



Peynir altı suyundan kesikli kefir tipi içecek üretiminin ayarlanabilen baz akış hızı ile deneysel pH gelişmiş kontrolü

Semin Altuntaş^{1*}, Hale Hapoğlu², Suna Ertunç², Mustafa Alpbaz²

¹Samsun Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü, 55070, Samsun Türkiye

²Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Döğol Caddesi, 06100, Tandoğan, Ankara, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Biyoreaktörde kefir mayası ile fermantasyonu
- Deneysel on-line pH kontrol
- Genelleştirilmiş öngörmeli kontrol

Makale Bilgileri

Geliş: 03.09.2015

Kabul: 13.03.2016

DOI:

10.17341/gummd.73648

Anahtar Kelimeler:

Peynir altı suyu,
genelleştirilmiş öngörmeli
kontrol,
kefir tipi içecek üretimi,
kefir mayası

ÖZET

Bir kesikli biyoreaktörde kefir mayası ile peynir altı suyu, glukoz, üzüm suyu ve süt karışımı fermantasyonunun pH kontrolü araştırılmıştır. Burada bir ürün olarak elde edilen kefir tipi içecek literatürde yer alan diğer çalışmalardan farklıdır. Biyoreaktördeki karışımın pH değeri koagülasyondan kaçınmak için belli bir değerin altına düşürülmemelidir. pH değerindeki azalma kontrol uygulamasını gerekli hale getirmektedir. Kontrol amacı için biyoproses CARIMA (Controlled AutoReggressive Integrated Moving Average) model kullanılarak benzetimi yapılmıştır. pH değeri ve sodyum bikarbonat akış hızı sırası ile çıkış değişkeni ve ayarlanabilen değişkenler olarak seçilmiştir. Model parametre hesaplama U-D çarpan ayrışma ve yalancı gelişigüzel ikili sinyal (PRBS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu PRBS sinyal 0,5 M sodyum bikarbonat giriş akış hızına verilmiş ve sistem dinamik cevap verileri on-line pH kaydından elde edilmiştir. Deneysel pH kontrol Genelleştirilmiş öngörmeli kontrol (GPC) kullanılarak bir ilk gerçekleştirilmiştir. En iyi kontrol ayar parametre değerleri etkinlik kriterlerine göre seçilmiştir. Deney sonuçlarının genel değerlendirmesine göre, en iyi kontrolün sisteme asit girişi yapılmaksızın ağırlık faktörü, $\lambda=1$ ile gerçekleştirildiği görülmüştür. Üretilen kefir-tipi içecekten elde edilen analitik ve mikrobiyolojik veriler Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği kapsamında değerlendirilmiştir. Buna göre protein içeriği 100 ml'de $3,11\pm 0,10$, Laktobasillus cinsi bakteri sayımı $9,44\pm 0,38$, Laktococcus cinsi bakteri sayımı $9,03\pm 0,51$ ve maya sayımı $9,99\pm 0,70$ olarak sayılmıştır.

Experimental pH advance control of the cheese whey batch kefir-type drink production with manipulated base flowrate

H I G H L I G H T S

- Fermentation with kefir yeast in a bioreactor
- Experimental on-line pH control
- Generalized Predictive Control

Article Info

Received: 03.09.2015

Accepted: 13.03.2016

DOI

10.17341/gummd.73648

Keywords:

Whey,
generalized predictive
control,
kefir-type drink production,
kefir yeast

ABSTRACT

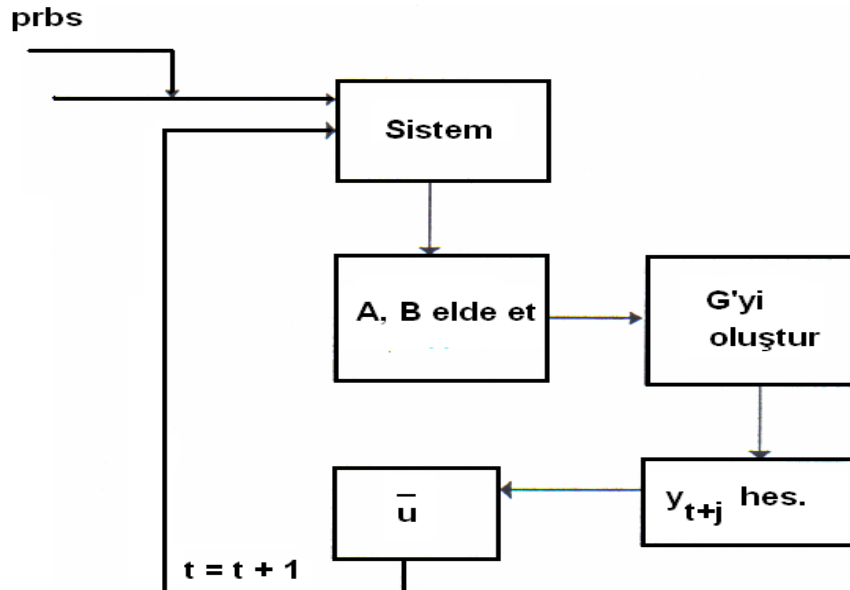
The pH control of cheese whey, glucose, grape juice and milk mixture fermentation with kefir yeast was investigated in a batch bioreactor where the kefir-type drink as a product different from the ones in the literature was obtained. The pH value of mixture in a bioreactor must not decrease under a certain value to avoid coagulation. The decrease in pH necessitates control application. The bioprocess was simulated with a Controlled AutoReggressive Integrated Moving Average (CARIMA) model for control purposes. The pH and sodium bicarbonate flow rate are selected as output and manipulated variable, respectively. Model parameter evaluation is achieved by using the U-D factorisation and a pseudo-random binary sequence (PRBS). The PRBS signal was given to 0.5 M sodium bicarbonate (NaHCO_3) incoming flow rate, the system dynamic response data was obtained from the on-line pH monitor. The experimental pH control was achieved for the first time by using GPC (Generalized Predictive Control) system. The best control tuning parameter values were chosen according to performance criteria. According to the assessment of the experimental results, it was seen that the best control of the system without acid input was done with weighting factor, $\lambda=1$. The analytical and microbiological data obtained from the kefir-type drink produced were evaluated according to Turkish Food Codex on Fermented Milk Products. Accordingly, it was counted the protein content of 100 ml as 3.11 ± 0.10 , the numbers of Laktobasillus as 9.44 ± 0.38 , the numbers of Laktococcus as 9.03 ± 0.51 and the number of yeast as 9.99 ± 0.70 .

* Sorumlu Yazar/Corresponding author: semin.altuntas@csb.gov.tr / 0312 203 3514

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sütten elde edilen peynirin ayrılmasından sonra geriye kalan en önemli artıklardan biri Peynir Altı Suyudur (PAS). PAS, gerçekte çevre kirletici bir madde olmamasına karşın alıcı ortama salınması durumunda yüksek protein ve laktoz içeriğinden kaynaklı olarak “organik kirliliğe” sahiptir, dolayısıyla sakınca yaratmaktadır. Bu tip kirlilikler, alıcı ortam su kalitesi üzerinde çok fazla etkiye sahiptir [1-4]. PAS ve biyoteknolojik kullanımı üzerine yayımlanmış birçok teorik ve deneysel çalışma bulunmaktadır [5-8]. Peynir altı suyundan alkollü içecek üretiminde kullanılan kefirin gerçek endüstriyel koşullarda ve pilot ölçekte kirlenmeye dayanım gösterdiği bilinmektedir [9]. Kourkoutas vd. [10] çalışmasında, kefir mayası kullanılarak PAS’ın sürekli fermantasyonu ile düşük alkol içerikli içki üretimi gerçekleştirilmiştir. Paraskevopoulou vd. [11] çalışmasında fruktoz (siyah üzüm ekstraktı), süt ve PAS’tan oluşan karışımı kefir granülleri ile fermente etmek suretiyle, kefir tipi içecek hazırlamıştır. Malbaşa vd. [12], çalışmasında çeşitli başlatıcıların uygulandığı süt bazlı içki üretimlerini araştırmışlardır. Bu başlatıcılar %10 ve %15 (v/v) oranlarında süte (%2,2 yağ) uygulanmıştır. Tüm fermantasyonlar içeceklerin depolanması esnasında değişmeden kaldığı pH 4,4’e ulaştığında sonlandırılmıştır. Elde edilen fermantasyon eğrilerine göre ürünlerin performansı değerlendirilmiştir. Mikrobiyal büyümeyi pH değerinin doğrudan etkilediği literatürde yaygın olarak yer almaktadır [13-14]. Bu nedenle ortam pH değerinin kontrolüne ihtiyaç olmakla birlikte bu değerlerden sapmanın ürün kalitesini önemli derecede etkilediği bilinmektedir [15]. Genelleştirilmiş öngörmeli kontrol (GPC), Model Öngörmeli Kontrol stratejileri içinde birçok prosetteki kontrol güçlükleri karşısında etkili olması bakımından popüler bir yöntemdir. Golshan vd. [16] model öngörmeli

kontrol stratejileri için kesikli çalıştırılan sistemlerde farklı dinamik modeller tanımlamışlardır. Cao vd. [17] kesikli proseslerde model öngörmeli kontrol ve adaptif kontrol gibi birçok ileri kontrol algoritmasında kullanılabilen sistem tanımlama yöntemi önermişlerdir. Clarke vd. [18] kontrol ile ilgili problemleri aşmak üzere GPC’yi geliştirmişlerdir. Li-Juan vd. [19] etkili doğrusal olmayan sistemleri kontrol eden bir GPC algoritması önermişlerdir. Bir pH nötralizasyon prosesinde gerçekleştirdikleri GPC deneyleri önerilen algoritmanın etkin ve pratik olduğunu göstermiştir. Sato [20] GPC tabanlı PID kontrol ediciyi bir tartılı besleyiciye uygulamıştır. Deneysel sonuçları, gelişmiş GPC tabanlı PID kontrol edicinin iyi kontrol sağladığını göstermiştir. Neshasteriz vd. [21] modifiye edilmiş bir GPC stratejisi önermişler ve önerilen bu stratejinin geleneksel GPC yöntemlerine göre daha az hesaplamaya dayandığını, sektördeki uygulayıcılarına tavsiye edildiğini bildirmişlerdir. Çetinkaya vd. [22] GPC algoritmasını bir polisitiren reaktörünü sıcaklığını kontrol etmek için kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre, kontrol deneylerinin iyi performans gösterdiğini bildirmişlerdir. Genel olarak değinecek olursak, GPC sistem çıktısını birkaç örnek zamanını göz önüne alarak tahmin eder. Sistem yapısını tanımlayabilmek için, sisteme giren u değişkenine dinamik etki verilerek rahatsız edilir. Böylece farklı u değerleri için farklı y yani çıkış değişkeni elde edilir. Elde edilen u ve y değerleri kesikli ölçüm sinyalleri halinde sistem model parametrelerini bulmak için CARIMA modelle birlikte sistem tanımlayıcıya gönderilir. Burada Bierman algoritması ile model parametreleri hesaplatılır ve tasarım kriteri ile birlikte kontrol sentezine iletilir [23-24]. Burada kontrol katsayıları hesaplandıktan sonra uygulamada seçilen ayar parametresi ile birlikte kontrol ediciye gönderilir. Buradan sisteme giriş değişkeni olarak bir u çıktısı elde edilir [24] (Şekil 1).



Şekil 1. Genelleştirilmiş Tahmin Edici Kontrol algoritması (The Algorithm of Generalized Predictive Control)

GPC kontrol yönteminin amacı, gelecekteki sistem çıktıları olan $y(t+j)$ 'leri set noktaları olan $r(t+j)$ 'lere yaklaştırmaktır. Kontrol etkinliği bunu gerçekleştirmeyi gerektirir. Set noktası sistem çıktısının izlemesi gereken değer (pH=4,9) olarak seçilmiştir. Pozitif sabit bir değişken olan λ (kontrol ağırlık faktörü) kontrolde hatayı azaltmak için bir ağırlık etkisi yapar. GPC kriteri $J(u, t)$ 'yi minimize edecek şekilde seçilir. Bu uygulama Diophantine eşitliğini de içine alır. Sistem modeli olarak CARIMA modeli kullanılır. Seçilen sayıda basamak ileriye yönelik çıktı değişkenlerinin tahmini için Diophantine eşitliğinin çözülmesi gerekir.

CARIMA modeli,

$$Ay(t) = Bu(t-1) + \frac{C}{A}e(t) \quad (1)$$

Diophantine eşitliği ise şu şekildedir (Eşitlik 2).

$$y_{t+j} = \frac{F}{C}y_t + \frac{EB}{C}\Delta u_{t+j-1} \quad (2)$$

Gelecek kontrol artışları olan ayarlanabilen değişken \bar{u} vektörü aşağıdaki gibidir (Eşitlik 3).

$$\bar{u} = [\Delta u_t, \Delta u_{t+1}, \dots, \Delta u_{t+N-1}]^T \quad (3)$$

Tahmin edilen ve kontrol edilen sistem çıktıları vektörü (Eşitlik 4); Bu durum için $N_1 = 1$ alınır.

$$\bar{y} = [\bar{y}_{t+1}, \bar{y}_{t+2}, \dots, \bar{y}_{t+N_2}]^T \quad (4)$$

Gelecek için kontrol değerlerini içeren \bar{u} vektörü aşağıdaki şekilde tanımlanır (Eşitlik 5).

$$\bar{u} = (G^T G + \lambda I)^{-1} (r - f) \quad (5)$$

Buradaki r set noktası vektörü veya referans sinyali tarif edilirse (Eşitlik 6),

$$r = [r_{t+1}, r_{t+2}, \dots, r_{t+N_2}]^T \quad (6)$$

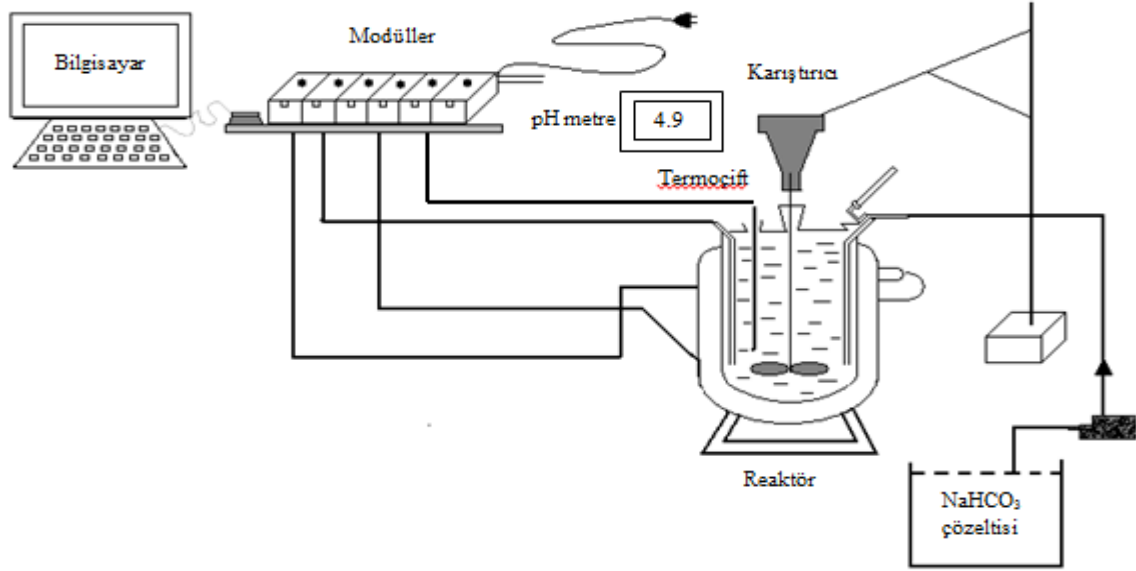
Eşitlik (5) gelecek için kontrol değerlerini t zamanı için verir. GPC'nin uygulanması ile elde edilen \bar{u} vektörünün kontrol amacı ile ilk elemanı, $\Delta \bar{u}$ kullanılır. Optimum kontrolün bu çözümünden sonra $t+1$ zamanı için elde edilen veriler kullanılarak gelecek basamak için hesap yeniden tekrarlanır. Bu çalışmada, pH kontrolü gerçekleştirilen bir biyoreaktör ortamında kefir mayası kullanılarak peynir altı suyundan kefir tipi içecek oluşturulmuştur. pH kontrolü ürünün kalitesi açısından üretim sırasında pıhtılaşmaya neden olan pH değerinin altına düşmeyi önlediği için önem taşımaktadır. Deneysel pH kontrolü GPC algoritması ile uygun koşullarda gerçekleştirilmiştir.

2. DENEY SİSTEMİ (EXPERIMENTAL SETUP)

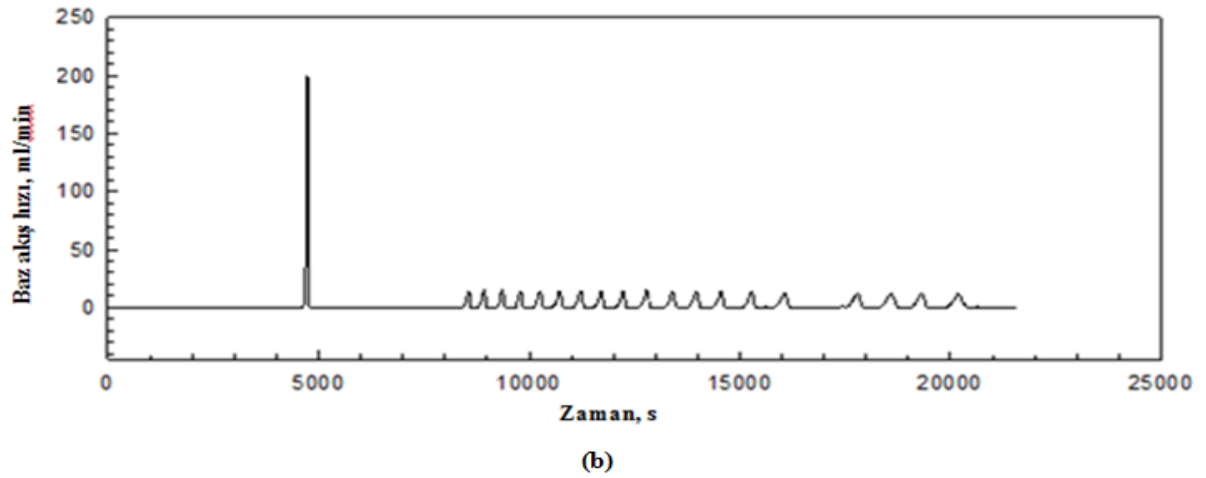
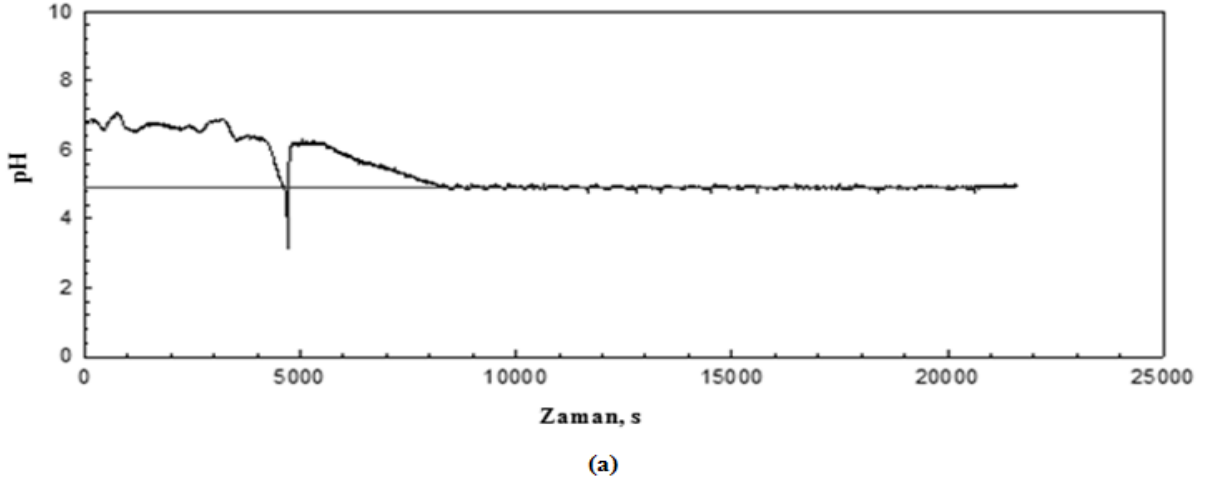
Laboratuvar ölçekli deneyler için kesikli olarak işletilen 1 L hacminde soğutma ceketli bir biyoreaktör kullanılmıştır (Şekil 2). İşletme süresi 20200 s ve kullanılan baz derişimi 0,5 M olarak deneysel çalışmalar sonucunda pH kontrolü için kullanılan baz çözeltisi toplam hacminin biyoproses hacmi üzerine etkisi dikkate alınarak seçilmiş [24] ve bu çalışmada sabit alınmıştır. Biyoreaktörde deney süresinde pH on-line bağlı bir pH metre ile eş zamanlı izlenmiş ve kaydedilmiştir. Sistem model parametreleri ise biyoreaktörden alınan deneysel giriş-çıkış verileri kullanılarak hesaplanmıştır. 0,5 M sodyum bikarbonat (NaHCO_3) akış hızına PRBS sinyali verilmiş, sistemin dinamik cevabı on-line olarak pH monitöründen elde edilmiştir. Deneysel çalışmada, biyoreaktöre öncelikle 500 ml peynir altı suyu, 10 g glikoz, 100 ml üzüm suyu ve 399 ml süttten oluşan pastörize karışım yüklenmiş, hemen ardından aşı olarak kefir mayası eklenmiştir. pH kontrolü gerçekleştirilmiş ve fermantasyon prosesinin başından sonuna kadar pH izlenmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada sunulan GPC stratejisi, kefir mayası kullanılarak peynir altı suyundan elde edilen kefir tipi içecek ürününün pH değerini kontrol etmek için uygulanmıştır. GPC algoritması performansını karşılaştırmak için farklı ağırlık faktörleri (λ) ve farklı asit (sabit veya sıfır) ile baz akış hızı kombinasyonları kullanılmıştır. Biyoproses pH kontrolü sonuçları Şekil 3'de $\lambda=1$ için verilmiştir. Bu çalışmada ayarlanabilen değişken olan 0,5 M sodyum bikarbonat akış hızı biyoprosese asit beslemesi yapılmadığı durum için kullanılmıştır. Biyoproses pH değeri set noktası üzerinde olduğu durumda baz akış hızı sıfır olduğundan baz pompası kapalı konumda kalmıştır. Set noktası altına düşen pH değerlerinde baz pompası açılarak pH değerinin set noktası altına düşmesini önlemiştir. Şekil 3'de verilen çalışmada gözlenen olumsuz yön ayarlanabilen değişken akış hızını GPC algoritmasına göre ayarlarken algoritmanın baz pompasını kapatma (pompa konumu gösterge değeri=0) ve açma (pompa konumu gösterge değeri>0) şeklinde çalıştırmasıdır. Sisteme ilave edilen baz miktarının az olması ise işletim sisteminin olumlu yönü olarak görülebilir. Çalışmanın ikinci aşamasında baz pompasının tüm kontrol edilen kesikli proses süresince kapalı konuma gelmesini önlemek üzere sabit akış hızı ile sisteme 0,05 M sitrik asit çözeltisi sürekli gönderilmiştir. Böylece reaktör yarı kesikli çalıştırılmış ve kontrol ayar değişkeni olarak 0,5 M sodyum bikarbonat çözeltisi akış hızı GPC algoritması ile ayarlanmıştır. Ağırlık faktörü olarak $\lambda=0,5$ ve $\lambda=1,5$ ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Şekil 4 ve Şekil 5'de sırasıyla verilmiştir. Ağırlık faktörünün düşük değerinde iyi bir kontrol sonucu elde edilememiştir. Ağırlık faktörünün $\lambda=1,5$ olduğu durum için baz akış hızı değişimlerinin minimum olduğu ve kontrol etkinliğinin iyi olduğu gösterilmiştir. Kontrol etkinlik kriterleri olarak hata kareleri integrali (ISE) ve hata mutlak değeri integrali (IAE) kullanılmıştır.

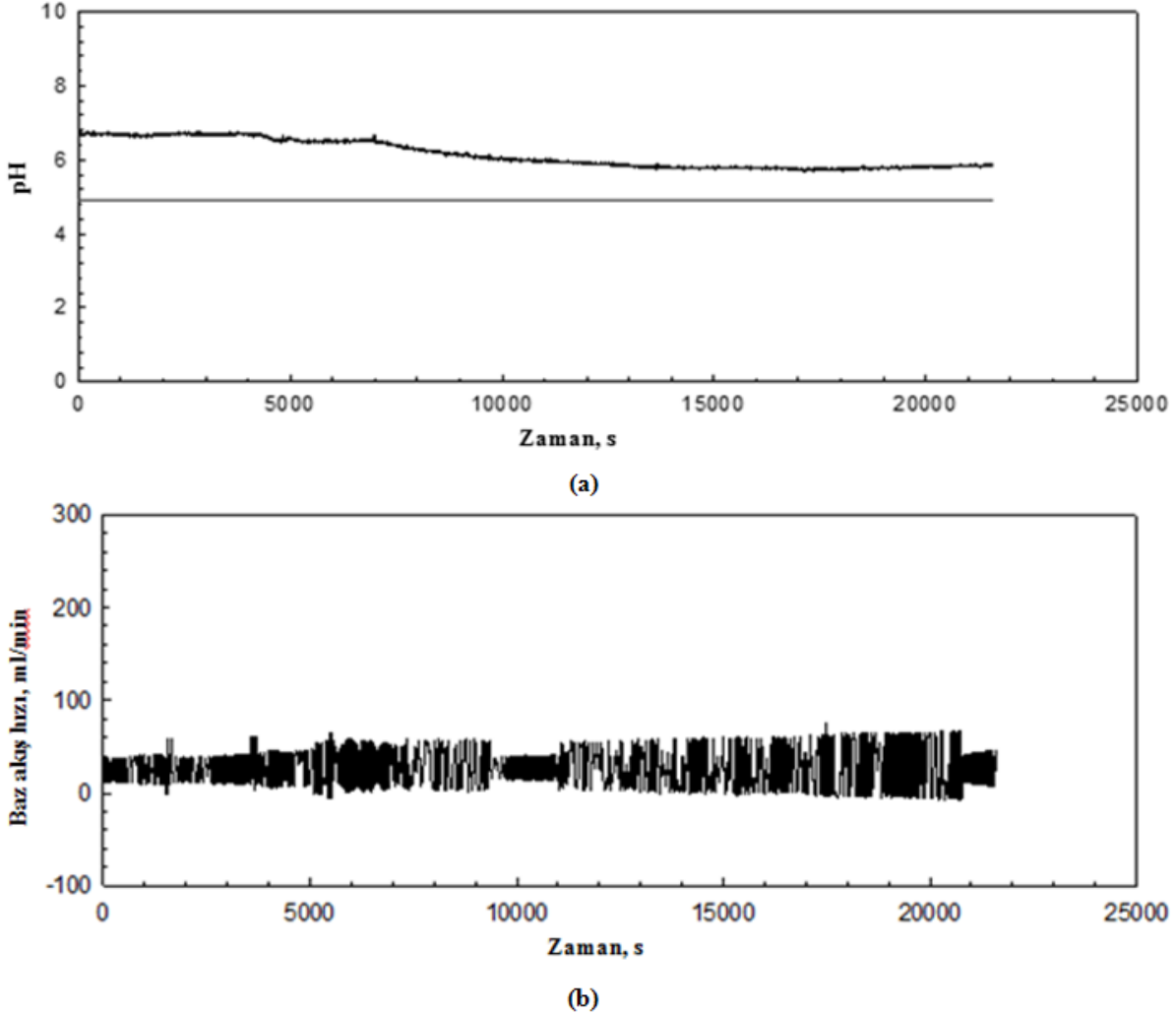


Şekil 2. Deneş düzeneği (Experimental setup)



Şekil 3. GPC algoritması ile pH kontrolü ($\lambda=1$) (giriş asit akış hızı yok) (baz akış hızı (ml/min) = (0,019) (pompa konumu gösterge değeri) – 0,0025)

(pH control with the algorithm of GPC ($\lambda=1$) (no input acid flow rate) (base flow rate (ml/min) = ((0.019) (A linear valve opening size) – 0.0025)



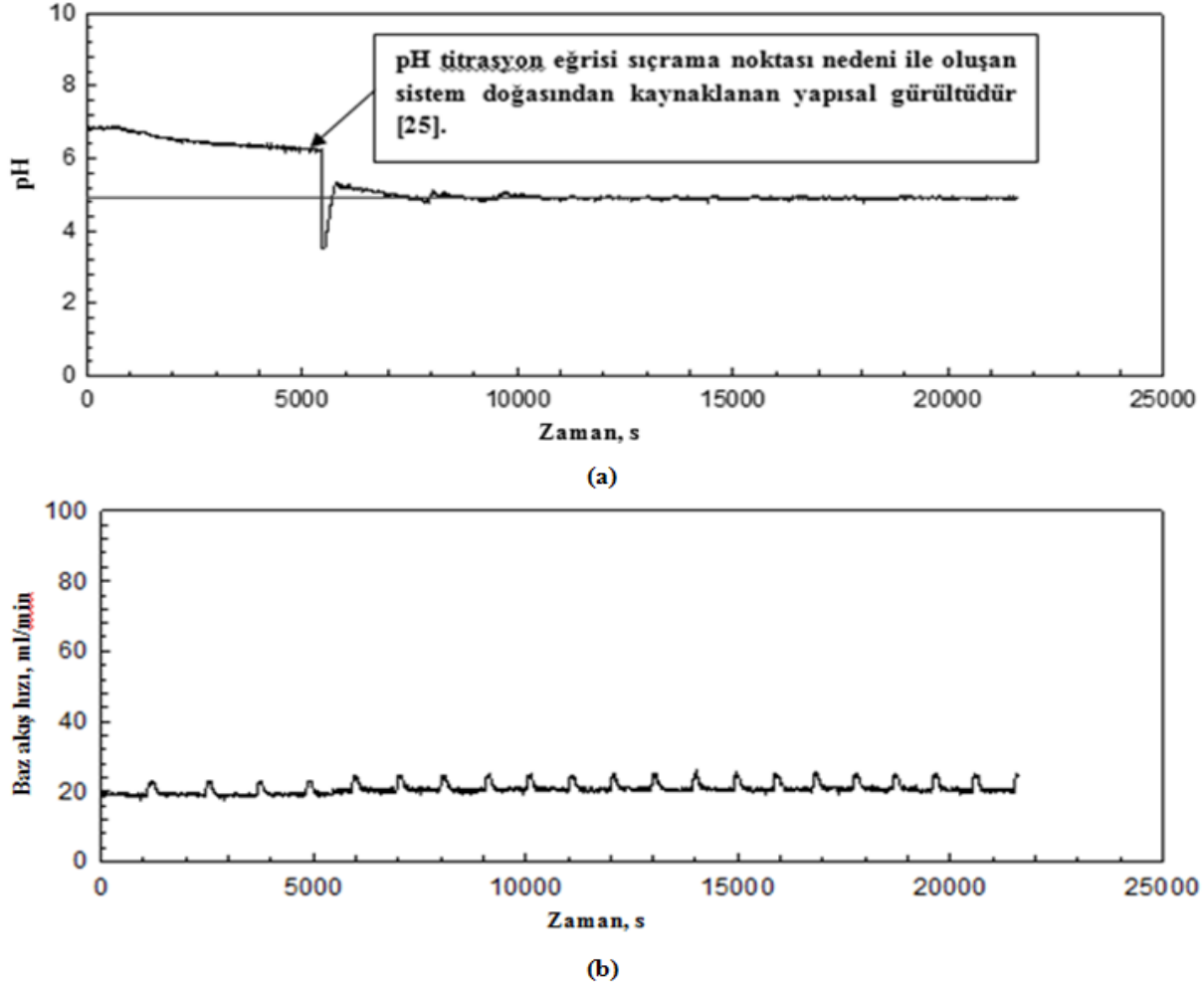
Şekil 4. GPC algoritması ile pH kontrolü ($\lambda=0,5$) (giriş asit akış hızı sabit) (baz akış hızı (ml/min) = ((0,019) (pompa konumu göstere değeri) – 0,0025)
 (pH control with the algorithm of GPC ($\lambda=0.5$) (stable input acid flow rate) (base flow rate (ml/min) = ((0.019) (A linear valve opening size) – 0.0025))

Tablo 1. Etkinlik kriteri (ISE ve IAE) ve ortalama yüzde mutlak hata değeri (MAPE) değerlerine göre karşılaştırma
 (Comparison with the efficiency criteria (ISE and IAE) and Mean absolute percentage error (MAPE))

Asit akış hızı	λ	ISE	IAE	MAPE
sabit	0,5	11714,084	43222,406	23,039
sıfır	1	16964,369	26543,117	14,336
sabit	1,5	12773,598	26948,691	13,491

Tablo 2. Mikrobiyolojik analiz (\log_{10} kob/ml) ve protein tayini sonuçları
 (Results of microbiological analysis (\log_{10} kob/ml) and determination of protein)

Örnek	Protein içeriği (100 ml' de)	<i>Laktobasillus</i> cinsi bakteri sayısı	<i>Laktococcus</i> cinsi bakteri sayımı	Maya sayımı
Kefir tipi içecek (pH kontrolü var, $\lambda=1$)	3,11±0,10	9,44±0,38	9,03±0,51	9,99±0,70
Markalı Kefir - 1	3,03±0,04	8,99±0,08	9,04±0,03	2,00±0,06
Markalı Kefir - 2	3,01±0,04	8,91±0,18	9,55±0,02	2,65±0,06



Şekil 5. GPC algoritması ile pH kontrolü ($\lambda=1,5$) (giriş asit akış hızı sabit) (baz akış hızı (ml/min) = ((0,019) (pompa konumu gösterge değeri) – 0,0025)

(pH control with the algorithm of GPC ($\lambda=1.5$) (stable input acid flow rate) (base flow rate (ml/min) = ((0.019) (A linear valve opening size) – 0.0025)

Bu kriterlere göre kontrol etkinlik karşılaştırması Tablo 1'de verilmiştir. Deney sonuçlarının genel değerlendirmesine göre en iyi kontrolün sisteme asit girişi yapılmaksızın $\lambda=1$ ile gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan GPC algoritmasında, açık literatürde daha önce yayınlanmış olan teorik çalışmalar [1] ile rapor edilen az etkin ayar parametreleri olan minimum maliyet ufku $N_1=1$, maksimum maliyet ufku $N_2=2$ ve kontrol ufku $N_U=1$ değerleri kullanılmıştır. Önceki çalışmada [1] da açıkça teorik sonuçlar ile gösterildiği gibi en etkili ayar parametresinin kontrol ağırlık faktörü (λ) olduğu, burada verilen deneysel çalışma sonuçları ile de kanıtlanmıştır. Ürün kalitesi açısından, deneysel çalışmalarda elde edilen en iyi ürünün mikrobiyolojik analizi ve protein tayini yapılarak piyasada kefir olarak satılan ürün ile karşılaştırılmıştır (Tablo 2). Deney sonuçlarının genel değerlendirmesine göre piyasada bulunan farklı kefir örnekleri ile yakın sonuçlar verdiği (maya sayımı dışında) görülmüştür. Ancak maya sayımında farkın kullanılan pH kontrolü özel hazırlanmış biyoreaktör besi ortamından kaynaklandığı düşünülmüştür.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Peynir altı suyundan kefir mayası ile fermantasyon sonucu içecek elde edilmesinde kalite güvencesi açısından, literatürde de yer aldığı üzere, pH kontrolü kritik rol oynamaktadır. Bu içeceğin reolojik ve duyuşal özelliklerini geliştirmek için, biyoproses ortamına süt ve üzüm suyu eklenmiştir. Gelişmiş bir kontrol algoritması olan genelleştirilmiş öngörmeli kontrol biyoprosese deneysel olarak uygulanmıştır. Bu uygulamalarda Şekil 3'de gösterildiği gibi reaktöre bir asit girişi olmadığı durumda proses pH değeri set değere yaklaşık 8000 s'de ulaşmıştır. Şekil 4'de bir yük etkisi yapan sabit akış hızlı asit girişi ile set değerine ulaşma süresi çok uzun hale gelmiş ve kontrol ayar parametresi $\lambda=0,5$ yetersiz bulunmuştur. Şekil 5'de yük etkisi yapan sabit akış hızlı asit girişi varlığında kontrol ayar parametresi $\lambda=1,5$ ağırlık faktörü kullanımı ile yeterli miktarda kontrol edici çıkışı sağlanmış ve pH set değerine yaklaşık 8000 s'de ulaşılmıştır. Bu şekilde yaklaşık set değerine ulaşma süresi (~8000 s) aynı bulunan iki pH kontrol cevabı (Şekil 3 ve 5) elde edilmiştir. Böylece,

yaklaşık aynı etkinlikte olan iki durum arasında $\lambda=1$ kullanan Şekil 3 ile verilen asit akış hızı sıfır olan durumun tercih edilebilir olduğu kesikli proste kullanılan toplam asit ve baz girişlerinin minimum tutulduğu düşünüldüğünde açık bir şekilde ortaya konmuştur. Elde edilen kefir tipi içeceğin uygun kontrollü işletim koşullarında üretilmesiyle protein tayini ve mikrobiyolojik sonuçları açısından uygun bir ürün elde edilmiştir. Ayrıca GPC algoritmasının bu tip bir içecek üretiminde deneysel olarak pH kontrolü için uygulanması bir ilk teşkil etmektedir. Gelecek çalışmalar açısından değerlendirme yapıldığında, model parametresi tahminleri için farklı yöntemler kullanılarak karşılaştırma imkanı sağlanabileceği ve/veya farklı kontrol algoritmaları ile deneylerin tekrarlanabileceği kanısına varılmıştır.

SİMGELER (SYMBOLS)

A	kesikli zaman sistemlerinin kutuplarını temsilen z- alanındaki tekil polinom
B	kesikli zaman sistemlerinin sıfır noktalarını temsilen z- alanındaki polinom
C	gelişigüzel gürültüyü temsilen z- alanındaki tekil polinom
e_t	gelişigüzel gürültü
F	z- alanındaki bir polinom
J	kontrol algoritması için amaç fonksiyonu
N_1	minimum maliyet ufku
N_2	maksimum maliyet ufku
N_u	kontrol ufku
$r(t)$	set noktası
$u(t)$	t-zamanında giriş değişkeni
$y(t)$	t-zamanında çıkış değişkeni
y_{t+j}	zaman t anına kadar bilinen sinyal değerinin ve gelecek kontrol çıktısının bir fonksiyonu
z, z^{-1}	ileri ve geri gecikme operatörleri
E	matematiksel beklenti
λ	ağırlık faktörü
Δ	birinci fark operatörü

KISALTMALAR (ABBREVIATIONS)

CARIMA	sistem modeli
GPC	genelleştirilmiş öngörmeli kontrol
ISE	hata kareleri integrali
IAE	hata mutlak değeri integrali
PAS	peynir altı suyu
PRBS	yalancı gelişigüzel ikili sinyal
MAPE	ortalama yüzde mutlak hata değeri

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Altuntaş S., Ertunç S., Hapoğlu H., Albaz M., Servo Control Application of Predictive Algorithm to the Cheese Whey Drink Production, Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University, 25 (2), 31-42, 2012.
- Altuntaş S., Ertunç S., Hapoğlu H., Albaz, M., Discrete-Time Modelling of the Cheese Whey Drink Production and Servo Control of pH, Ordu Univ. J. Sci. Tech., 1 (1), 15-21, 2011.
- Inan A., Oil Pollution Modelling in İskenderun Bay, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 26, (2), 470-476, 2011.
- Balas L., Inan A., Numanoglu Genç A., Modelling of dilution of thermal discharges in enclosed coastal waters, Research, Journal of Chemistry and Environment, 17 (10), 82-89, 2013.
- Özmihçi S., Kargı F., Utilization of Cheese Whey Powder for Ethanol Fermentation: Effects of Operating Parameters, Enzyme and Microbial Technology, 38, 711-718, 2006.
- Özmihçi S., Kargı F., Kinetics of Batch Ethanol Fermentation of Cheese Whey Powder (CWP) Solution as a Function of Substrate and Yeast Concentrations, Bioresource Technology, 98, 2978-2984, 2007.
- Özmihçi S., Kargı F., Effects of Feed Sugar Concentration on Continuous Ethanol Fermentation of Cheese Whey Powder Solution (CWP), Enzyme and Microbial Technology, 41, 876-880, 2007.
- Özmihçi S., Kargı F., Ethanol Production from Cheese Whey Powder Solution in a Packed Column Bioreactor at Different Hydraulic Residence Times, Biochemical Engineering Journal, 42, 180-185, 2008.
- Saraceno A., Curcio S., Calobro V., Iorio, G., A Hybrid Neural Approach to Model Batch Fermentation of "Ricotta Cheese Whey" to Ethanol, Computers and Chemical Engineering, 34, 1590-1596, 2010.
- Kourkoutas Y., Psarianas C., Koutinas A.A., Kanellaki M., Banat I.M., Marchant, R., Continuous Whey Fermentation Using Kefir Yeast Immobilized on Delignified Cellulosic Material, J. Agric. Food Chem., 50 (9), 2543-2547, 2002.
- Paraskevopoulou A., Athanasiadis I., Blekas G., Koutinas A.A., Kanellaki M., Kiosseoglov V., Influence of Polysaccharide Addition on Stability of a Cheese Whey Kefir-milk Mixture, Food Hydrocolloids, 17 (5), 615-620, 2003.
- Malbaša R.V., Milanovic' S.D., Lončar E.S., Djuric' M.S., Caric' M.D., Ilić' M.D., Kolarov L., Milk-based beverages obtained by Kombucha application, Food Chemistry, 112, 178-184, 2009.
- Bozoglu M. D., Ertunç S., Akay B., Bursalı N., Vural N., Hapoglu H., Demirci Y., The Effect of temperature, pH and SO₂ on ethanol concentration and sugar consumption rate (SCR) in apple wine process, Journal of the Chemical Society of Pakistan, 37 (3), 431-439, 2015.
- Kazici H.C., Mehmetoglu U., Use of the plant as biocatalysts for producing enantiomerically pure seconder alcohol, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30, (1), 49-56, 2015.
- Camcıoglu Ş., Özyurt B., Hapoglu H., Elektrokoagülasyon yöntemiyle kağıt atık suyu arıtımında pH kontrolü, Anadolu University Journal of Science and Technology- A Applied Sciences and Engineering, 16 (2), 107-115, 2015.
- Golshan M., MacGregor J.F., Identification for the Control of Variable Trajectories in Batch Processes,

- Industrial and Engineering Chemistry Research, 52, 2352-2367, 2013.
17. Cao Z., Yang Y., Lu J., Gao F., Constrained two dimensional recursive least squares model identification for batch processes, Journal of Process Control, 24, 871-879, 2014.
 18. Clarke D.W., Mohtadi C., Tuffs, P.S., Generalized Predictive Control-Part I: the Basic Algorithm, Automatica, 23 (2), 137-148, 1987.
 19. Li-Juan L., Hong-Ye S., Jian C., Generalized Predictive Control with Online Least Squares Support Vector Machines, Acta Automatica Sinica, 33 (11), 1182-1188, 2007.
 20. Sato T., Design of a GPC-based PID Controller for Controlling a Weigh Feeder, Control Engineering Practice, 18, 105-113, 2010.
 21. Neshasteriz A.R., Sedigh A.K., Sadjadian H., Generalized Predictive Control and Tuning of Industrial Processes with Second Order Plus Dead Time Models, Journal of Process Control, 20, 63-72, 2010.
 22. Çetinkaya S., Durmazuçar H.H., Zeybek Z., Hapoğlu H., Alpbaz M., Application of Temperature Control in a Batch Polymerization Reactor at Different Optimal Temperatures, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 28 (2), 383-392, 2013.
 23. Aldemir A., Hapoğlu H., Comparison of wireless temperature profiles with generalized predictive control, Journal of Polytechnic, 19 (3), 377-387, 2016.
 24. Altuntaş S., Peynir Yapım Tesislerinden Alınan Atıksuyu Biyolojik İşlemden Geçirme, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012.
 25. Gustafsson T.K., Skrifvars B. O., Sandström K. V., Waller K.V., Modelling of pH for Control, Industrial and Engineering Chemistry Research, 34, 820-827, 1995.