz/Asetat karışımları ile yürütülen deneyler: Bu deneylerde başlangıçtaki substrat konsantrasyonu 150-200 mgKOİ/l, olarak seçilmiş ve glikoz oranı giderek azaltılarak %81, %49 ve 24% oranlarındaki karışımlar ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 5'te görüldüğü gibi Y_{STO} değeri dominant substrat fraksiyonundan etkilenerek 0.85 gKOİ/gKOİ'den 0.78 gKOİ/gKOİ'ye varan bir düşüş göstermiştir. Bu karışımlar için elde edilen OTH profillerinde ilginç olan nokta her iki substratın birbirinden bağımsız hareket etmesidir (Şekil 4).



Şekil 4. Glikoz/asetat karışımı ile elde edilen OTH profili

Tablo 5. Glikoz ve glikoz-asetat karışımları için belirlenen depolama dönüşüm oranları

Set No.	Substrat Kompozisyonu	F/M Oranı (gKOİ/gKOİ)	Y_{STO}
Set 1	Glikoz	0.78	0.87
Set 2	Glikoz	0.05	0.87
Set 3	%81 Glikoz	0.78	0.85
	%19 Asetat		
Set 4	%49 Glikoz	0.22	0.82
	%51 Asetat		
Set 5	%24 Glikoz	0.21	0.78
	%76 Asetat		

Evsel atıksu ile gerçekleştirilen deneyler

İstanbul Ataköy'deki evsel atıksu arıtma tesisinden alınan günlük kompozit evsel atıksu numuneleri süzülerek 0.09–0.42 gKOİ/gKOİ arasında değişen dört farklı F/M oranında, respirometrik deneyler gerçekleştirilmiştir. Evsel atıksuyun çözünmüş KOİ değeri 100 mg/l ve biyolojik olarak ayrışabilen kısmı 90 mg/l olarak belirlenmiştir. Tablo 6'da verildiği gibi Y_{STO} değeri 0.96 gKOİ/gKOİ olarak elde edilmiştir. Bu oran hem asetat hem de glikoz için elde edilen değerlerin çok üzerindedir. Ayrıca evsel atıksu/asetat karışımları ile 3 ayrı deney yürütülmüş ve Y_{STO} değerleri ortamda daha çok bulunan substratın dönüşüm oranına yaklaşmış ve asetat ve evsel atıksu için elde edilen Y_{STO} değerlerini doğrulamıştır (Şekil 5).

Hesaplamalar tüm çözünmüş ayrışabilir KOİ'nin kolay ayrışabilir olduğu varsayımına dayanarak yapılmıştır. Ancak bu varsayım saf substratlar için geçerli olmakla birlikte, karmaşık substrat kompozisyonuna sahip atıksular için dikkatli bir değerlendirme yapmak gerekmektedir. Eğer gerçekte kolay ayrışabilen KOİ ASM3 modelinde varsayılandan daha düşük ise, buna karşılık gelen oksijen tüketimi ancak çok yüksek bir Y_{STO} değeri ile elde edilebilmektedir.

Tablo 6. Evsel atıksu ve evsel atıksu-asetat karışımları için belirlenen depolama dönüşüm oranları

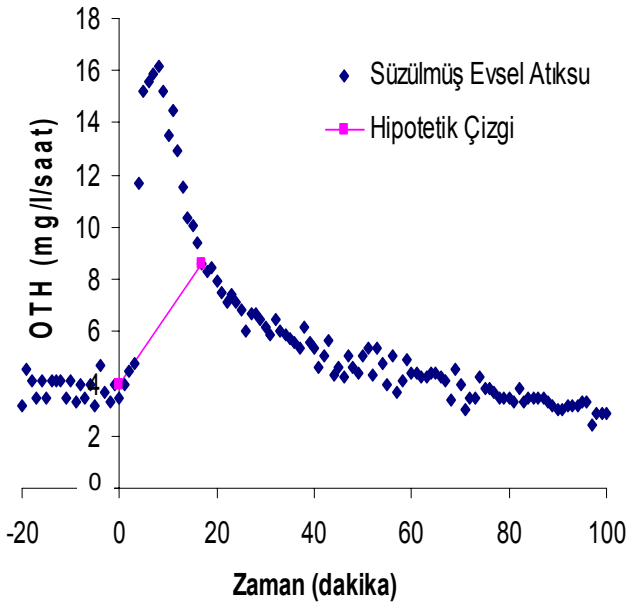
Set No.	Atıksu Kompozisyonu	F/M Oranı (gKOİ/gKOİ)	Y_{STO}
Set 1	Evsel atıksu	0.09	0.95
Set 2	Evsel atıksu	0.19	0.97
Set 3	Evsel atıksu	0.37	0.96
Set 4	Evsel atıksu	0.42	0.96
Set 5	%80 Evsel atıksu +%20 Asetat	0.56	0.90
Set 6	%50 Evsel atıksu +%50 Asetat	0.28	0.87
Set 7	%27 Evsel atıksu +%73 Asetat	0.31	0.82

Sonuçlar

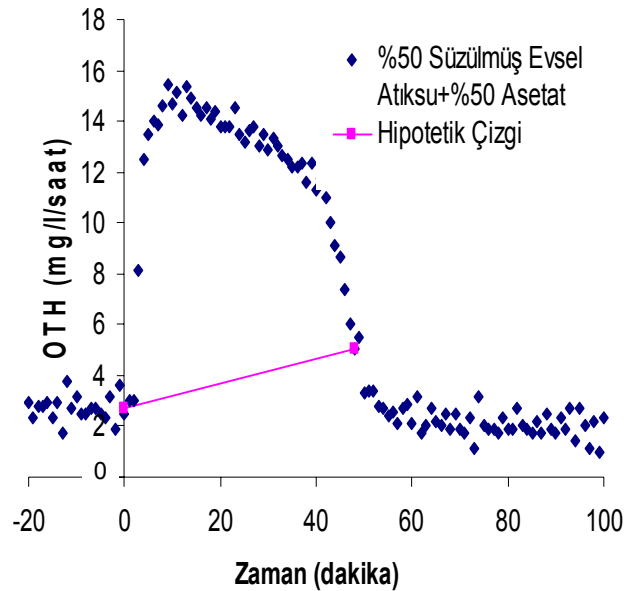
Respirometrik çalışmalar sonucunda ASM3 prosesindeki en önemli parametrelerden biri olan depolama dönüşüm oranını hesaplamak için deneysel esaslara dayanan bir yöntem ortaya konmuştur. Yöntemin en önemli ayrıcalığı

şimdiye kadar bu parametreyi hesaplamaya yönelik kullanılan yöntemlerden farklı olarak, oluşan depolama ürünlerinin ölçümüne gerek duyulmamasıdır. Glikoz ve asetat gibi bilinen substratlar için depolama ürünleri belirlenebilse de, evsel atıksular gibi karmaşık bir substrat yapısı söz konusu olduğunda depolama ürünlerinin tümünün tespiti mümkün değildir. Önerilen hesaplama yöntemi ile depolama dönüşüm oranı büyük bir hassasiyet ile hesaplanabilmektedir. Yöntem 0.1 gKOİ/ghücre KOİ'den yüksek F/M oranları için %2'den düşük hata paylarına sahiptir.

Önerilen deneysel yöntem ile asetat, glikoz ve evsel atıksu ve bunların karışımlarının substrat olarak kullanıldığı respirometrik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Değişik F/M oranlarında yürütülen deneyler ile depolama dönüşüm oranları, asetat için 0.78, glikoz için 0.87 ve evsel atıksu için 0.96 gKOİ/gKOİ olarak belirlenmiştir. Evsel atıksu için elde edilen yüksek Y_{STO} değeri ASM3 modelindeki kolay ayrışabilir KOİ tanımından kaynaklanmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 5. Evsel atıksu OTH profilleri (a) Evsel atıksu (Set 2) (b) %50 evsel atıksu -%50 asetat karışımı (Set 6)

Kaynaklar

- Beun, J. J., Paletta, F. van Loosdrecht, M. C. M. ve Heijnen, J. J., (2000a). Stoichiometry and kinetics of poly- β -hydroxybutyrate metabolism in aerobic, slow growing, activated sludge cultures, *Biotechnology Bioengineering*, **67**, 4, 379-389.
- Beun, J. J., Verhoef, E.V., van Loosdrecht, M. C. M. ve Heijnen, J. J., (2000b). Stoichiometry and kinetics of poly- β -hydroxybutyrate metabolism under denitrifying conditions in activated sludge cultures, *Biotechnology Bioengineering*, **68**, 5, 496-507.
- Dircks, K., Pind, P. F., Mosbæk, H. ve Henze, M., (1999). Yield determination by respirometry. The possible influence of storage under aerobic conditions in activated sludge, *Water SA*, **25**, 1, 69-74.
- Dircks, K., Beun, J. J., van Loosdrecht, M., Heijnen, J. J. ve Henze, M. (2001). Glycogen metabolism in aerobic mixed cultures. *Biotechnology Bioengineering*, **73**, 2, 85-94.
- Goel, R., Mino, T., Satoh, H. ve Matsuo, T., (1999). Modeling hydrolysis processes considering intracellular storage, *Water Science and Technology*, **39**, 1, 97-105.
- Gujer, W., Henze, M., Mino, T. ve van Loosdrecht, M., (2000). Activated Sludge Model No.3. In: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2D and ASM3, Henze, M., Gujer, W., Mino, T., van Loosdrecht, M. (eds.) IWA Scientific and Technical Report No.9. IWA London. ISBN: 1 900222 24 8.
- Henze, M., Grady, C. P. L. Jr., Gujer, W., Marais, G. v. R. and Matsuo, T., (1987). Activated Sludge Model No.1. IAWPRC Scientific and Technical Report No.1, IAWPRC, London.
- Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M. C. ve Marais, G. v. R., (1995). Activated Sludge Model No.2. IAWPRC Scientific and Technical Report No.2, IAWQ, London.
- ISO (1986). Water Quality – Determination of the chemical oxygen demand. Ref.No. ISO 6060-1986.
- Reichert, P., Ruchti, J. ve Simon, W., (1998). Aquasim 2.0 Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG), CH-8600 Duebendorf, Switzerland.
- van Aalst-van Leeuwen, M. A., Pot, M. A., van Loosdrecht, M. C. M. and Heijnen, J. J., (1997). Kinetic modeling of poly (β -hydroxybutyrate) production and consumption by *P. P.* under dynamic substrate supply, *Biotechnology Bioengineering*, **55**, 5, 773-782.
- van Loosdrecht, M. C. M., Pot, M. A. ve Heijnen, J. J., (1997). Importance of bacterial storage polymers in bioprocesses, *Water Science and Technology*, **35**, 1, 41-47.