

## Adaptif Kontrol Sistemleri ve Gıda Endüstrisindeki Bazı Uygulamaları

S. Nur Dirim

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir  
E-posta: nur.dirim@ege.edu.tr

### ÖZET

Bu derleme çalışmasında adaptif kontrol sistemlerinin tanımı ve çalışma prensiplerinin tanıtılması, bunun yanı sıra gıda sanayinde adaptif kontrol uygulamalarına örnekler verilmesi hedeflenmiştir. Adaptif kontrol uygulamalarının değişiminin çok olduğu ve genellikle doğrusal olmayan gıda işleme sistemlerinde de başarıyla kullanılabileceği ve sistem veriminin büyük oranda arttığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Adaptif kontrol sistemi, Proses kontrol, Gıda işleme

### Adaptive Control Systems and Some Applications in Food Industry

#### ABSTRACT

In this review, the definition and basic principles of adaptive control systems and applications of adaptive control to food process industries were explained. Adaptive control systems and their applications are suitable for the systems where variations in system parameters are large and system behaviors are nonlinear. In addition, adaptive control systems present a great potential for the improved efficiencies of these systems.

**Key Words:** Adaptive control system, Process control, Food processing

### GİRİŞ

Günümüzün hızla gelişen endüstrilerinde teknolojik gelişmeler, güçlü rekabet, daha sıkı çevre ve güvenlik kuralları ve hızla değişen ekonomik koşullar ürünlerde istenilen özellikleri belirlemektedir. Gıda işleme sistemlerinin kontrolünde temel hedefler gıda güvenliği, az işlenmiş gıda üretimi, üstün kalite ve verimin minimum maliyetle elde edilmesi olarak sıralanabilir [1]. Tüketici beklentilerinin artması ve gelişen teknolojilerin katkısı da daha karmaşık prosesleri yaratmaktadır. Bu nedenler doğrultusunda tüm diğer teknolojiler gibi gıda işlemede ürünlerin yüksek kalite ve standart formda olmasını sağlamak üzere uygulanan proseslerin kontrolü de önem kazanmaktadır.

Yüksek kalitede ürün elde etmek için, uygun enstrüman seçimi, sistemdeki hataların doğru bir biçimde tespit edilmesi ve hızlı ve doğru kontrol tekniklerinin seçimi önemlidir. Uzun yıllar boyunca geleneksel yöntemlerle kontrol edilen gıda işletmelerine otomatik kontrol sistemlerinin ve akıllı bilgisayar sistemlerinin eklenmesi günümüzdeki ve gelecekteki gelişmenin belirtisidir. Bu sistemlerin kullanılmasını zorlaştıran etkenler ise hammaddenin değişken özellikte olması, yüksek

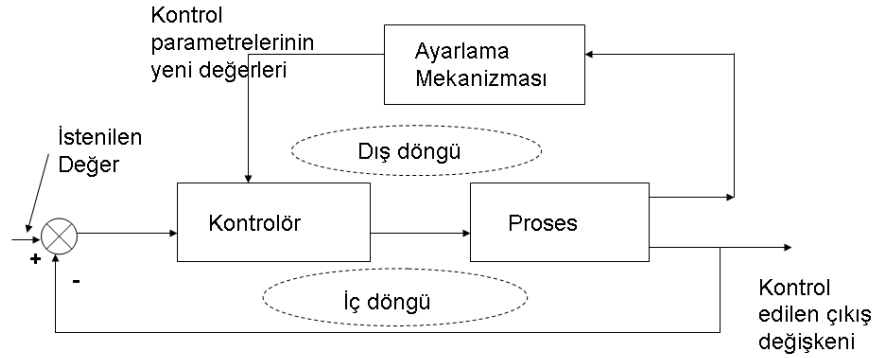
kapasitelerde üretim yapılması, sistem davranışlarının doğrusal olmaması ve zamana bağlı değişimin bulunmasıdır. Kontrol sistemlerinin en gelişmiş şekli olan oransal-türevsel-integral (Proportional-Derivative-Integral, PID) kontrol sistemlerinin dahi yeterli olmadığı durumlarda yapay zeka kuramlarına dayalı gelişmiş kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte gelişmiş kontrol sistemlerinin insan deneyiminin yerini alması gıda endüstrisinde diğer endüstrilere oranla daha yavaş olmaktadır [1].

Adaptif kontrol sistemi, kontrol ettiği prosesdeki değişimlere göre kendi kontrol parametrelerini otomatik olarak değiştiren sistem olarak tanımlanır ve prosesin çalışma koşullarının ya da çevre koşullarının değişmesi sonucunda kontrol sistemindeki ayarlarının sürekli olarak değiştirilmesiyle gerçekleşir. Farklı adaptif kontrol tipleri adaptasyon mekanizma ve şekline göre, seçilen davranış ölçütüne ve ayarladıkları parametrelere göre sınıflandırılırlar. Adaptif kontrolün kullanılmasını gerektiren durumlar; ekipman özelliklerinde değişimler olması (ısı değiştiricilerde birikinti olması, kullanılan katalizörün bozunmaya başlaması gibi), çalışma koşullarında normal olmayan koşulların yaşanması (başlangıç ve bitişteki koşullar ya da bozulmalar gibi),

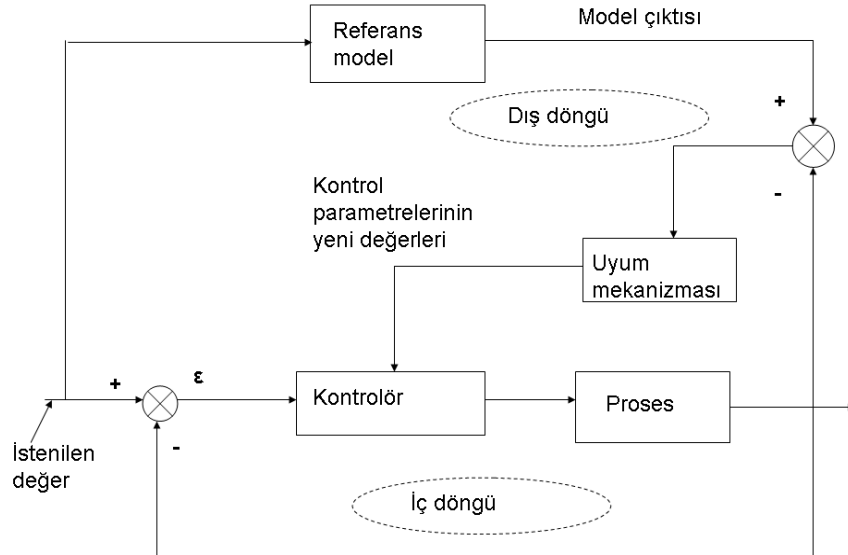
dış etkenlerin sık ve büyük miktarda olması (besleme bileşimi, yakıt kalitesi gibi), ortam koşullarındaki değişimler (günlük değişimler, doğal koşullardaki önemli değişimler gibi), beklenen ürün özelliklerine değişim olması ya da miktarın önemli ölçüde değişmesi ve sistem davranışının doğrusal olmaması olarak sıralanabilir [2]. Proses üzerinde etkili olan her dış etken ve hedeflenen "istenilen değer" değişiminde, sistem çıktılarının model davranışı ve beklenen davranış ile kıyaslanarak modelin güncellenmesi gerektiğinden adaptif kontrol sistemlerinin değişimin büyük miktarda ve sık olduğu, ayrıca ölçülmeyen dış etkenlerin çok olduğu sistemlerde kullanımı uygun değildir.

Adaptif kontrol uygulamasının diğer proses kontrol sistemlerinden farkı, kontrol edilen değişkenin başlangıçta belirlenen "istenilen değer" de sabit tutulması yerine sistemin değişen özelliklerine uygun

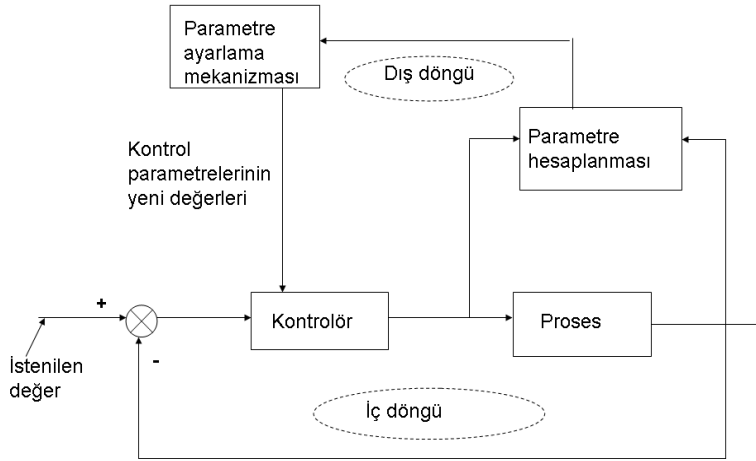
olarak yeni değerler almasıdır. Adaptif kontrol uygulamaları iki farklı mekanizma ile gerçekleşmektedir. 'Programlanabilir adaptif kontrol', davranışı iyi bilinen ve matematiksel modellemesi gerçekleştirilmiş sistemlere uygulanabilir. Şekil 1'de gösterilen bu sistem; sistem davranışını iyi temsil eden ikincil bir değişkenin kontrol edilmesi prensibine dayanır. Böylece sistem üzerinde kontrol gerçekleştirilirken aynı zamanda ikincil değişkenin kontrolü de gerçekleştirilir. 'Kendiliğinden uyarlanabilir adaptif kontrol', davranışı tam olarak bilinmeyen ve hedef fonksiyonun değerinin sürekli hesaplanması gereken sistemlere uygulanabilir. Bu durumda hedef fonksiyonun istenilen koşulda optimize edilmesi için kontrol parametreleri adaptif kontrol mekanizması tarafından değiştirilir. Kendiliğinden uyarlanabilir adaptif kontrol bir referans model kullanılarak (Şekil 2) ya da kendini uyarlayan sistem (Şekil 3) kullanılarak gerçekleştirilir.



Şekil 1. Programlanabilir adaptif kontrol [3]



Şekil 2. Model referanslı adaptif kontrol [3]



Şekil 3. Kendini uyarlayan adaptif kontrol [2, 3]

### GIDA ENDÜSTRİSİNDEKİ BAZI UYGULAMALAR

Adaptif kontrol sistemleri proses veriminin ve ürün kalitesinin artırılması için, gıda endüstrisinde pek çok sürekli ve kesikli sistemde kullanılmaktadır. Zorlamalı konveksiyon tipi fırınlarda yapılmış bir proses kontrol çalışmasında [4] hava sıcaklığındaki değişimlerin fırının ısıtma gücünü etkilemesi üzerinde çalışılmıştır. Bu tür fırınlarda daha önce yapılan çalışmalarda; ette pişirme kaybını en aza indirmek için programlanmış fırın sıcaklığının ürün verimi ve zaman üzerine etkisi, ekmek pişirme sırasında havanın sıcaklığı, dolaşım hızı ve neminin ekmeğin kalite kriterleri üzerine etkisi ve bu üç değişimin ısı transfer katsayısı üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan bu çalışmalarda karşılaşılan temel sorun değişen gıda maddeleri için fırın performansının belirlenmesi olmuştur. Bu nedenle Unklesbay ve ark. [4] yaptığı çalışmada fırının giriş gücü ve fırın içindeki hava sıcaklığının ilişkisini veren matematiksel model eşitliğinin bulunması ve bu modelin farklı gıdalar için kullanılmasını hedeflemiştir. Sistemde gerçekleşen eşzamanlı ısı ve kütle transferi nedeniyle temel teorik bilgiler ışığında model eşitliğinin bulunması çok karmaşık olacağından deneysel verilerle parametreler bulunarak model geliştirilmiştir. Matematiksel modelin deneysel çalışma ile geliştirilmesi için öncelikle model yapısına karar verilmiş, sistem davranışını doğrudan etkileyen etki (ısıtıcının kullandığı güç miktarı) belirlenmiş ve bu etkinin sistemde oluşturduğu tepki (fırın içindeki havanın sıcaklığı) ölçülerek parametreler tespit edilmiştir. Modellemenin son aşamasında ise modelin doğruluğunun belirlenmesi için sistemden elde edilen verilerle model eşitliğinden elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu değerlerin farkı hata olarak tanımlanmış ve hata karelerinin toplamı minimize edilerek model parametreleriyle birlikte bulunmuştur. Modelleme çalışmasının sonunda sistemi temsil eden transfer fonksiyonunun fırının çalıştığı sıcaklık aralığına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca model eşitliğinin deneysel koşulların değişimine karşı esnek olduğu belirtilerek bu esnekliğin çok sayıda değişken olan sistemlerde uygun çalışma koşullarının belirlenmesinde dezavantaj olabileceği, bunun yanı

sıra sistemi en iyi temsil edecek model eşitliğinin geliştirilmesi için deneme koşullarının değiştirilebilmesinin bir avantaj olacağı belirtilmiştir. Bu çalışmada tek girdi-tek çıktı temeline dayanan kontrol kullanılmasına rağmen proses kontrol sistemlerinde önemli bilgiler olan doğrusallık, ölü zaman, sistem zaman sabiti ve sistem değişkeninin dinamik davranışı hakkında bilgi verilmiştir.

Adaptif kontrol uygulamasının geleneksel yöntemlerle kıyaslanmasını hedefleyen bir çalışmada [5] döner kurutucuda ürün neminin kontrolü için adaptif kontrolün yanı sıra PID kontrolle dayalı en gelişmiş geleneksel kontrol yöntemi kullanılmıştır. Döner kurutucularda ısı, kütle ve momentum transferlerinin eşzamanlı olarak gerçekleşmesi ve uzun ölü zaman değerleri olması nedeniyle sistem davranışını veren model eşitliğinin bulunması ve kontrolün gerçekleştirilmesi çok zordur. Modelleme ve kontrol uygulamalarında karşılaşılan zorlukların giderilmesi için adaptif kontrol gibi gelişmiş kontrol yapılarının kullanımı uygundur. Sistem davranışını tanımlayan model eşitliğinin geliştirilmesi amacıyla yapılan bazı varsayımlar; adiyabatik kurutucu, radyal yönde ihmal edilebilir değişim, sabit fiziksel özellikler, konveksiyonun tek ısı transfer mekanizması olması ve ihmal edilebilir basınç düşmesi olarak sıralanabilir. Kontrol çalışmasına temel olacak şekilde katı maddenin nem içeriği kontrol değişkeni, giren havanın sıcaklığı ise girdi değişkeni olarak seçilmiştir. Endüstriyel proseslerde çok sayıda değişken olması ve doğrusal olmayan davranış nedeniyle PID kontrol yapısının verimli olmadığı, parametre ayarlarının sıklıkla tekrar edilmesi gerektiği gözlenmiştir. Sistemin model eşitliğini kontrol algoritması ve parametre hesaplama iç kontrol döngüsü ile geliştiren adaptif kontrol uygulamasında ise PID kontrol sistemine oranla daha az kayıplar ve daha güçlü bir kontrolün elde edildiği gözlemlenmiştir.

Çalışmanın başında da belirtildiği üzere gıda işleme sistemleri çok sayıda değişkenliğe sahip, karmaşık sistemlerdir. Bu sistemlerde insan deneyiminin yerini bilgisayar destekli gelişmiş sistemlerin alması diğer

endüstrilere göre yavaş olmuştur. Karmaşık gıda sistemlerinin kontrolünde bilgisayarların ihtiyaç duyduğu kesin sınırlamalar mümkün olmadığından, dilimize "bulanık mantık" olarak geçen belirsizlikleri ya da deneyime dayalı bilgileri bilgisayara iletmeye yardımcı olan "fuzzy-logic" sistemler kullanılmıştır.

Gıdaların uzun süre saklanabilmeleri için kullanılan yöntemlerden birisi de dondurarak saklamadır. Çileklerin akışkan yataklı dondurucuda dondurulması işleminin kontrolü için adaptif kontrol ve bulanık mantık kontrol sistemleri bir arada kullanıldığı bir çalışma yapılmıştır [6]. Bulanık mantık kontrolün geleneksel adaptif kontrol sistemine eklenmesiyle insan ifadelerinin (yeterli, yetersiz, yüksek, fazla vb.) model eşitliklerine eklenmesi mümkün olmuştur. Böylece belirsizliklere sahip ve gerektiğinde verilen kararlarla insanlar tarafından başarıyla kontrol edilebilen sistemler de otomatik olarak kontrol edilebilmektedir. Riverol ve ark. [6] tarafından yapılan bu çalışmada model referanslı adaptif ve bulanık mantık kontrol sisteminin kullanımıyla dondurma işleminin teorik bilgiler temel alınarak kontrol edilmesi, adaptif kontrol yapısına dayalı bulanık mantık sonuç sisteminin kullanımıyla da kullanıcı beklentilerine göre kendini uyarlayabilen kontrol yapısının oluşturulması hedeflenmiştir. Çalışmanın deneysel aşamasında sürekli tip akışkan yatak dondurucu kullanılarak ürün donma zamanı, dondurucu ortam sıcaklığı ve relatif rutubet değerleri belirlenmiştir. Model referanslı adaptif kontrol sisteminin kullanıldığı durumlarda işlemin her aşamasında ölçümler yapılması, doğrusal olmayan davranışın ortadan kaldırılması ve proses davranışının zamana bağlı parametreler dışında belirlenmiş olması gerekir. Gerçek sistemlerde bu koşulların tümünün sağlanması mümkün olmadığından bulanık mantık kontrol eşitliklerinin eklenmesiyle sistemin başarıyla modellenmesi sağlanmıştır. Adaptif kontrol yapısına dayalı bulanık mantık sonuç sisteminin kullanımıyla ise tüm değişkenlerin davranışlarını tanımlayan eşitlikler yazılmış ve bu eşitliklerin çözümüyle optimize edilmiş parametreler elde edilmiştir.

Sonuç olarak adaptif ve bulanık mantık kontrol yapılarının bir arada kullanılması sistemin doğrusal olmayan özelliklerini de iyi bir biçimde tanımlamış ve geri beslemeli kontrol sistemiyle kontrol edilen standart üretime oranla daha kaliteli ürün elde edilmiştir. Riverol ve ark. [7]'nin plakalı ısı değiştirici kullanarak süt pastörizasyonu üzerinde yaptığı bir başka çalışmada, model referanslı adaptif ve bulanık mantık kontrol sistemi ve insan düşüncesini taklit etmek amacıyla yapay sinir ağları kullanılmıştır. Çalışmanın amacı endüstriyel süt pastörizasyonu işleminin gerektiği şekilde kontrol edilmesidir. Bu tür kontrol sistemlerinde karmaşık matematiksel modellere ihtiyaç duyulmadığı için sistemde karşılaşılabilecek her türlü yeni durum kolaylıkla kontrol edilecektir. Çalışmanın sonucuna göre sistem davranışının iyi bir şekilde

modellendiği, yapay sinir ağları uygulanacak sistemlerde daha fazla veriye ihtiyaç duyulduğu ve doğrusal davranış göstermeyen pek çok gıda işleme prosesinin bu yöntemle kolaylıkla kontrol edilebileceği belirtilmiştir.

## SONUÇ

Proses koşullarındaki değişikliklerin hedeflenen kontrol parametrelerinin değişimi ile düzenlenmesi anlamına gelen adaptif kontrol, sistemdeki değişimlerin nedeninin bilinmediği, çalışma koşulları içinde modellemeye dayalı tahminlerin yapılamadığı ve bu değişikliklerin sık olduğu sistemler için kullanılabilir. Proses kontrol uygulamalarında kontrolün temel yapısı belirlenirken sistem davranışını veren model eşitliğinin bilinmesi zorunludur. Oysaki uyarlanabilir kontrol sistemlerinde model eşitliklerine gerek duyulmaz ve sistemdeki değişimin doğru belirlenmesiyle kontrol gerçekleştirilebilir. Bu nedenlerle adaptif kontrol uygulamaları yalnız başına ya da diğer gelişmiş kontrol yapılarıyla bir arada kullanılarak endüstriyel işletmelerin verimliliklerini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu derleme çalışmasında yararlanılan kaynaklarda yer alan model eşitlikleri sistemlere özgü olmaları nedeniyle çalışma içinde kullanılmamış, ancak bu eşitliklerin temeli oluşturulan bilgilere yer verilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Linko, S., 1998. Expert systems-what can they do for the food industry? *Trends in Food Science and Technology* 9: 3-12.
- [2] Seborg, D.E., Edgar, T.F., Mellicamp, D.A., 2004. *Process Dynamics and Control*. John Wiley and Sons Inc., USA, 433-435.
- [3] Stephanopoulos, G., 1984. *Chemical Process Control, an Introduction to Theory and Practice*. Prentice-Hall Inc., USA, 431-438.
- [4] Unklesbay, A., Boza-Chacon, A., Unklesbay, N., 1997. Air temperature transfer function of a convection oven. *Food Control* (8): 39-43
- [5] Perez-Correa, J.R., Cubillos, F., Zavala, E., Shene, C., Alvarez, P.I., 1998. Dynamic simulation and control of direct rotary driers. *Food Control* (9): 195-202
- [6] Riverol, C., Carosi, F., Di Sanctis, C., 2004. The application of advanced techniques in a fluidized bed freezer for fruits: evaluation of linguistic interpretation vs. stability. *Food Control* (15): 93-97.
- [7] Riverol, C., Ricart, G., Carosi, F., Di Sanctis, C., 2008. Application of soft control strategies into the dairy industry. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (9): 298-305.