

EKMEK MAYASI FERMENTASYONUNDA UYARLAMALI SICAKLIK KONTROLU UYGULAMASI

Mehmet KÖNİ¹ Hasan DİNÇER² Şems YONSEL³ Levent DAĞAŞAN⁴ Atilla BİR⁵

^{1,3,4} Pakmaya, Pak Bioteknoloji Merkezi, P.K.149, Köseköy, 41001 Kocaeli

² Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi Veziroğlu Kampüsü
Kocaeli Üniversitesi, 41040, Kocaeli

⁵ Kontrol Mühendisliği Bölümü
Elektrik – Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi, 80626, İstanbul

¹ e-posta: mehmetk@pakmaya.com.tr ² e-posta: hdincer@kou.edu.tr ³ e-posta: semsy@pakmaya.com.tr

⁴ e-posta: leventd@pakmaya.com.tr ⁵ e-posta: abir@elk.itu.edu.tr

Anahtar Sözcükler: Ekmek mayası, Saccharomyces cerevisiae, Fermentasyon, Sistem Tanıma, Isı Transferi, Matematiksel Model, Ölü Zaman

ÖZET

Ekmek mayası fermentasyonu çok giriş-çok çıkışlı doğrusal olmayan karmaşık bir süreçtir. Ekmek mayası fermentasyon sürecinin modellenmesi ve bu süreçteki kontrol zorluklarının üstesinden gelinmesi mayanın kalitesini iyileştirecektir.

Sürekli çalışma esnasında sürecin tanımlanması ve tanımlama sonucunda doğru kontrol edici ayarlarını kendi kendine yapacak bir sistem kurulması düşünülmektedir.

Ekmek mayası fermentasyon sürecinin kalorimetrik ölçümler için sıcaklık kontrolunun yapılması ve giriş parametreleri ile fermentasyon sıcaklığı arasında bir model oluşturulması amacı ile kara kutu modellenmesi yapılmıştır.

Doğru bir model oluşturmak için giriş ile çıkış değişkenleri arasındaki matematiksel bağıntı kadar bu giriş - çıkış değişkenleri arasındaki ölü zaman değerlerinin de belirlenmesi gerekir.

Bu çalışmada, reaktör sıcaklığına etki eden ana giriş değişkenleri ve giriş - çıkış değişkenleri arasındaki ölü zaman değerleri belirlenmiştir.

1. GİRİŞ

Ekmek mayası fermentasyon sürecinde, ekmek mayası büyüme, çoğalma ve yaşamını idame ettirmek için gerekli olan enerjiyi melasta bulunan sücrozu yakarak sağlar. Biyokimyasal reaksiyonların ekzotermik olması nedeni ile açığa çıkan ısı enerjisi mayanın büyüme ortamının, yada diğer bir etken olan reaktör sıcaklığının yükselmesine neden olur. Sistem sıcaklığının yükselmesini sağlayan bu biyokimyasal reaksiyon dışında süreçte başka ısı kaynakları da

mevcuttur. Mayanın büyüme ortamına, hava beslenmektedir. Beslenen bu hava, mayanın biyokimyasal reaksiyonu için gerekli olan oksijen ihtiyacını karşılamak için kullanılır [1]. Reaktörler karıştırıcı ve ceketten soğutulmuşlardır. Ceketeki soğutma suyu helezon şeklindeki borular içerisinde dolaşmaktadır. Ceketin su hacmi 50 litredir.

Bir kontrol sisteminin kurulmasındaki amaç kalitenin ve ekonomikliğin sağlanmasıdır. Model tabanlı bir kontrol çalışması mühendislik bilgisi, mühendislik zamanı ve yüksek maliyet gerektirmektedir. Ekmek mayası fermentasyonunda sıcaklığı model tabanlı olarak kontrol etmek gerektiği zaman tüm ısı kaynaklarının tek tek belirlenmesi ve bunlara ilişkin matematiksel modellerin çıkartılması gerekir [2].

Sistemde fark edilebilen veya fark edilemeyen fiziki değişiklikler olabileceği gibi süreçte yapılan değişiklikler sonucunda büyük zaman harcanarak oluşturulan bu yüksek maliyetli modellerin geçerliliği kalmayabilir. Bu değişiklikler sonucunda bu modellerin tekrar elden geçirilmesi gerekir. Tabii ki bu işlem de bir maliyet ve zaman kaybına neden olur.

Bu maliyet ve zaman kayıplarından kurtulmak için kontrol veya simülasyon amacıyla kullanılacak ekmek mayası fermentasyonun temel ısı modellerinin bu çalışmada kendi kendine oluşması amaçlanmıştır.

Bir dizi aşamadan oluşan bu projenin ilk adımı olan bu çalışmada sistem sıcaklığına etki eden ana giriş parametreleri belirlenmiş ve bu giriş parametreleri ile çıkış değişkeni arasındaki ölü zaman elde edilmiştir.

2. SİSTEMİN ÖZELLİKLERİ

Deneyler 1500 L hacimli karıştırıcı reaktörde yapılmıştır. Bu reaktörün boyutları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Reaktörün Boyutları

Reaktör iç çapı, D	0.955 m
Toplam yükseklik, H	2.1 m
Toplam hacim, V	1500 L
Çalışma hacmi, V_L	yaklaşık 1000 L
Karıştırıcılar	4 adet 6-kanatlı rushton türbini
Karıştırıcı çapı, D_R	0.38 m
Reaktör duvar kalınlığı, s	5 mm
Isı değiştiricinin yüzey alanı, A_{wT}	4.39 m ²
Reaktörün izole edilmemiş yüzey alanı, A	4.15 m ²
Konveksiyon yolu, l	2.05 m

Reaktörler, PC ortamında kurulmuş olan SCADA sistemi ile kontrol edilmektedirler. Her türlü veri toplama, kontrol, grafik gibi işlemler SCADA programı tarafından yapılmaktadır. Hesaplamalar için gerekli olan veriler algılayıcılar yardımı ile anlık olarak sahadan toplanarak SCADA içinde yazılmış bir programda derlenmiştir. Reaktörler kesikli beslemeye uygun donanımlıdır. Ölçülen parametrelerle ilgili bilgiler çizelge 2'de verilmiştir.

3. SİSTEMİN ÇALIŞMASI VE KONTROLÜ

Endüstriyel süreçleri tüm yönleriyle değerlendirmek ve geliştirmek için süreçlerini etraflı bir şekilde tanımlamaları gerekir. Bu tanımlama işlemini gerçekleştirmek için sürecin bir modelini oluşturmak gerekir.

Çizelge 2. Aygıtlar ve Kontrol Cihazları

Ölçülen Parametre	Duyar Eleman	Kontrol Sistemi	Kontrolör
Fermentasyon sıcaklığı, T_f	PT-100	Isı değiştiriciden geçen soğutma suyu	PID Kontrol, Kontrol vanası
Sıvı hacmi, V_L	SMAR Fark basınç sensörü	Sıvı yüksekliğinden kaynaklanan basınç farkı	
Soğutma suyu debisi, F_s	KROHNE debimetre	Soğutma suyu hattından	PID Kontrol, Kontrol vanası
Soğutma suyu giriş sıcaklığı, T_{sin}	PT-100	Isı değiştirici girişinden	
Soğutma suyu çıkış sıcaklığı, T_{sout}	PT-100	Isı değiştirici çıkışından	

Bir model, gerçek sürecin tüm yönlerini ifade eden basit bir betimlemesine karşı düşer. İlk aşamada model gerçek süreç ile karşılaştırılır ve farklılıklar ihmal edilebilir mertebede ise model yeterli bulunur. İkinci aşamada ise modelin göstergeleri ile beklentiler karşılaştırılır. Böylece gerçek sistemin olası davranışları konusunda bilgi sahibi olunur. Sistem kuramında bu işlemin tümü modelleme olarak adlandırılır.

Fiziksel ve matematiksel olmak üzere iki türlü modelleme vardır. Fiziksel modellemede ilgilenilen süreç farklı bir boyutta tekrar oluşturularak fiziksel özelliklerinin etkileri ve doğrusal boyutları incelenir. Matematiksel modellemede matematiksel modellerden yararlanılır sistem nitel ve nicel olarak betimlenir. Diğer bir deyişle gerçek süreç matematiksel simgelerle ifade edilir.

Ekmek mayası fermentasyon sürecinde kalorimetrik ölçümler için sıcaklık kontrolünün yapılması ve giriş parametreleri ile fermentasyon sıcaklığı arasında bir model oluşturulması amacı ile kara kutu modellemesi yapılması amaçlanmıştır. Kara kutu prensibi, ekmek mayası fermentasyonu gibi karmaşık sistemlerin modellenmesi için gayet uygun bir modelleme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda sistemin iç ilişkileri ile ilgilenilmez.

Yapılan deneyler ve çalışmalar sonucunda ekmek mayası fermentasyonunun bütün ısı kaynakları ve bu ısı kaynaklarının mertebeleri belirlenmiştir.

Burada ısı kaynağı ile, sisteme ısı aktaran ve sistemden ısı uzaklaştıran yani fermentasyon sıcaklığını artırıcı ve azaltıcı yönde etkileyen bütün faktörler anlaşılır.

İlk aşamada, mertebeleri belirlenmiş ve değerleri diğerlerine nazaran küçük olan faktörler sisteme dahil edilmemişlerdir.

Burada etkileri diğerlerine nazaran küçük olan etkenlerin sisteme dahil edilmemesindeki amaç, etkenlerin birbirleri ile etkileşimleri ve girişimleri nedeniyle yanlış sonuçlar elde edilmemesi ve kurulacak sistem modelinin mümkün olduğunca sade tutulmaya çalışılmasıdır.

Ekmek mayası fermentasyonu uzun süreli ve doğrusal olmayan bir süreçtir. Bu yüzden süreci tanımlamak için basamak testi yerine transfer fonksiyon modellerinden yararlanmanın daha uygun olacağı düşünülmüştür. Çalışan sürecimize hiçbir darbe vermeden anlık olarak sistemden toplanan giriş çıkış verileri işlenerek süreç modeli oluşturulmaya çalışılmıştır.

Süreç modeli oluşturulurken kara kutu modeli kullanılmıştır. Sistemin önemli giriş parametreleri belirlenmiş ve bunlar kara kutu modelimizin girdilerini oluşturmuşlardır. Çıkış değişkeni olarak fermentasyon sıcaklığı T_f [K] alınmıştır.

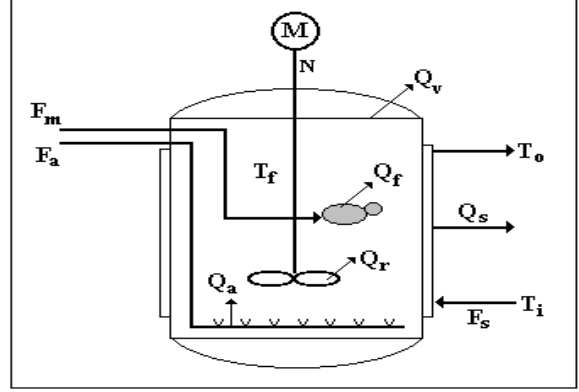
Transfer fonksiyonları iki temel kısımdan oluşur. Bunlar giriş - çıkış işaretleri arasındaki $F(s)$ transfer modeli ve aynı giriş - çıkış işaretleri arasındaki T_d [s] ölü zaman değerleridir. Transfer fonksiyonu denklem (1) ile verilmiştir.

$$M(s) = F(s)e^{-T_d s} \quad (1)$$

Denklem 1'den görüldüğü gibi transfer fonksiyonları iki temel elemandan oluşmaktadır. Eğer süreç sabit bir ölü zaman T_d [s] değerine haiz ise transfer fonksiyonundaki $e^{-T_d s}$ kısmının fazla önemi yoktur. Bu değer ölçülerek belirlenebilir. Fakat bu ölü zaman değeri süreç parametrelerine bağlı olarak farklılık gösteriyorsa bu noktanın çok iyi irdelenmesi gerekmektedir. Ölü zaman değerinin değişkenliği göz ardı edilir ve sabit bir değermiş gibi davranılırsa yapacağımız modellemede hatalı sonuçlar bulmamıza neden olabilir. Değişken olan ölü zaman değeri sabitmiş gibi kabul edildiğinde bu değişkenliğin etkisi transfer fonksiyonunun ilk kısmı olan $F(s)$ yani giriş - çıkış işaretleri arasındaki matematiksel bağıntıyı etkiler. Bu kısım ise transfer fonksiyonunun en önemli bileşenidir.

Süreç, maya büyümesinin biyolojik ve kinetik modeli ile reaktör sisteminin dinamik ve ısı aktarım modelleri dikkate alınarak tanımlanmıştır. Fermentasyon süresince reaktörde ortaya çıkan toplam ısı, maya hücrelerinin şekeri tüketirken ortaya çıkardığı mikrobiyal reaksiyon ısı Q_f [kW/m³], karıştırıcı paletlerinin fermentasyon sıvısı ile sürtünmesinden dolayı ortaya çıkan ısı Q_r [kW/m³], sisteme beslenen havadan dolayı buharlaşma ile sistemden uzaklaşan ısı Q_v [kW/m³], yine besleme havası ile sisteme

aktarılan veya uzaklaştırılan ısı Q_a [kW/m³] ve konveksiyon ve radyasyon ile sistemden uzaklaştırılan veya sisteme aktarılan ısı Q_k [kW/m³] bileşenlerinden oluşmaktadır. Bunun karşılığında sistemden soğutma suyu ile uzaklaştırılan ısı Q_s [kW/m³] şeklinde tanımlanır.



Şekil 1. Isı Üretim Bileşenleri

Bu durumda sistem için enerji denkliği [3,4,5]

$$Q_f + Q_r + Q_a + Q_v + Q_k + Q_s = 0 \quad (2)$$

şeklinde olur. Yukarıdaki eşitlik sağlandığında fermentasyon sıcaklığı istenilen set değerini takip eder. Bu eşitlik bozulursa fermentasyon sıcaklığında değişimler görülür. Ekmek mayası fermentasyon sürecinde giriş değişkeni ile çıkış değişkeni olarak seçilmiş fermentasyon sıcaklığı T_f [K] arasındaki ilişki,

$$T_f = T_{fo} + f(\dots, F_m, F_{su}, T_{sin}) \quad (3)$$

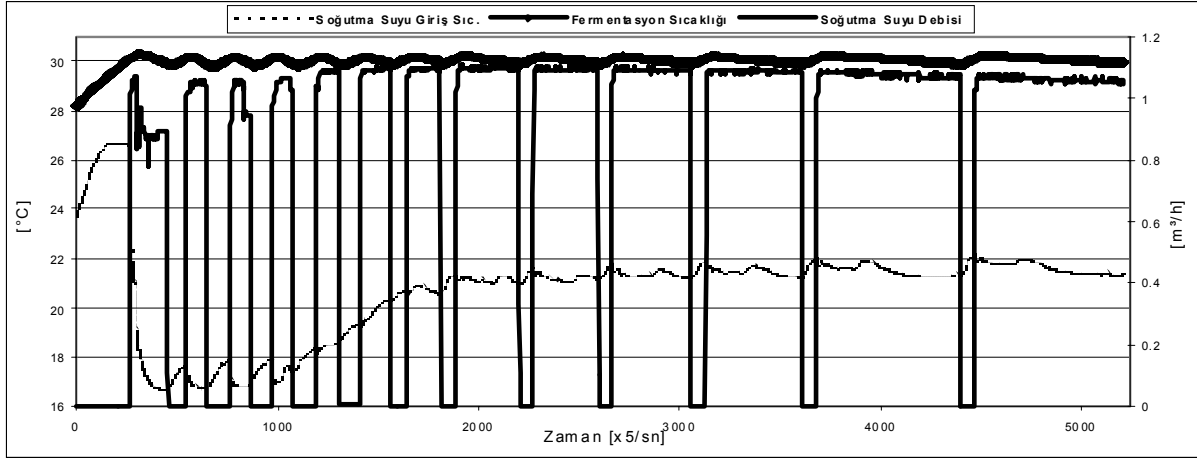
şeklinde yazılabilir. Burada T_{fo} [K]; fermentasyon başlangıç sıcaklığı, F_{su} [m³/h]; soğutma suyu debisi, T_{sin} [K]; soğutma suyu giriş sıcaklığı ve F_m [ml/dk]; melas besleme debisidir.

Ekmek mayası fermentasyonu sürecinde soğutma işinin önemli bir parçası olan soğutma suyunun iki önemli parametresi, F_{su} ; soğutma suyu debisi ve T_{sin} ; soğutma suyu giriş sıcaklığıdır.

Ekmek mayası fermentasyon sürecinde sistemin ölü zamanını belirlemek için ilk önce ekmek mayası ve melas beslemesi yok iken yani $F_m = \text{sabit} = 0$ ve $F_{su} = \text{sabit}$ iken sistemin ölü zamanı belirlenmiştir. Bu koşullarda fermentasyon sıcaklığı,

$$T_f = T_{fo} + f(\dots, F_m, F_{su}, T_{sin}) \Big|_{F_m=0, F_{su}=\text{sabit}} \quad (4)$$

şeklinde dir.



Şekil 2. Soğutma Suyu Sıcaklığının Soğutma Kapasitesini Etkisi

Ölçümlerde ekmek mayası ve melas beslemesi yok iken reaksiyon sıcaklığını arttırmak için reaktöre buhar gönderilmektedir. Bu buharla reaktör sıcaklığı ekmek mayası fermantasyonundaki gibi arttırılmaktadır.

Reaktör sıcaklığı ölçümlerinde $F_m=0$, $F_{su}=1,08$ m³/saat koşullarında ve reaktör içerisinde 800 litre su bulunmaktadır. Fermantasyon sıcaklığının zamana göre değişimi şekil 2’de verilmiştir. Buradan reaktör sisteminin ölü zamanın yaklaşık 2,5 dakika olarak belirlenmiştir. Bu değer hesaplama sonucu ile uyşmaktadır.

Sistemin matematiksel modeli çıkartılırken bu iki parametreden kaynaklanan ölü zamanın belirlenmesi çalışmanın sonraki aşamaları için önem taşır. Süreçteki fazla ıyı uzaklaştırmakta kullandığımız soğutma suyunun iki önemli parametresi, soğutma suyu debisi ve soğutma suyu giriş sıcaklığının ölü zamanlarının ayrı ayrı veya tek bir ölü zaman değeri olarak belirlenmelidir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada ekmek mayası fermantasyon sürecinin önemli giriş büyüklükleri belirlenmiştir. İki cisim veya yüzey arasındaki ısı transfer hızı bunlar arasındaki sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla bu iki cisim veya yüzey arasındaki sıcaklık farkı ne kadar fazla ise ısı transfer hızı artmakta ve ölü zaman değeri daha düşük olmaktadır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar bunu destekler niteliktedir.

Şekil 2’de görüldüğü gibi soğutma suyu giriş sıcaklığı arttıkça soğutma suyunun ısı uzaklaştırma kapasitesi azalmakta ve bununla ters orantılı olarak da ölü zaman değeri artmaktadır. Şekil 2’den reaktör sisteminin ölü zamanın yaklaşık 2,5 dakika olduğu belirlenmektedir. Bu değer hesaplama sonucu ile uyşmaktadır.

Bu ölçümlerde, soğutma suyu giriş sıcaklığından kaynaklanan ölü zamanı belirlenmiştir. Soğutma suyu debisi ve soğutma suyu giriş sıcaklığı gibi iki giriş varken oluşan ölü zaman bir çok ölçümlerin değerlendirilmesi sonucunda belirlenecektir.

Ekmek mayası fermantasyon sürecinin modellenmesinin ilk aşamasında reaktörün modellenmesi düşünülmüştür. Ekmek mayası fermantasyonu bir çok girişe bağlı olduğu için reaktörün ölü zamanının her bir giriş için elde edilen ölü zamanlarının birlikte değerlendirilmesi sonucunda belirlenecektir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Ş. Yonsel, Y. Hapçioğlu, G. Bülbül, L. Dağışan, Modelling of Baker’s Yeast Growth, The Sixth International Congress on Food Industry, “New Aspects on Food Processing”, 27 April- 2 May, 1997, Kuşadası
- [2] Y. Hapçioğlu, Ş. Yonsel, L. Dağışan, C. Posten, H. Dinçer, “Model Predictive Control of Baker’s Yeast Fermentation”, 2nd International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, (pp.717-724), August 6-7, 1998, Sakarya
- [3] M.Köni, Ocak, 2000 Ekmek Mayası Fermantasyonunda Model Tabanlı Kontrol, Y. Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- [4] M. Köni, Ş. Yonsel, G. Bülbül-Çalışkan, L. Dağışan, Ekmek mayası fermantasyonunda model destekli sıcaklık kontrolü uygulaması, UKMK-5, Bildiri Özetleri Kitabı, Ankara 2-5 Eylül 2002
- [5] Ş. Yonsel, G.B.-Çalışkan, M. Köni, L. Dağışan, Ekmek mayası fermantasyonunda kalorimetri ve simulasyon, UKMK-5, Bildiri Özetleri Kitabı, Ankara 2-5 Eylül 2002