

AKTİF ÇAMUR SİSTEMİNDE SÜBSTRAT GİDERİMİ

Seval Kutlu AKAL *
Vedat PINARLI **
Hüseyin Savaş BAŞKAYA ***
Taner YONAR ****

ÖZET

Bu makalede, biyolojik arıtma sistemlerinden özellikle Aktif Çamur proseslerinin tasarımı ve işletilmelerinde sübstrat giderim mekanizmasının önemle göz önüne alınması gerektiği belirtilmiştir.

Bu amaçla, sübstrat giderimi konusunda genel bilgiler verilmiş, literatürde mevcut eşitlik ve ifadeler açıklanarak bu konuda yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Aktif Çamur Sistemi, Sübstrat Giderimi, Biyolojik Arıtma.

SUBSTRATE REMOVAL IN ACTIVATED SLUDGE SYSTEMS

SUMMARY

In this paper, the importance of substrate removal mechanisms on the design and operation of biological treatment systems, especially in activated sludge processes, was discussed.

Principles of substrate removal and the related work published in the literature including equations given were described and evaluated.

KEY WORDS: Activated Sludge System, Substrate Removal, Biological Treatment.

* Yrd. Doç. Dr., Uludağ Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Çevre Müh. Böl. 16059, Görükle Bursa

** Doç.Dr., Uludağ Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Çevre Müh. Böl. 16059, Görükle Bursa

*** Prof.Dr., Uludağ Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Çevre Müh. Böl. 16059, Görükle Bursa

**** Arş.Gör., Uludağ Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Çevre Müh. Böl. 16059, Görükle Bursa

1- GİRİŞ:

Aktif çamur sistemi (AÇS), atıksu içerisinde mevcut çözünmüş ve kolloid haldeki organik maddelerin sistemdeki değişik mikroorganizma türleri tarafından kısmen karbondioksit (CO_2) ile su (H_2O) ve diğer ürünlere, kısmen de yumaklaşabilir biyolojik çamur şeklindeki biyokütleyle dönüştürüldüğü proseslerdir. Proses sırasında sübstrat, yeni hücre sentezlemek ve enerji elde etmek amacıyla kullanılır. Atıksuyun havalandırılması esasına dayanan AÇS, Şekil 1’de görüldüğü gibi havalandırma havuzu ile çamurun çöktürüldüğü bir çökeltim tankından oluşur.

Su kirlenmesine sebep olan maddelerin büyük bir kısmı organik orijindir. Organik maddelerin konsantrasyonu başlıca;

- 1- Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)
- 2- Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)
- 3- Toplam Organik Karbon (TOK)

yöntemleri ile ölçülebilir. Bunlardan en önemlileri BOİ ve KOİ olup, BOİ, atıksu numunesinde mevcut karbon bileşiklerinin biyolojik olarak oksitlenmesi için gereken oksijen miktarıdır. KOİ ise atıksu numunesindeki kimyasal olarak oksitlenebilir maddelerin konsantrasyonudur.

Bu maddeler mikroorganizmalar tarafından biyokimyasal olarak indirgenerek stabil ve zararsız hale getirilmektedir. Organik maddelerin bu şekilde değişikliğe uğramasına ayrışma veya çürümeye denir. Bütün bu olaylarda organik maddelerin esas unsuru olan C, N, S, P gibi besin maddeleri (nütrientler) devamlı olarak bir değişime maruz kalır. Biyolojik faaliyetler sonucu organik maddeler, inorganik besin elementlerine dönüşür. Bu dönüşüm biyolojik arıtma sistemlerinde gerçekleştirilen bir proses olup, bu sistemlerin tasarımında göz önüne alınması gereken pek çok parametre bulunmaktadır (Akal, 1997).

Bunlardan en önemlileri “S” sübstrat konsantrasyonu ile “X” mikroorganizma konsantrasyonu ve S/X oranıdır. Bu çalışmada, aerobik koşullarda sadece karbonlu organik maddelerin giderilmesi ele alınmış, nitrifikasyon ve denitrifikasyon reaksiyonları ile prosesi etkileyen diğer parametreler makalenin kapsamı dışında bırakılmıştır.

2- AKTİF ÇAMUR SİSTEMİNDE SÜBSTRAT GİDERİMİ

A.Ç.S.’deki mikroorganizma popülasyonu heterojen bir bakteri kültürü olup bunların çoğalması ve atıksudaki organik maddelerin (sübstrat) biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda indirgeme mekanizmaları da oldukça karmaşıktır.

Sübstratlar;

- 1- Doğrudan hücre içine taşınabilen sübstratlar (çözünmüş halde olan sübstratlar),
- 2- Hücre içine taşınmadan önce hücre dışında dönüştürülmesi gereken kompleks

sübatratlar (partiküler haldeki sübatratlar) ,
olmak üzere başlıca iki gruba ayrılabilir. (Ekama ve Marais, 1984)

A.Ç.S.'de sübatrat giderim mekanizması üç süreç olarak tanımlanabilir;

- 1- Hücrenin sübatrat molekülü ile karşılaşması,
- 2- Molekölün hücre içine taşınması,
- 3- Hücre içinde sübatratın dönüştürülmesidir (Akal, 1990).

Şekil 2'de görüldüğü gibi sübatrat giderim mekanizmasında, sübatrat, hücre içine alındıktan sonra metabolik ara ürünlere dönüştürülür ve bir kısmı da depolanır. Oluşan ürünlere bir kısmının hücre dışına taşınımı söz konusudur. Hücre içindeki metabolik ara ürünlerin bir kısmı enerji elde etmek amacıyla oksitlenirken diğere kısmı yeni hücre sentezlemek amacıyla kullanılır.

3- SÜBATRAT GİDERİMİNDE TEMEL EŞİTLİKLER

Sübatrat giderimi konusunda ilk çalışmalar 1914 yılında Arden ve Lockett tarafından başlatılmıştır. Monod (1949)'un saf kültür kullanarak gerçekleştirdiği çalışmasında sübatrat gideriminin sıfırıncı mertebeden olduğu ileri sürülmüştür. Monod'a göre, bir sübatrat hücre içine, tek sübatratın artırım oranını tanımlayan eşitlik yardımıyla aktarılır. Monod eşitliği olarak bilinen bu denklem;

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\mu_m \cdot X}{Y} \cdot \frac{S}{K_s + S} \quad (1)$$

saf bir sübatratın ayrışma hızını veren bir diferansiyel denklemdir. Burada;

- S : Sübatrat konsantrasyonu (mg KOİ / L veya mg BOİ / L)
X : Biyokütle konsantrasyonu (mg MLSS / L veya mg MLVSS / L)
MLSS : Mixed Liquor Suspended Solids (Karışık sıvı askıda katı madde)
MLVSS : Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (Karışık sıvı uçucu askıda katı madde)
Y : Dönüşüm oranı
 μ_m : Maksimum spesifik çoğalma hızı (1/gün)
 K_s : Yarı doğunluk sabiti (mg/L)
t : Zaman (gün)

Wuhrmann (1955), Gaudy ve arkadaşları (1963), Eckenfelder (1964), Dawning (1966) karışık kültür ile sübatrat gideriminin, saf kültür kullanımında olduğu gibi sıfırıncı mertebeden olduğunu ileri sürmüşler ve sübatratların karışık kültür ile giderilebileceğini gözlemişlerdir (Tischler ve Eckenfelder, 1968).

Monod denklemi, $S/X < 2$ tutulduğunda veya arıtma süresince sistemde X nispeten sabit kaldığında sübatrat artırım oranı da sabit kalmaktadır. Bu düşünce ile X ye-

rine X (ortalama değer) konularak integre edilirse;

$$K_s \cdot \ln (S_0 / S) + S_0 - S = \frac{\mu_m \cdot X}{Y} \cdot t \quad (2)$$

denklemini elde edilir. Burada;

S_0 = Başlangıç sübstrat konsantrasyonudur (mg KOİ / L veya mg BOİ / L) .

(1) denklemi Gates ve Marlar tarafından ;

$$\frac{1}{t} \ln \frac{S}{S_0} = \left[1 + \frac{X_0 / Y + S_0}{K_s} \right] \cdot \left[\ln \left(1 + \left(\frac{Y}{X_0} \cdot (S_0 - S) \right) \right) \right] - \frac{\mu_m}{K_s} (X_0 / Y + S_0) \quad (3)$$

denklemine dönüştürülmüştür. Bu denklemlerdeki μ_m ve K_s değerleri karışık kültürler için ortalama değerler olup, karıştırılan sübstrat sistemlerindeki herhangi bir kültür değişimi bu sabitlerin değerlerini de değiştirecektir (Chudoba ve arkadaşları, 1973).

Jones (1973), Monod ve 1. mertebe kinetiklerini karşılaştırarak Monod kinetiğinin çoklu sübstrat sistemleri için doğru olmadığı sonucuna varmıştır.

Dold ve arkadaşları (1980) ise sentez için mikroorganizmalar tarafından adsorbabilen kolay ayrışan çözünmüş substratların ortalama giderim hızını Monod ifadeyle modellemiştir.

Grady ve arkadaşları (1989)'da Dold ve arkadaşları (1980)'nın belirttiği sübstrat giderim hızı ifadesini kabul ederek sübstrat tüketimi için ;

$$r_s = - \frac{\mu}{Y} X \quad (4)$$

denklemini vermişlerdir. Burada;

μ : Spesifik büyüme hız katsayısı (1/gün) olup;

$$\mu = \frac{\mu_m \cdot S}{K_s + S} \quad (5)$$

şeklinde verilmiştir.

Akal (1997) tarafından glukoz ile beslenen kesikli reaktörlerde başlangıç mikroorganizma ve sübstrat konsantrasyonunun kalıcı ürün oluşumuna etkisi incelenmiş,

sübstrat gideriminin belirlenmesi için;

$$\ln \frac{S}{S_0} = \left[1 + \frac{S_0 + Y/Y_0}{K_s} \right] \ln \left[1 + \frac{Y}{X_0} (S_0 - S) \right] - \frac{\mu_m}{K_s} \left(\frac{Y}{X_0} + S_0 \right) t \quad (6)$$

integral denklemleri verilmiştir. Akal (1997)'nin elde ettiği (6) denkleminin, Gates - Marlar (1968) tarafından verilen (3) denklemden çok daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Sübstratın bir başka çeşidi olan partiküler sübstratlar metabolize edildiklerinde;

1- Adsorpsiyon ve depolama

2- Kompleks organik moleküllerin enzimler yardımıyla hücre duvarından geçecek kadar basit moleküllere parçalanması

3- Adsorpsiyon ve sentez olayları meydana gelir. (Dold ve arkadaşları, 1980)

Reaksiyon hızı çok düşük olan partiküler sübstratın giderimi sırasında bunların hücre dışında daha küçük moleküllere hidrolizini kısıtlayıcı bir unsur oluşturmaktadır.

Dold ve Marais (1986) tarafından yapılan öneriler ile adsorpsiyon ve hidroliz kavramlarında değişiklik getirilmiştir (Griffiths, 1993). Çamur fazında tutulan partiküler maddenin (sübstratın), mikroorganizma kütlesi tarafından salgılanan hücre dışı enzimlerle hidroliz edilerek kolay ayrılan sübstrat halinde sıvı kütlesi içine verildiği kabul edilmektedir. Hidroliz sonucunda ortaya çıkan kolay ayrılan sübstrat, giriş akımından gelen sübstratla beraber sentez amacıyla kullanılır (Akal, 1997).

4- SONUÇLAR:

Aktif çamur sistemlerinin tasarımında gözönüne alınması gereken en önemli parametrelerden birisi "S" sübstrat konsantrasyonudur. Sistem içindeki sübstratlar, çözülmüş halde ve partikül haldeki sübstratlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Mikroorganizma topluluğu tarafından biyolojik arıtma sistemlerinde sübstrat, oldukça karmaşık mekanizmalarla giderilmektedir.

Bu konuda yapılan araştırmalar sonucunda sübstratın ayrışma hızı, diferansiyel ve integral denklemler şeklinde ifade edilmiştir. Bazı araştırmacılar sübstrat gideriminin sıfıncı mertebeden, diğer bir grup araştırmacılar ise birinci mertebeden olduğunu ifade ederek diferansiyel denklemlerde mevcut μ_m ve K_s gibi kinetik sabitlerin mikroorganizma kültürlerinin farklılığından etkilendiğini belirtmişlerdir. Kesikli sistemlerde sübstrat konsantrasyonunun kalıcı ürün oluşumuna ve kinetik sabitler üzerindeki etkisi araştırılarak, sübstrat gideriminin integral bir denklem yardımıyla ifade edilebileceği gösterilmiştir.

Söz konusu aktif çamur sistemlerinde sübstrat giderimi mekanizmalarının kinetiğini açıklamak amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda laboratuvarında sentetik olarak hazırlanan atıksular kullanılmıştır. Ancak, evsel veya endüstriyel atıksularda bulunan organik maddelerin giderim mekanizmalarının belirlenebilmesi için yapılacak çalışmalarda sentetik olarak hazırlanan sular yerine, evsel ve endüstriyel atıksular gibi gerçek atıksuların kullanılması, aktif çamur sistemlerinin tasarımında kullanılacak dizayn parametrelerinin elde edilmesini mümkün kılacaktır.

5- KAYNAKLAR:

AKAL, S. K. (1990), Aktif Çamurda Çözünmüş Metabolik Ürün Oluşumu Modeli, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü.

AKAL, S. K. (1997), Glukozla Beslenen Kesikli Reaktörlerde Organik Yüklemenin Ayrışma Kinetiği ve Kalıcı Ürün Oluşumu Üzerine Etkisi, Doktora Tezi (Yayınlanmamış), İ.T.Ü.

ARTAN, N. (1987), Aktif Çamurda Çözünmüş Kalıcı Ürün Oluşumu Modeli, Doktora Tezi, İ.T.Ü.

CHUDOBA, J. et al., (1973), Control of Activated Sludge Filamentous Bulking -III, Wat. Res.,7, 1389 - 1406

DOLD, P.R., EKAMA, G.A., MARAIS, G.V.R. , (1980), A General Model for the Activated Sludge Process, Prog., Wat.Tech., 12, 47-77.

DOLD, P.R., MARAIS, G.V.R., (1986), Evaluation of the General Activated Sludge Model Proposed by the IAWPRC Task Group, Wat. Sch. Tech.,Vol.18, 63-69.

EKAMA, G.A. , MARAIS, G.V.R., (1984), Carbonaceous Material Removal Theory, Design and Operation of Biological Nutrient Removal Activated Sludge Process, In WRC (Ed.), WRC of S.A. University of Capetown.

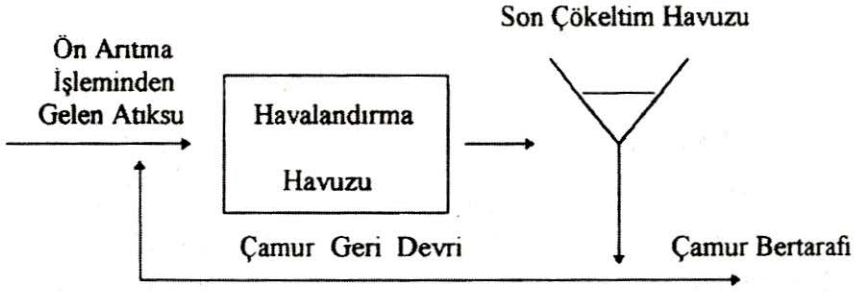
GAUDY, A.F. , et. al., (1963), Sequential Substrate Removal in Heterogenous Populations, J. Wat. Pollut. Cont. Fed., 35, 903-922

GRADY, J.P.L.Jr., et. al., (1989), Determination of Biodegradation Kinetics Through Use of Electrolytic Respirometry, Wat. Sci. Tech., Vol. 21, Brighton, 957-968.

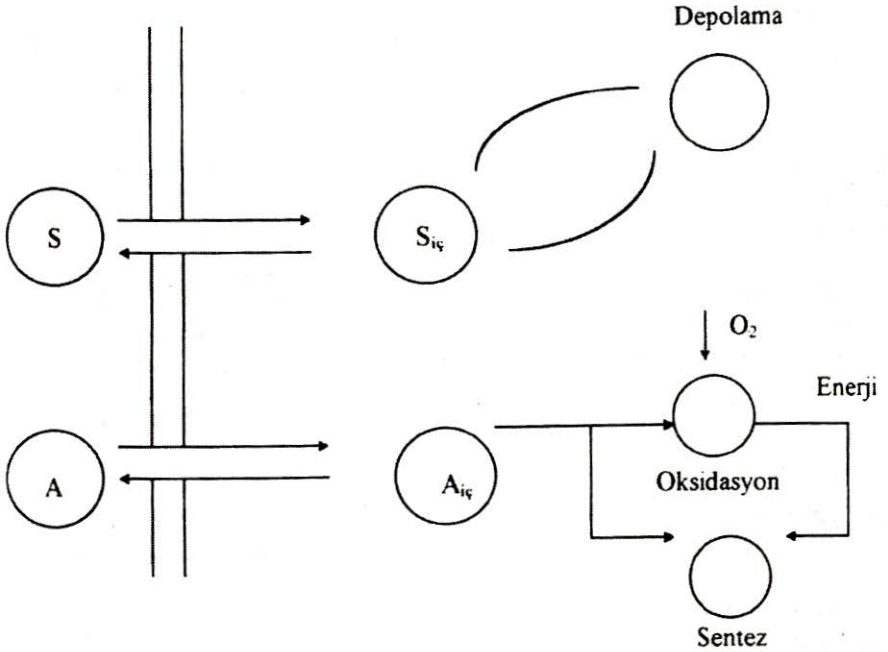
GRIFFITHS, P., (1993), Modifications to the IAWPRC Task Group General Activated Sludge Model, Wat. Res., Vol. 28, No.2, 657-664.

MONOD, J., (1949), The Growth of Bacterial Cultures Ann. Rev. Microbial, 3,371-394

TISCHLER, L.F., ECKENFELDER, W.W. Jr., (1968), Linear Substrate Removal in the Activated Sludge Process, Pap. No. II-4, Fourth Inst. Conf. on Water Pollut. Res., Prague



Sekil 1 Aktif Çamur Sisteminin (A.Ç.S) Genel Gösterimi



- S : Sübstrat
A : Ara ürün
S_{iç} : Hücre içi substrat
A_{iç} : Metabolik ara ürün

Sekil2 Sübstrat Giderim Mekanizmasının Şematik Gösterilişi (Artan, 1987)