

BİR FERMENTÖRDE ÇOĞALAN MİKROORGANİZMALARIN BULUNDUKLARI ORTAMDAKİ ÜÇ BOYUTLU HAREKETLERİNİN MODELLENMESİ

* O. Akpolat

Muğla Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 48000 Muğla

ÖZET

Bir fermentörde çoğalan mikroorganizmaların miktarlarına bağlı olarak buldukları ortamda üç boyutlu hareketlerinin modellenmesi öncelikle mikroorganizmanın büyüme kinetik esasları çerçevesinde kütle miktarlarının bulunması ile eş zamanlı olarak mikroorganizmaların fermentördeki üç boyutlu rastgele dağılım hareketlerinin akı-kan moleküllerininkine benzetilerek modellenip görsel olarak izlenebilmesine dayanır. Burada büyüme kinetiğinin ifade edilmesinde en basit gösterim olan Monod büyüme kinetiği denklemi ile parçacıkların rastgele hareketlerinin modellenmesinde Brownian hareket denklemi seçilmiştir. Hazırlanan matematik modele ilişkin yazılan algoritmanın uygulanması MATLAB yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup biçimsel olarak üç boyutlu grafikte gösterilen mikroorganizma hareketleri video filmine dönüştürülmüştür.

Anahtar kelimeler: mikroorganizma, ço_alma, boyut, hareket, modelleme

MODELING OF GROWING MICROORGANISMS' MOVES IN THREE DIMENSIONS IN A FERMENTOR

ABSTRACT

In this work, the moving of the microorganisms to be grown in a fermentor in three dimensions was modeled. The modeling bases on the calculating of their concentrations by the principles of growth kinetics and the determining of their randomly activities depending on their amounts in the fermentor accepted by similar with those of fluid particles, simultaneously. The algorithm written for application of the modeling was run by MATLAB software and the activities of the microorganisms were arranged as a video film.

Keywords: microorganism, growing, dimension, move, modeling

1. GİRİŞ

Biyoteknolojinin dünyadaki gelişimine bakıldığında her geçen gün daha yaygın olarak karşılaşılmakta olduğu açıktır. Biyoteknoloji kısaca mikroorganizmaların, hücre ve doku kültürlerinin ve bunların çeşitli kısımlarının teknik uygulama potansiyelinden yararlanmak üzere biyokimya, mikrobiyoloji ve mühendisliğin entegre olduğu bir ara kesitte yer alır. Diğer bir deyişle biyoteknoloji, canlı hücreler (mikroorganizmalar, bitki ve hayvan hücreleri) veya hücrelerden elde edilen enzimler veya organeller tarafından gerçekleştirilen biyolojik reaksiyonlar ile uğraşır. Böylesi bir yaklaşımla biyoteknoloji gen teknolojisindeki gelişmelerle de daha verimli suşların üretildiği biyoloji, biyolojik büyüme ya da enzimatik reaksiyonlar

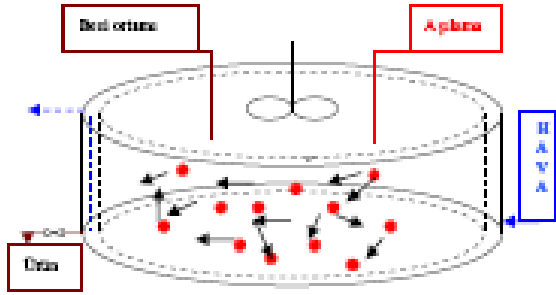
sırasındaki kimyasal değişimleri inceleyen biyokimya ve tüm bu biyolojik ve biyokimyasal ortamların tasarlandığı ve üretim tekniklerinin uygulandığı mühendislik kavramlarına dayanır [1, 2, 3]. Enzimatik reaksiyonlar hariç genel de fermentasyon olarak da adlandırılan biyoteknolojik üretim aslında uygun bir mikroorganizmanın bir fermentördeki ihtiyaç duyduğu çoğunlukla şeker olan ana besin (substrat) ve bazı tuzlar ve vitaminler gibi destek maddelerinden oluşan bir besi ortamında çoğaltılması esasına dayanır. Ancak bu büyüme sırasında ticari değeri de olan kimyasal ürün ya da ürünler daha sonra mikroorganizmanın bünyesinden ya da mikroorganizmanın içinde geliştiği besi ortamından muhtelif fiziksel ya da kimyasal yöntemlerle ayrılır [4]. Yine bu sırada çoğalan mikroorganizmaların büyüme hızı ya da eğer enzimatik bir biyokimyasal reaksiyon varsa

reaksiyonun oluşma hızı, büyüme kinetiği veya enzim kinetiği mekanizması kullanılarak modellenir [4, 5]. Bu çalışmada da bir fermentörde mikroorganizma olarak alınan tek bir bakteri türünün çoğalması, büyüme kinetiği çerçevesinde incelenmiş olup, zamana karşı sayıları artan bakterilerin üç yönlü hareket eden bir canlı türü olarak fermentör içerisindeki dinamik davranışı modellenmiş ve bu bakteri kolonisinin hareketi daha sonra da video filmine dönüştürülmüştür.

2. YÖNTEM

2.1. Mikroorganizmaların Büyüme Kinetiği

Şekil 1'de verildiği gibi ana hatlarıyla çizilen bir fermentördeki mikroorganizmaların büyüme davranışını gösteren değişik modeller mevcuttur.



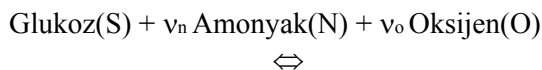
(a)

Şekil 1 Kesikli olarak çalışan (batch) bir fermentörün şematik görünümü (a)

Bunların en basit olanı, K_s kinetik model sabiti olmak üzere tank içindeki substrat konsantrasyonuna (S) bağlı olarak, Monod denklemiyle aşağıdaki gibi verilmiştir [4, 6].

$$\sigma = \sigma_{\max} \frac{S}{K_s + S} \quad [h^{-1}] \quad (1)$$

Burada σ_{\max} ulaşılabilecek en yüksek büyüme hızını göstermek üzere σ spesifik substrat tüketim hızıdır. Bu büyümeye ilişkin olarak ($v_s=1$) alınarak yazılan makroskopik reaksiyon denklemi ise

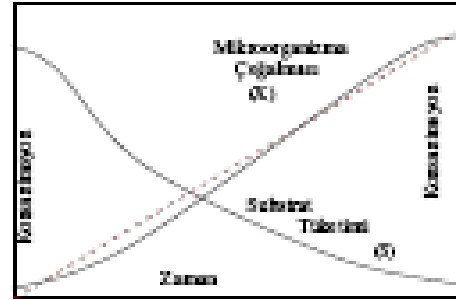


$$v_x \text{Biyokütle(X)} + v_w \text{Su(W)} + v_c \text{CO}_2 \quad (2)$$

şeklinde dir. Bazen, burada biyokütle fermentasyon ortamı yerine ürünü de bünyesinde barındırır. Hangi durum da olursa olsun reaksiyonun hız denklemi ise aşağıdaki gibi yazılır.

$$R = \frac{dS}{dt} = dX \quad [ton * ton^{-1} * h^{-1}] \quad (3)$$

Birinci mertebeden yazılan bu reaksiyon hız denkleminin $X=X_0$ başlangıç koşulu için çözümü Şekil 1'de görülen zaman karşı fermentördeki konsantrasyon değerlerini verir. Böyle bir diferansiyel denklemin bir başlangıç değer problemi olarak sayısal çözümü Euler yöntemi ile hiç de zor değildir. Bu çözümlemenin genel ifadesi



(b)

Şekil 1 Kesikli olarak çalışan (batch) bir fermentör ortamında zamana karşı biyokütle (X) ve substrat (S) değerlerinin (konsantrasyonlarının) değişimi (b)

$$X_i = X_{i-1} + f(X_{i-1}, t_{i-1}) * \Delta t \quad \text{ve} \quad t_i = t_{i-1} + \Delta \tau \quad (4)$$

Şeklinde olup çözüm fonksiyonu en basit haliyle m_x ve n_s denklem sabitlerini göstermek üzere birinci mertebeden bir polinom olarak aşağıdaki gibi kabul edilebilir.

$$X = f(t) = m_x t + n_x \quad (5)$$

Bu çalışmada da büyüyen kütle miktarının fermentör içerisindeki dinamik davranışının modellenmesinde çözüm algoritmasının basitleştirilmesi açısından çözüm fonksiyonunun doğrusal bir polinom şeklinde olduğu kabul edilmiştir.

2.2. Mikroorganizmaların Üç Boyutlu Hareketlerinde Davranış Modeli

Mikroorganizmalar eğer iyi bir fermentasyon ortamı içinde gerekli olan mekanik karıştırma ve/veya reaktöre beslenen hava hızı ile yeterli karıştırma koşullarına sahipse birer canlı varlık olarak sürekli üç boyutlu hareket ederler. Bu hareketin modellenmesinde gaz yada sıvı akışkanların Brownian hareketi olarak da bilinen devinim modeli seçilmiştir. Bu model basitçe bir kalabalığın içerisinde vurularak oynanan futbol topunun hareketini esas almaktadır [7, 8, 9]. Brownian hareketi tek yönlü olarak alındığında Gaussian dağılımına uymaktadır.

$$W(x)dx = \frac{1}{[2\pi\langle(\Delta x)^2\rangle/\Delta t]^{1/2}} e^{-x^2\Delta t/2\langle(\Delta x)^2\rangle} \quad (6)$$

Burada $\langle(\Delta x)^2\rangle$, Δt zaman aralığında adım büyüklüğünün karesinin ortalama büyüklüğü olup y ve z yönlerindeki de benzer olarak x yönündeki hareketlerin konumları n tanecik sayısını göstermek üzere aşağıdaki gibi bulunur.

$$x = rand(n,1) - rs \quad ve \\ x = x + s * rand(n,1) \quad (7)$$

2.3 Çözüm Algoritması

Çözüm için aşağıdaki adımlar üzerinden yürüyen çok basit bir algoritma seçilmiştir.

- Tanecik sayısı (Zamana bağlı olarak mikroorganizma konsantrasyonu) ve dağılım parametrelerinin saptanması
- İkili grafik sisteminde grafiklerden birinde zamana bağlı olarak mikroorganizma konsantrasyonun çizilmesi
- Olasılık dağılımı için rastgele sayı üretimi
- Tanecik koordinatlarının belirlenmesi
- Koordinatları belirlenen ikili grafik sistemindeki ikinci grafikte üç boyutlu olarak hareketli mikroorganizmaların gösterimi

Çözüm algoritması için MATLAB yazılımı kullanılmıştır [9]. Sonuçlar zamana bağlı olarak dinamik olmasına rağmen Şekil 2'de taneciklerin yalnızca anlık durumları

gösterilebildiğinden çizimler hareketsiz birer resim olarak kalmaktadır.

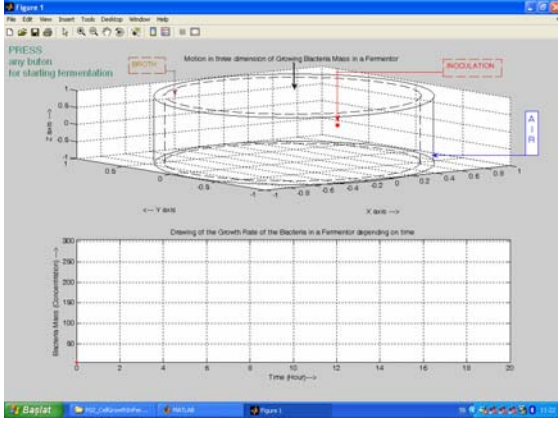
Şekil 2'deki son resim en yüksek değerine ulaşan mikroorganizma miktarını göstermektedir. Bundan sonra doğal olarak mikroorganizmanın çoğalması duracak ve ardından başlayan ölümlerle mikroorganizma sayısı azalmaya başlayacaktır. Bu nedenle mikroorganizma sayısının düşmeye başlamasından sonra fermentasyonu sürdürmenin bir anlamı olmayacaktır. Dolayısıyla belirli bir noktadan sonra fermentasyonu işlemi durdurulup bitirilmelidir.

3 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

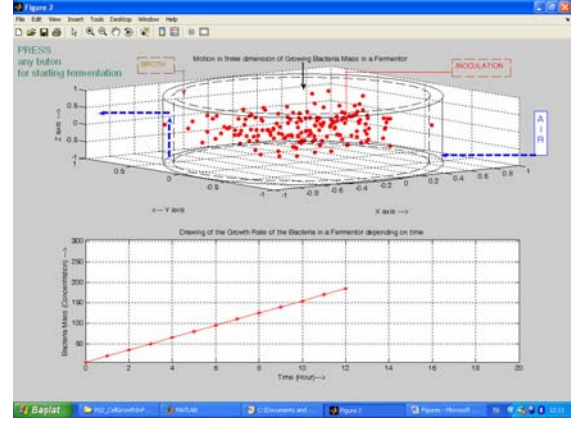
Bu çalışmada bir fermentörde tek bir bakteriden alınarak çoğalan bakteri kolonisinin davranışı incelenmiş olup fermentör içerisindeki üç boyutlu mikroorganizma hareketleri akışkan taneciklerinin Brownian hareketine benzetilerek modellenmiştir. Ancak bu sırada modelleme işlemi basitleştirmek için çoğalmanın birinci mertebeden bir polinomla ifadesi tercih edilmiştir. Son olarak da biyolojik çoğalma ile birlikte mikroorganizmaların fermentör içerisindeki rastgele davranışlarının ilişkin yazılan matematiksel modelin çözüm algoritması MATLAB ortamında sonuçlandırılmıştır.

4. KAYNAKLAR

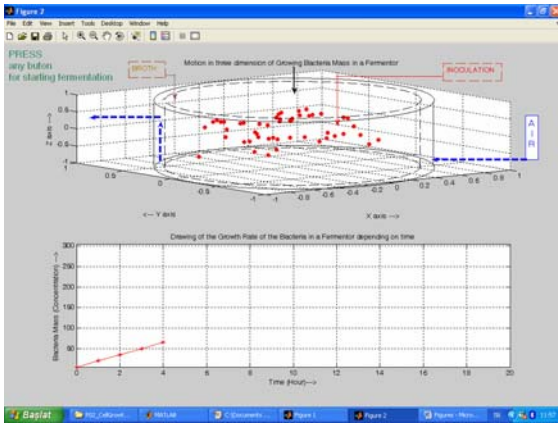
- [1] Simutis, R., Oliveira, R., Manikowski, S., Azevedo, F., Lübbert, A., How to Increase the Performance of Models for Process Optimization and Control, 59, 1997, 73-89.
- [2] Telefoncu, A., Biyoteknoloji, Ege Üniv. Fen Fak. Yay. No: 152, 1995.
- [3] Csögör, Z., Herrenbauer, M., Perner, I., Schmidt, K., Posten, C., Design of Photo-Bioreactor for Modelling Purposes, 38, 1999, 517-523.
- [4] Bailey, J. E., Ollis, D. F., Biochemical Engineering Fundamentals, McGRAWHILL, 1986.
- [5] Kieran, P., Beroviç, M., (Edit.), Bioprocess Engineering Course Notes, 2001, The European Federation of Biotechnology.
- [6] Lübbert, A., Simutis, R., Volk, N., Galvanuskas, V., (2000), Biochemical Process Optimization and Control. Handson Course, , 2000, Martin Luther Universität-Germany.



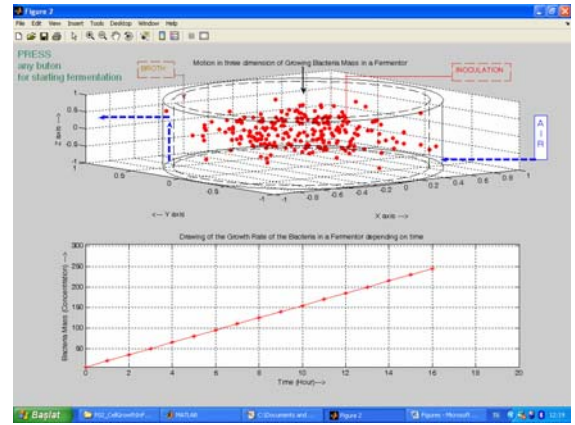
(a)



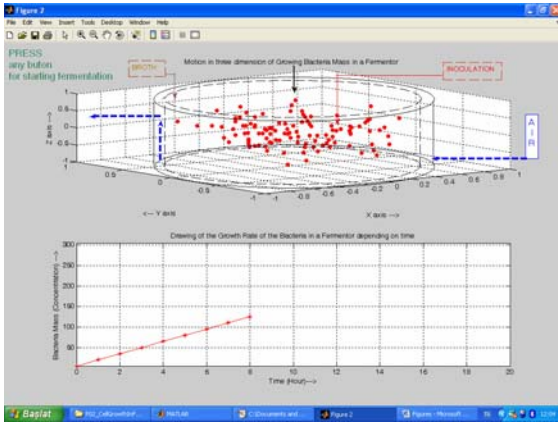
(d)



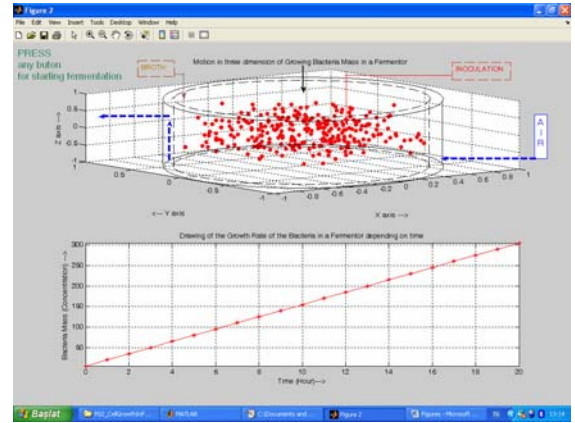
(b)



(e)



(c)



(f)

Şekil 3 İkili grafik sisteminde birinde zamana bağlı olarak mikroorganizma konsantrasyonunun çizildiği, diğesinde ise mikroorganizmaların fermentör içerisindeki üç boyutlu olarak hareketlerinin gösterildiği anlık durumlar (a), (b), (c).

Şekil 3 İkili grafik sisteminde birinde zamana bağlı olarak mikroorganizma konsantrasyonunun çizildiği, diğesinde ise mikroorganizmaların fermentör içerisindeki üç boyutlu olarak hareketlerinin gösterildiği anlık durumlar (d), (e), (f).

[7] Alberty, R., Physical Chemistry, JOHN WILEY & SONS, 1987.

[8] Matlab, Manuel, 2000, Using MATLAB, Ver. 6.0.

[9] Arifoğlu, U., MATLAB 7.04 SIMULINK ve MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI, 2005, Alfa Ltd..