

Türk Kahvesi Pişirme Süreci İçin Algılayıcı Tabanlı Bir Kontrol Yöntemi

A Sensor Based Control Method for Turkish Coffee Cooking Process

Arda Dönerkayalı^{1,2} , Türker Türker^{1,3} 

¹Yıldız Teknik Üniversitesi Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği,
Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul, Türkiye

arda.donerkayali@arcelik.com

turker@yildiz.edu.tr

²Arçelik A.Ş. İstanbul, Türkiye

³School of Engineering and Technology
Al Dar University College, Dubai, BAE

Öz

Son yıllarda gerçekleşen teknolojik ilerlemeler ile birlikte heterojen gıda karışımlarını otomatik olarak pişirebilen makineler geliştirilmektedir. Bu makinelerde geliştirilen algılayıcı sistemler pişirme işleminin kontrolünün hassas olarak sağlanması ve ürünün başarısı için kritik bir rol oynamaktadır. Piyasada önemli bir yer tutan bu ürünler çeşitli algılayıcı sistemlere sahip olmakla birlikte, buhar, sıcaklık ve algılayıcı üzerinde meydana gelen yoğunlaşma gibi etkilere maruz kaldığında hatalı kararlar vererek, sürdürülebilir bir performans sunmakta zorlanmaktadır. Bu çalışmada, induksiyon ısıtıcılı bir otomatik Türk kahvesi makinesinde, pişirici haznesinin dışına yerleştirilen bir sıcaklık algılayıcısı yardımıyla karışımın sıcaklığını temassız bir şekilde kestirebilen bir durum gözleyici modeli sunulmaktadır. Ayrıca, gerçek zamanlı deneylerden elde edilen veriler kullanılarak bir dinamik model oluşturulmuştur. Kahve sıcaklığının hazne içerisine algılayıcı yerleştirilerek elde edildiği deney çalışmaları gerçekleştirilerek önerilen sistem test edilmiştir. Oluşturulan model gerçek karışımın sıcaklığını 25°C ve 90°C aralığında %96.63 doğruluk ile kestirmektedir. Bu sonuçlara göre, önerilen algılama yöntemi kullanılarak istenilen tat ve kıvama sahip Türk kahvesi pişirilebilmektedir.

Anahtar kelimeler: Sıcaklık kontrolü, induksiyon ile pişirme, durum kestirimi, sistem tanıma.

Abstract

Due to the recent technological advancements, autonomous cookers are being developed for heterogeneous food mixtures. Advanced sensing systems play a critical role in such appliances to ensure a precise control of the cooking process and a successful operation. Such devices are of high demand among the consumers and they are built upon various systems for sensing. However, the sensing systems might encounter major difficulties if exogenous disturbances such as steam,

heat or condensation on the sensor exist. This situation may lead to false executions and problems in providing sustainable performance. In this study, a state observer model is developed for an automatic Turkish coffee machine possessing an induction heater. This model can be used to estimate the temperature of the mixture with only one temperature sensor placed outside the cooking chamber. In addition, a dynamic model is constructed utilizing the data acquired by real time coffee making experiments. The proposed structure is tested by placing a temperature sensor inside the cooking chamber. The constructed model estimates the actual temperature of the mixture within an interval of 25°C and 90°C with %96.63 accuracy. According to these results, Turkish coffee with the desired taste and consistency can be cooked using the recommended sensing method.

Keywords: Temperature control, induction cooking, state estimation, system identification.

1. Giriş

Tüm dünyada tüketilmekte olan kahvenin tarihçesi 14. yüzyıla dayanmaktadır [1]. Afrika'da yetişen kahve bitkisinin tohumları 16. yüzyılda İstanbul'a ulaşmıştır. 17. yüzyılda Avrupa genelinde, 18. yüzyılda ise dünya genelinde tanınan kahve, 19. yüzyılda oldukça önemli bir ticaret ürünü haline gelmiştir. İstanbul'a ulaştığında kahvenin kavrulma, pişirilme ve sunulma yöntemleri farklılaşarak bugünkü Türk kahvesi olarak isimlendirilen haline dönüşmüştür [2]. Türk kahvesi, su ile karıştırılarak elde edilen heterojen karışımın bir ısı kaynağı yardımıyla yavaşça pişirilmesiyle hazırlanmaktadır. Demlenme sonunda kaynama noktasına yaklaşarak yavaşça kabaran kahve 85°C ile 95°C arasındaki bir sıcaklıktayken pişirme işlemi sonlandırılmaktadır.

Günümüzde, teknolojinin gelişmesiyle birlikte, Türk kahvesini otomatik olarak pişirebilen makineler ortaya çıkarılmaktadır. Piyasada önemli bir yere sahip olan bu ürünlerin başarısında

en etkili olan parametre pişirme işleminin doğru zamanda sonlandırılabilmesidir. Doğru zamanda tamamlanamayan pişirmelerin sonucunda kahve çığ, köpüksüz veya yanık olabilmektedir. Bu nedenle pişirme işleminin kontrolünü sağlamada algılayıcı sistemler kritik bir öneme sahiptirler.

Hali hazırda geliştirilmiş olan Türk kahvesi makinelerinde çeşitli algılayıcı sistemler kullanılmakta olup, bu makineler genellikle sürdürülebilir bir performans sunmakta problemler yaşamaktadırlar. Birçok üründe pişirici hazne içerisinde kahveye temas eden bir sıcaklık algılayıcısı ile kahve sıcaklığı doğrudan ölçülmektedir. Bu yöntem, kahvenin pişme durumunu iyi bir şekilde kontrol etse de kullanıcıya hoş görünmeyen, temizlemesi zor, kalite algısı düşük bir çözüm sunmaktadır [3]. Kahve ile doğrudan temas etmeyen ve kahve pişerken çıkan buharın sıcaklığını ölçerek kahvenin piştiğine karar veren algılayıcı sistem ise ortam sıcaklığından ve ortamdaki hava akımından olumsuz etkilenebilmektedir [4]. Pişme işlemi sırasında kahvenin yavaşça kabarmasını bir avantaj olarak kullanan farklı bir yöntemde optik algılayıcılar ile kahvenin köpük seviyesinin yükselişi algılanmaktadır [5]. Bu yöntemde ise algılayıcıyı etkileyebilecek sıcaklık, buhar, çevresel ışık kaynakları ve algılayıcı üzerinde yoğunlaşma gerçekleşmesi gibi etkiler kahvenin piştiği kararı verilmesinde hatalara neden olabilmektedir.

Otomatik pişirici cihazlardaki ısı iletimi kaynaktan itibaren ele alındığında, pişirilen heterojen sıvı için iletimin gerçekleştiği tüm noktalarda zaman gecikmesi problemi ortaya çıkmaktadır. Pişirici bir cihazda kap ve içindeki heterojen karışımın sıcaklığının temassız olarak algılanmasına ve kontrol edilmesine yönelik daha önce yapılan bir çalışmada pişirici kabın yerleştirildiği cam plakanın altına NTC algılayıcı yerleştirilmiştir [6]. Sistemdeki ısı transferi durum-uzay modeli oluşturularak uyarlamalı bir kontrol yapısı ile karışım sıcaklığı kontrol edilmiştir. Kap ile ısıtıcı arasında bulunan cam plakanın termal iletim sürecinde meydana getirdiği zaman gecikmeleri nedeniyle kızartma gibi yüksek yüklü uygulamalarda beklenen sonuç alınamamıştır. Benzer bir çalışmada Kalman filtresi kullanılarak zaman gecikmelerinin yarattığı belirsizliklerle başa çıkılmaya çalışılmıştır [7]. Başka bir çalışmada cam plakanın yarattığı zaman gecikmesinin önüne geçilmesi için pişirici kap sıcaklığı kabın yan tarafına yerleştirilen bir optik sıcaklık algılayıcısı ile ölçülmüştür [8]. Bu yöntem kullanılarak karışım sıcaklığını kontrol edebilecek gözleyici tabanlı kontrolörler tasarlanmıştır [9]. Optik sıcaklık algılayıcısının cam plaka altına yerleştirilerek pişirici kabın taban sıcaklığının ölçüldüğü çalışmalar da mevcuttur [10].

Kullanılan enerjinin %90'a kadarının gıdaya aktarılabilirdiği induksiyonlu pişirme yöntemi [11], en verimli pişirme teknolojilerinden biri olarak kabul edilmektedir. İndüksiyonlu ısıtma sistemlerinde bulunan bobin üzerine AC akım uygulandığında etrafında bir manyetik alan oluşturmaktadır [12]. Bu manyetik alana başka bir iletken nesne girdiğinde manyetik hareketin hızı değişmekte ve nesne yüzeyinde bobin akımının tersi yönünde girdap akımları meydana getirerek nesnenin ısınmasını sağlamaktadır.

İndüksiyonlu Türk kahvesi makinesinde, pişirme işlemi sırasında bobinin oluşturduğu manyetik alan cezve tabanında daha yoğun olduğu için daha fazla, cezvenin yan duvarlarında ise daha zayıf olduğu için daha az ısıya neden olmaktadır. Ayrıca ısı yayılımından kaynaklı olarak, kahve sıcaklığını tam olarak ölçebilmek mümkün olamamaktadır. Diğer taraftan, cezvenin içerisinde yerleştirilecek her bir sıcaklık algılayıcısı daha önceden bahsedilen istenmeyen etkilere yol açmaktadır.

Buradan hareketle, bu çalışmada, Türk kahvesi makinelerinde yaşanan pişirme algılama problemlerine alternatif bir çözüm yöntemi olarak, pişirici haznenin dışına yerleştirilen sıcaklık algılayıcısı yardımıyla karışımın sıcaklığını temassız bir şekilde kestirebilen bir algılayıcı sistem modeli sunulmaktadır. Hem modelin oluşturulması hem de test edilmesi amacı ile induksiyon ısıtma yöntemiyle pişirme yapan bir Türk kahvesi makinesi kullanılan bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Bu düzeneğin yardımı ile elde edilen gerçek veriler ile bir algılayıcı sistem modeli oluşturulmuş ve bu model farklı çalışma koşulları için sınanarak sonuçlar ortaya konulmuştur. Bu sonuçlara göre önerilen algılama yöntemi ile istenilen tat ve kıvama sahip Türk kahveleri pişirmenin mümkün olduğu ortaya çıkmaktadır.

2. Test Düzeneği

Bu çalışma kapsamında sistem tanıma ve test amacı ile bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu deney düzeneğinde kullanılan kahve makinesi, hali hazırda ticari bir ürün olarak piyasada bulunabilen bir Türk kahvesi makinesinin üzerinde bir miktar değişiklik yapılarak oluşturulmuştur. Bu amaçla

1. Algılayıcı sistem tasarımı,
2. Veri toplama ve kaydetme

işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın temel amacı olan hazne dışarısına yerleştirilmiş bir sıcaklık algılayıcısı ile kahve pişirme işleminin sağlanmasına yönelik olarak, makinede kullanılan haznenin içerisine ve dışarısına birer sıcaklık algılayıcısı eklenmiştir. Böylece, ısıtma bobini akımı da kullanılarak, cezvenin iç ve dış sıcaklıkları arasındaki ilişkinin ortaya konulup, fiziksel sistemin dinamik modelinin oluşturulması hedeflenmiştir.

Sisteme eklenen sıcaklık algılayıcıları, biri referans olmak üzere iki nesne arasındaki sıcaklık farkının oluşturduğu gerilim farkının ölçülmesini sağlayan T-tipi ısı çift algılayıcılar olarak belirlenmiştir [13]. Bu tercihte, T-tipi ısı çiftlerin bu uygulama için istenen sıcaklık aralığında iyi sonuçlar vermesi, ucuz maliyete sahip oluşu ve gıda sıcaklığı ölçümlerinde yaygın olarak kullanılması etkili olmuştur [14].

Diğer taraftan, algılayıcı verilerinin gerçek zamanlı olarak kayıt altına alınması amacı ile RS232 protokolüne sahip Keysight 34970A veri toplama cihazı ve bir bilgisayar deney düzeneğine bağlanmıştır. Şekil 1 ile gösterilmiş olan deney düzeneğinde; induksiyonlu kahve makinesi (1), cezvesi (2), kahve sıcaklığını ölçen ısı çifti (3), cezvenin dış yüzeyini ölçen ısı çifti (4) ve bu ısı çiftlerinin bağlandığı veri toplama cihazı (5) görülmektedir. Kullanılan veri toplama cihazında ısı çifti referans kalibrasyonu özelliği vardır ve Keysight 34901A modülü kullanılarak ısı çiftlerinden sıcaklık verisi elde edilmiştir.

Test amacı ile kullanılan induksiyonlu Türk kahvesi makinesi, pişirme işlemi sırasında nominal olarak 500W gücü cezveye aktaracak şekilde programlanmıştır. Cezveye aktarılan güç miktarı, induksiyonlu pişirme sistemlerindeki yüksek verimlilikten dolayı bobin akımı ile ilişkilendirilebilmektedir. Sıcaklık algılayıcısı verilerine ek olarak, kahve makinesinin donanımındaki yapı ile bobin akımı ölçülerek elde edilen değerler makinenin haberleşme protokolü aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.

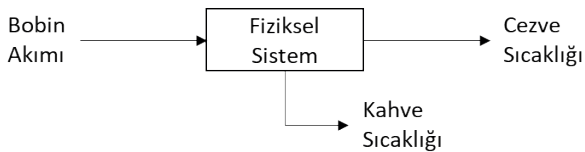


Şekil 1: Deney düzeneği.

3. Yöntem

Özellikle heterojen sıvıların pişirilmesi için üretilmiş olan otomatik pişirme cihazlarının tasarımı aşamasında beliren sorunlardan bir tanesi sıvı sıcaklığının gerçek zamanlı olarak ölçülebilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Sıvı sıcaklığını olabildiğince doğru şekilde ölçebilmek için ise pişirme haznesinin içerisine sıcaklık algılayıcı(lar) yerleştirilebilmektedir. Bu yöntem, hijyen, kötü görüntü, kalite algısının düşük olması gibi bir takım problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada bu dezavantajları ortadan kaldırmak üzere, hazne dışarısına yerleştirilen bir sıcaklık algılayıcısı ile pişirme işleminin kontrol edilmesi bir yöntem olarak ortaya konulmaktadır. Bu amaçla tüm sistemin modelini elde etmek üzere, kahve sıcaklığı, cezve sıcaklığı ve bobin akımı verileri kullanılarak MATLAB Sistem Tanıma Aracı kullanılmıştır [15]. Bunun sonrasında, kahve sıcaklığının gerçek zamanlı kestirimi için gözleyici benzeri bir yapı geliştirilmiştir.

İndüksiyonla ısıtma işleminde, ısıtıcı bobinin alternatif akım ile sürülmesiyle birlikte cezveye ısı iletimi başlamakta, ve böylece cezve tabanının sıcaklığı artmaktadır. Bu durumu ısı transferi ile kahve ve cezvenin yan duvarlarını da sıcaklığının artması takip etmektedir. Bu fiziksel sistem Şekil 2'deki gibi girişi bobin akımı, çıkışı ise cezve sıcaklığı olacak şekilde ifade edilebilmektedir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken husus, pişirme işleminin kontrolü için gerekli olan kahve sıcaklığının ölçülemeyen bir sistem değişkeni olmasıdır.



Şekil 2: Fiziksel sistem blok diyagramı.

Kahve sıcaklığının kestirilmesini sağlayacak sistem modelini oluşturmak üzere, kahve pişirme deneyleri yapılarak cezvenin iç ve dış sıcaklıkları ile bobin akımı verileri toplanmıştır. Bu deneyler, iki kişilik porsiyonu oluşturan yaklaşık 14 gram Türk kahvesi ve 20°C sıcaklıktaki 150 mL su kullanılarak 25°C sıcaklıktaki oda koşullarında, cezveye 500W güç uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Sistem modeli, toplanan bu

verilerin MATLAB Sistem Tanıma Araç Kutusu komutları ile kullanılması sonucunda oluşturulmuştur.

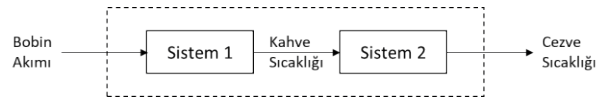
Sistem tanıma aşaması; deneysel planlama, veri toplama, modellerin kurulması, deney verilerinden bilinmeyen sistem parametrelerinin elde edilmesini ve bulunan modelin geçerliliğinin test edilmesi süreçlerini içermektedir. Pişirme deneylerinin ardından fiziksel sistemin modeli, birbirine bağlı iki alt sistemden oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Bu alt sistemler zamanla değişmeyen ve ayrık yapıdaki durum-uzay modelleri olarak ifade edilmektedir. Sistem Tanıma Araç Kutusu ile deneylerde ölçülen giriş ve çıkış verilerinden, sistem modeline ait alt sistemler için sistem parametreleri oluşturulmuştur. Bu parametreler, gerçek kahve sıcaklığı değerleri ile en iyi uyum oranına sahip olan modelin parametreleri olarak belirlenmiştir. Girişi bobin akımı ve çıkışı kahve sıcaklığı olan bir sistem modeline ek olarak, girişi kahve sıcaklığı ve çıkışı cezve sıcaklığı olan ikinci bir sistem modeli oluşturulmuştur. Bu iki alt sistem, kontrol sistemini seri bağlı bir şekilde Şekil 3'te gösterildiği gibi matematiksel olarak ifade etmektedir.

Cezve tabanındaki yoğun indüklenme taban sıcaklığının artmasını sağlamaktadır. Isı kaynağı haline gelen cezve tabanı, cezve içinde taban ile temas etmekte olan kahve ve su karışımının sıcaklığının ısı transferi yoluyla yükselmesine neden olmaktadır. Cezvenin yan duvarları ise indüklenmeden minimum düzeyde etkilenecek, cezve içinde ısınan karışım ile bir ısı alışverişine girerek sıcaklığı yükselmeye başlamaktadır. Bu durum, cezve için uygulanan sonlu elemanlar yöntemi ve termal kamera görüntüsü ile Şekil 4'te gösterilmektedir.

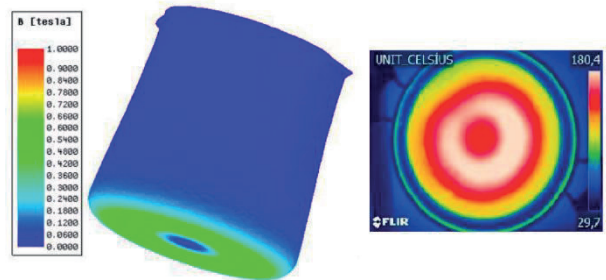
Sistemin matematiksel modeli bu fiziksel bağıntıya göre kurgulanmıştır. Bu noktada dikkat edilmesi gereken bir husus ölçülebilen nicelik olan cezve sıcaklığının çıkış olarak kullanılmasıdır. Burada her bir alt sistem modeli ayrık zamanlı ve zamanla değişmeyen yapıda ele alınmıştır. Dolayısı ile bu alt sistemlere ilişkin dinamik modellerin genel gösterimleri (1) ve (2) ile verilmektedir.

$$x_n(k+1) = A_n x_n(k) + B_n u_n(k) \quad (1)$$

$$y_n(k) = C_n x_n(k) + D_n u_n(k) \quad (2)$$



Şekil 3: Kontrol sistemine ait genel blok diyagramı.



Şekil 4: Cezvenin termal analizi.

Burada $n = 1,2$ olmak üzere sistem indisini, x_n durum vektörlerini, A_n , B_n , C_n ve D_n sırası ile sistem, kontrol, çıkış

ve ileri besleme matrislerini, k ise ayrık zaman değişkenini temsil etmektedir.

Gerçek zamanlı olarak toplanmış verilerin kullanılması elde edilen sistem, kontrol, çıkış ve ileri besleme matrislerine ilişkin değerler ise, ilk alt sistem için

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0.9919 & -0.0231 \\ -0.0265 & 0.9163 \end{bmatrix},$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0.0025 \\ 0.0090 \end{bmatrix},$$

$$C_1 = [-5.8095 \quad 6.9414],$$

$$D_1 = 0$$

olarak, ikinci alt sistem için ise

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0.9951 & -0.0050 & 0.0043 \\ -0.0652 & 0.8963 & -0.0272 \\ 0.1445 & 0.2870 & 0.5094 \end{bmatrix},$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} -0.0146 \\ 0.2724 \\ 2.0371 \end{bmatrix},$$

$$C_2 = [-22.7480 \quad 0.0088 \quad -0.0266],$$

$$D_2 = 0$$

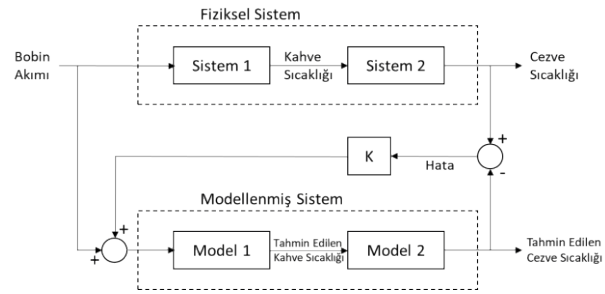
biçiminde sunulmaktadır.

Kontrol sistemleri tasarlanırken, birçok karmaşık sistemde olduğu gibi sistemin iç durum vektörü her zaman ölçüm yoluyla elde edilememektedir. Bu çalışmada kontrol edilmeye çalışılan nicelik de, sistem yapısı itibarı ile doğrudan ölçülememektedir. Kontrol sisteminde kullanılmak üzere, induksiyon ısıtıcılı Türk kahvesi makinesinde pişirme işlemi sırasında kahve sıcaklığının hazne içerisine yerleştirilmiş bir algılayıcı ile kestirmek yerine, cezvenin dış yan duvarına yerleştirilen bir sıcaklık algılayıcısı ile kestirilmesi amaçlanmıştır. Böylelikle, hazne içerisine yerleştirilecek algılayıcının getireceği dezavantajlardan etkilenilmeyecektir.

İndüksiyonlu ısıtmanın sağladığı yüksek enerji verimine ve cezvenin ince yapısına rağmen kahve ve cezve arasındaki ısı iletimi sırasında zaman gecikmeleri yaşanmaktadır. Kullanılan suyun miktarı, sıcaklığı ve ısıtıcı gücü değişimleri gibi etkenler ile ısı iletim karakteristiğinin değişmesine bağlı olarak cezve üzerinde birim zamanda farklı miktarlarda sıcaklık değişimini meydana getirmektedir. Ortaya çıkan model hatasını düzeltmek ve kahve sıcaklığı kestirimini iyileştirmek için cezve sıcaklığını algılayıcı ile ölçerek yapılan hatayı geri besleme ile düzelten bir gözleyici sistem tasarlanmıştır [16].

Gerçek sistemin ölçülemeyen iç sistem durumu olan kahve sıcaklığı bilgisi, sistem tanıma yöntemi ile oluşturulan modelin baz alındığı durum gözleyici yapısı ile elde edilmektedir. Bu yapıya ilişkin blok diyagramı Şekil 5 ile sunulmaktadır. Buna göre sistemin ölçülebilen bir parametresi olan gerçek cezve sıcaklığı ile cezve sıcaklığı kestiriminin farkı alınarak gözleyici hatası belirlenmektedir. Bu hata gözleyici kazancı olarak belirlenen K sabiti ile çarpılarak gözlenen değer sisteme geri beslenmektedir. Böylece gerçek cezve sıcaklığı ile kestirilen cezve sıcaklığı arasındaki fark indirgenerek gerçek kahve sıcaklığı değerine daha yakın bir kahve sıcaklığı tahmini elde edilmektedir.

Gözleyici kazancının en iyi değeri, sistem için belirlenmiş sınır koşullar içinde yapılmış doğrulayıcı deneylerde en küçük kareler yöntemi kullanılarak en küçük kestirim hatasını sağlayacak şekilde belirlenmiştir [17]. En küçük kareler yöntemi yardımıyla, gözleyici kazancı K için 2.9 değeri hesaplanmış ve yapılan doğrulama deneylerinde bu değer kullanılmıştır.



Şekil 5: Kahve sıcaklığı kestirimi için oluşturulan gözleyici yapısı.

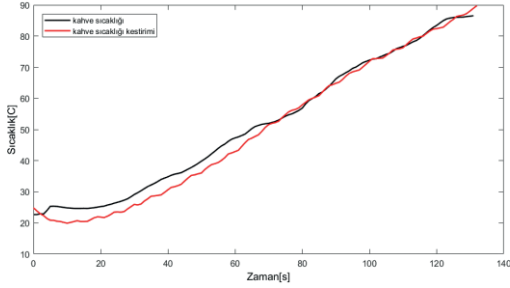
4. Bulgular ve Tartışma

Sistem tanıma yolu ile elde edilen modelin doğrulanması için, deneysel çalışmalar ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmak üzere benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan deneylerde, pişirme işlemi süresince sıcaklık değerleri hem cezvenin içinden hem de cezvenin dışından elde edilmiştir. Ayrıca bu sıcaklık değerlerine karşılık gelen induksiyon bobini akımı değerleri de kaydedilmiştir. Bu veriler, sistem tanıma yöntemi ile sistemin matematiksel modelinin oluşturulması yanı sıra, algılayıcı sistem modelinin doğruluğunun testleri için de kullanılmıştır. Doğrulama testleri için daha önceden kaydedilmiş olan veri setleri MATLAB Simulink ortamında oluşturulmuş ve algılayıcı sistem modelinin benzetimi gerçekleştirilerek karışım sıcaklığı için kestirilen değerler elde edilmiştir.

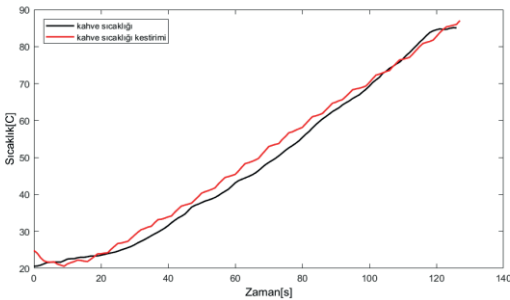
Çalışmada kullanılan Türk kahvesi makinesi 500W gücü cezveye aktaracak şekilde programlanarak sistem modeli elde edilmiştir. Diğer taraftan, oluşturulan algılayıcı sistem modelinin test edilmesi için Türk kahvesi makinesinin cezveye aktardığı güç 480W ve 520W olacak şekilde programlanarak farklı giriş sinyallerinin etkisi de gözlemlenmiştir. Deneylerde 20°C başlangıç sıcaklığına sahip su kullanılmıştır. Kahve ve su karışımı miktarı iki kişilik porsiyon olarak ayarlanmıştır.

Gerçek zamanlı çalışma esnasında elde edilen kahve sıcaklığı kestirimi değerleri cezvenin içinden ölçülmüş olan gerçek kahve sıcaklığı verileri ile kıyaslanmıştır. Ayrıca, algılayıcı sistemin performansı ve hata miktarını ölçmek üzere çalışma süresince her bir zaman örnekleme noktasına denk gelen gerçek kahve sıcaklığı ile kestirilen kahve sıcaklığı değerlerinin farkının mutlak değeri alınmıştır.

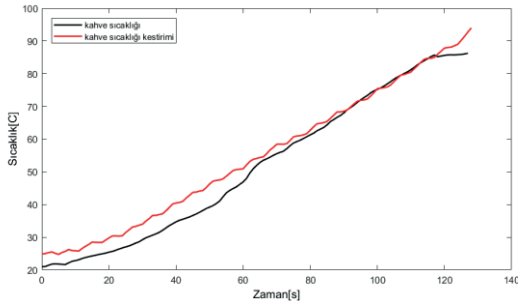
Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8 ile, sırasıyla 480W, 500W ve 520W güç ile yapılan pişirme işlemine ilişkin kahve sıcaklığı kestirimi ve gerçek kahve sıcaklığı değerleri sunulmaktadır.



Şekil 6: 480W güç ile yapılan deney için gerçek kahve sıcaklığı ve kahve sıcaklığı kestirimi değişimleri.



Şekil 7: 500W güç ile yapılan deney için gerçek kahve sıcaklığı ve kahve sıcaklığı kestirimi değişimleri.



Şekil 8: 520W güç ile yapılan deney için gerçek kahve sıcaklığı ve kahve sıcaklığı kestirimi değişimleri.

Sergilenen sonuçlarda görüldüğü üzere, başlangıçta kestirim hatası oldukça fazladır. Sıcaklık arttıkça kestirim değerleri gerçek değerlere yakınsamaktadır. Türk kahvesi kaynama sıcaklığına ulaştığında artık sıcaklığı hemen hemen sabit kalarak kabarma fazına geçmektedir. Ancak ısı transferinden dolayı cezve sıcaklığı yükselmeye devam etmektedir. Farklı giriş güçleri ile elde edilen deney sonuçlarına göre, önerilen gözleyici yapısı ile kahve sıcaklığının özellikle istenilen aralıkta başarı ile gözlenebildiği görülmektedir. Fakat, heterojen sıvının yapısı ve yoğunluğunun değişmesi durumunda ısı iletimindeki zaman gecikmesinin olumsuz etkilerinin ortaya çıkacağı düşünülmektedir.

Tasarlanan sistem modelinin doğrusal olması ve kabarma anında kahve ile cezvenin aynı karakteristiği göstermemesi nedeniyle 85°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda bir miktar kestirim hatası meydana gelmektedir. Fakat kahvenin pişirilmesinin durdurulacağı sıcaklıklarda (85°C-90°C) kestirim hatasının oldukça düşük olduğu gözlenmektedir.

25°C - 90°C ve 70°C - 90°C sıcaklık aralıkları için deney sonuçlarında elde edilen genlik olarak en büyük hata ve ortalama hata değerleri Tablo 1 ve Tablo 2 ile sunulmaktadır. Bu değerler incelendiğinde de oluşan hataların özellikle başlangıçta büyük değerler aldığı, istenilen aralıkta ise çok daha iyi sonuçlar elde edildiği görülebilmektedir. Sonuç olarak, cezve dışına yerleştirilecek sadece bir adet sıcaklık algılayıcısı ile Türk kahvesi pişirme işleminin başarı ile kontrol edilebileceğini göstermektedir. Ayrıca, tüm çalışma aralığı için ortalama hata değeri çalışma aralığına oranlanıp başarı değeri olarak düşünülebilecek %96.63 değeri elde edilmiştir.

Tablo 1: Deney sonuçlarına göre 25°C -90°C aralığında genlik olarak hatanın ortalama ve en büyük değerleri

Güç (W)	Ortalama hata (°C)	En büyük hata (°C)
480	2.23	4.94
500	2.10	6.75
520	3.09	7.47

Tablo 2: Deney sonuçlarına göre 70°C - 90°C aralığında genlik olarak hatanın ortalama ve en büyük değerleri

Güç (W)	Ortalama hata (°C)	En büyük hata (°C)
480	0.73	2.09
500	1.66	5.77
520	1.05	5.39

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, bir Türk kahvesi makinesi için algılayıcı seçimi ve yerleşimi problemi ele alınmış, sistem tanıma ve durum gözleyici ile kahve sıcaklığı kestirilerek kontrol algoritmasında kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında, sıcaklık algılayıcısı yardımıyla pişirici kap içindeki karışımın sıcaklığının temassız bir şekilde durum kestirimi ile tahmin edilebileceği sonucu çıkarılabilmektedir.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçlarına göre, özellikle pişmeye yakın sıcaklıklar için, önerilen yapı ile oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Nominal güç ile yapılan pişirme testlerinde 25°C ve 90°C sıcaklıkları arasında gerçek karışımın sıcaklığı %96.63 başarı oranı ile kestirilmektedir. Ayrıca, geliştirilen algılayıcı sistem modeli, tüm pişirme işlemi süresince karışım sıcaklığını kestirebilmektedir. Böylece kahvenin sadece kabarma anındaki fiziksel değişimini algılayarak pişme kararı veren algılayıcı sistemlerin aksine pişirme işleminin başlangıcından sonuna kadar olan sürecin durumu hakkında bilgi edinilebilmektedir. Dolayısı ile önerilen yöntem daha geniş aralıklarda sıcaklık bilgisi gerektiren uygulamalarda da kullanılabilir.

Gerçekleştirilen pişirme deneylerinde 20°C sıcaklıkta su kullanılmış ve model bu değere göre oluşturulmuştur. Farklı su sıcaklıkları kullanılması durumunda pişme süreleri ısı geçiş karakteristiğinin değişmesine bağlı olarak farklı zaman gecikmelerine neden olacak ve bu da sistem modelinin hatasının artmasına neden olabilecektir. Bu durum, farklı sıcaklıklardaki su için pişirme deneylerinin ve sistem tanıma aşamasının tekrarlanarak, zaman gecikmesini de içerecek şekilde model veya modeller oluşturulmasını gerektirmektedir. Koşullara en uygun olan modelin seçildiği uyarlamalı bir yapı

kullanılarak sıcaklık kestiriminin en az hata ile gerçekleştirilmesi mümkündür. Benzer şekilde karışım miktarındaki kütleli değişimler de karışım ile cezve arasındaki ısı transferinde yaşanan zaman gecikmelerini değiştireceğinden uyarlamalı bir yapı kurulması avantaj sağlayabilecektir. Bu çalışmada başarılı sonuçlar elde edilmiş olsa da, heterojen sıvı pişirme problemi genel olarak ele alındığında sistem modelinde zaman gecikmesi etkisinin de bulunması sonuçları iyileştirecektir.

Önerilen yöntem, pişirici kap üzerine yerleştirilebilecek farklı türlerdeki sıcaklık algılayıcısı kullanımına uygundur. Isıl çiftlerin kablolarının pratik kullanımda yaratacağı olumsuz etkileri, pişirici kap ile pişirici makinenin gövdesi arasında kablosuz bir iletişim sağlayan devre tasarımı ya da gövde üzerine yerleştirilmiş uzaktan sıcaklık ölçebilen optik sıcaklık algılayıcılarının tercih edilmesi ile ortadan kaldırmak mümkündür. Sistem tanıma yöntemi ile oluşturulan algılayıcı sistem modeli, indüksiyon ısıtıcılı pişirici makinelerde pratikliği, ucuz maliyeti ve düşük hata ortalamasıyla sıcaklık kontrolü sağlaması gibi avantajları ile kolayca uygulanabilecek bir yöntemdir.

Kaynakça

- [1] Yılmaz, B.Ş., Acar-Tek, N., & Sözlü, S., Turkish cultural heritage: a cup of coffee, 2017.
- [2] Özgür N., “Türk Kahvesi Standartları ve Pişirme Ekipmanları Teknik Analizi”, Türk Kahvesi Kültürü ve Araştırmaları Derneği, 2012.
- [3] Midoğlu H., Konuk A. ve Esmek K., A Turkish coffee machine and a Turkish coffee brewing method, WO2011002421A2, 2011.
- [4] Atilla E., A Turkish coffee machine, WO2015102553A1, 2015.
- [5] Çalık R., Yüzer O., Başaran U., Dönerkayalı A., Özyurt B. ve Kantaş M., A coffee machine, WO2019192778A1, 2019.
- [6] Paesa, D., Llorente, S., Sagues, C., & Aldana, O.J., Adaptive Observers Applied to Pan Temperature Control of Induction Hobs. IEEE Transactions on Industry Applications, 45, 1116-1125, 2009.
- [7] D'Antona, G., Santacatterina, G., SeifNaraghi, N., & Brindani, F., Water temperature estimation in induction cooker for higher energy efficiency. 2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings, 525-529, 2014.
- [8] Has, U., & Wassilew, D., Temperature control for food in pots on cooking hobs. IEEE Trans. Industrial Electronics, 46, 1030-1034, 1999.
- [9] Paesa, D., Franco, C., Llorente, S., López-Nicolás, G., & Sagues, C., Adaptive Simmering Control for Domestic Induction Cookers. IEEE Transactions on Industry Applications, 47, 2257-2267, 2011.
- [10] Lasobras, J., Alonso, R., Carretero, C., Carretero, E., & Imaz, E., Infrared Sensor-Based Temperature Control for Domestic Induction Cooktops. Sensors, 2009.
- [11] Sweeney, M., Dols, J., Fortenbery, B., & Sharp, F., Induction Cooking Technology Design and Assessment, 2014.
- [12] AN9012 Induction Heating System Topology Review, 2000.
- [13] Labfacility Ltd., Temperature Handbook, 2006.
- [14] Pyromation, Inc., Thermocouple theory, 2009.
- [15] Ljung, L., System Identification Toolbox-User's Guide The MathWorks, 2000.
- [16] Luenberger, D.G., An introduction to observers, 1971.
- [17] Miller, S. J., The method of least squares. Mathematics Department Brown University, 114, 2006.

Arda DÖNERKAYALI



Arda Dönerkayalı, 1992 yılında İstanbul'da doğmuştur. Kadıköy Anadolu Lisesi'nden 2011 yılında mezun olduktan sonra Yıldız Teknik Üniversitesi Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini 2017 yılında tamamlamıştır ve aynı bölümde yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir. 2017 yılından bu yana Arçelik A.Ş. Ar-Ge Direktörlüğü Sensör Teknolojileri bölümünde çalışmaktadır. Algılama teknolojileri, beyaz eşya ve küçük ev aletleri ile bu ürünlerde algılama ve kontrol yöntemleri uzmanlık alanları arasında bulunmaktadır. Ayrıca doğa fotoğrafçılığı, kuş gözlemciliği ve biyoçeşitlilik araştırmaları ilgi alanları olup bu konularda kitap çalışmaları yapmaktadır.

Türker TÜRKER



Türker Türker, 1981 yılında Tekirdağ Saray'da doğmuştur. Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora eğitimlerini sırası ile 2002, 2005 ve 2010 senelerinde Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. Doktora sonrasında 2011-2012 yıllarında bir sene süre ile Ecoledes Mines de Paris Üniversitesi'nde doktora sonrası çalışmalarda bulunmuştur. 2013 yılından bu yana Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümünde Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Kontrol edilen doğrusal olmayan sistemler, elektromekanik sistemlerin kontrolü ve ayrık-zamanlı kontrol sistemleri ilgi alanları arasında yer almaktadır.