

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRK KAHVESİ PİŞİRME SÜRECİNDE ISI YAYILIMI
MODELLEMESİ VE SICAKLIK KESTİRİMİ**

Arda DÖNERKAYALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı
Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

Danışman
Doç. Dr. Türker TÜRKER

Temmuz, 2020

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRK KAHVESİ PİŞİRME SÜRECİNDE ISI YAYILIMI MODELLEMESİ
VE SICAKLIK KESTİRİMİ**

Arda DÖNERKAYALI tarafından hazırlanan tez çalışması 21.07.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Türker TÜRKER
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

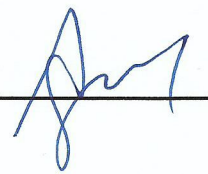
Doç. Dr. Türker TÜRKER, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EREN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ali Fuat ERGENÇ, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi







Danışmanım Doç. Dr. Türker TÜRKER sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Türk Kahvesi Pişirme Sürecinde Isı Yayılımı Modellemesi ve Sıcaklık Kestirimi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Arda DÖNERKAYALI

İmza

*Aileme
ve
sevdiklerime*



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince, bilgi ve tecrübelerini aktaran tüm öğretim üyelerine ve görevlilerine, görüşleri ve yönlendirmeleri ile çalışmalarına desteğini esirgemeyen değerli tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Türker Türker'e teşekkürlerimi sunarım.

Başta Arçelik A.Ş. Merkez Ar-Ge Sensör Yöneticiliği çalışanları olmak üzere beraber çalıştığım Arçelik A.Ş. ailesine sağladıkları imkanlar ve verdikleri desteklerden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak ise eğitim hayatımda ve tüm yaşamımda her türlü desteği sağlayarak yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Arda DÖNERKAYALI

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	6
1.1.1 Akademik Yayın Literatürü	7
1.1.2 Patent Literatürü	13
1.2 Tezin Amacı	19
1.3 Hipotez	21
2 TÜRK KAHVESİ MAKİNELERİNDEKİ ÇALIŞMA PRENSİPLERİ	22
2.1 Türk Kahvesi Makinelerinin Genel Yapısı, Pişirici ve Algılayıcı Sistemleri	22
2.2 Türk Kahvesi Makinelerinde Yeni Bir Pişirme Yöntemi İndüksiyon Teknolojisi	24
3 ALGILAYICI SİSTEM TASARIMI	29
3.1 Sıcaklık Ölçümü	29
3.2 Algılayıcı Sistemin Tasarımı ve Deney Düzenegi	32
3.3 Sıcaklık Algılayıcıları ile Gerçekleştirilen Ön Deneylerin Sonuçları . . .	34
4 SİSTEM TANIMA TANIMA İLE MODELLEME	37
5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	45
6 SONUÇ VE ÖNERİLER	55

KAYNAKÇA

57

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

61



SİMGE LİSTESİ

K	Kelvin
kHz	kiloHertz
μV	MikroVolt
$^{\circ}C$	Santigrat Derece
W	Watt
%	Yüzde İşareti

KISALTMA LİSTESİ

BJT	Bipolar jonksiyon transistörü
MMReO	Çoklu model sıfırlama gözleyicisi
RTD	Direnç sıcaklık dedektörleri
PD	Foto diyot
TC	Isıl çift
IGBT	İzole kapılı bipolar transistör
IR	Kızılötesi
MOSFET	Metal-oksit-yarı iletken alan etkili transistör
PID	Oransal-integral-türevsel
RMSE	Ortalama hata kareleri kökü
PRT	Platin direnç termometreleri
QFT	Sayısal geri besleme teorisi
PTC	Sıcaklıkla direnci artan termistör
NTC	Sıcaklıkla direnci azalan termistör

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Kahve çekirdekleri [3]	3
Şekil 1.2	Cezvede pişirilen geleneksel Türk kahvesi [6]	4
Şekil 1.3	Fincanda sunulmuş geleneksel Türk kahvesi [3]	5
Şekil 1.4	David Paesa ve arkadaşlarının çalışmasındaki tencere sıcaklığını kontrol eden sistemin yapısı [21]	8
Şekil 1.5	Uwe Has ve Dimitar Wassilew'in önerdiği kızılötesi sıcaklık ölçümü ve kontrolü yapan sistem [22]	9
Şekil 1.6	1-Pişirme kabı. 2-Seramik cam. 3-İndüksiyon bobini. 4-Dahili NTC algılayıcısı. 5-Harici kızılötesi algılayıcı [23].	9
Şekil 1.7	Javier Lasobras ve arkadaşlarının tencere sıcaklığını kızılötesi sıcaklık algılayıcısı kullanarak kontrol ettikleri indüksiyonlu ocak düzeneği [25]	12
Şekil 1.8	Carlos Franco ve arkadaşları tarafından önerilen indüktif algılayıcı ile tencere sıcaklığının ölçüldüğü düzenek [26]	13
Şekil 1.9	WO2006070334 (A1) patentinde pişirici bir cihaz için geliştirilen kaynama ve taşma algılama sisteminin şematik görünümü [27] . . .	13
Şekil 1.10	WO2019192778 (A1) patentinde kahve makinesi için geliştirilen yakınlık algılayıcısı ile kahvenin kabarmasını algılayan sistemin şematik görünümü [28]	14
Şekil 1.11	WO20111002421 (A2) patentinde kahve makinesinde kahve sıcaklığının doğrudan temas ile sıcaklık algılayıcısı kullanılarak ölçülen sistemin şematik görünümü [29]	15
Şekil 1.12	WO2015102553 (A1) patentinde kahve makinesi için geliştirilen kahvenin piştiğini buhar sıcaklığı ile algılayan sistemin şematik görünümü [30]	16
Şekil 1.13	WO2019088956 (A2) patentinde kahve makinesinde kahvenin piştiğini basınç algılayıcısı ile algılayan sistemin şematik görünümü [31]	17
Şekil 1.14	WO2019093988 (A2) patentinde kahve makinesi için geliştirilen kahvenin piştiğini mikrofona ile algılayan sistemin şematik görünümü [32]	18

Şekil 1.15	WO2019038172 (A1) patentinde pişirme kabı içindeki kahve, süt ya da benzer bir karışımın sıcaklığını kızılötesi yöntemle algılayan sistemin şematik görünümü [33]	19
Şekil 2.1	Arçelik Anonim Şirketi tarafından geliştirilen ilk tam otomatik Türk kahvesi makinesi “Telve”	23
Şekil 2.2	Arçelik Anonim Şirketi tarafından geliştirilen indüksiyon ısıtıcılı tam otomatik Türk kahvesi makinesi	24
Şekil 2.3	Alternatif akım uygulanan bobinin etrafında oluşan manyetik alan [34]	26
Şekil 2.4	İndüksiyon ısıtıcılı ocak topolojisi [34]	27
Şekil 2.5	İndüksiyon ısıtıcı sstemde bobin, seramik cam ve pişirme kabı [35]	27
Şekil 3.1	RTD, NTC ve PTC algılayıcıların 0°C-80°C sıcaklık aralığında dirençlerinin değişimi [42]	31
Şekil 3.2	Isıl çift devresi şematiği [43]	31
Şekil 3.3	Deney düzeneği ve sıcaklık algılayıcılarının yerleşimi	33
Şekil 3.4	Veri toplama sisteminin şematik gösterimi	34
Şekil 3.5	Deney düzeneğine yerleştirilen algılayıcılardan elde edilen veriler	35
Şekil 4.1	Açık çevrim kontrol sistemi	37
Şekil 4.2	Kapalı çevrim kontrol sistemi	38
Şekil 4.3	Deney düzeneği	39
Şekil 4.4	Fiziksel sistemin blok diyagramı	40
Şekil 4.5	Önerilen modelin blok diyagramı	40
Şekil 4.6	Kahve sıcaklığı kestirimi için gözleyici modeli	43
Şekil 5.1	500W güç ve TC6 ile yapılan pişirme deneylerine ait sonuç grafikleri	48
Şekil 5.2	500W güç ve TC6 ile yapılan pişirme deneylerine ait sonuç grafikleri devamı	49
Şekil 5.3	500W güç ve TC7 ile yapılan pişirme deneylerine ait sonuç grafikleri	50
Şekil 5.4	500W güç ve TC7 ile yapılan pişirme deneylerine ait sonuç grafikleri devamı	51
Şekil 5.5	500W güç ve TC6 ile yapılan pişirme deneylerine ait sonuçların ortalamasını gösteren grafikler	52
Şekil 5.6	500W güç ve TC7 ile yapılan pişirme deneylerine ait sonuçların ortalamasını gösteren grafikler	53
Şekil 5.7	480W ve 520W güç ile TC6 ve TC7 kullanılarak yapılan pişirme deneylerine ait sonuç grafikleri	54

TABLO LİSTESİ

Tablo 5.1 25°C-90°C aralığında ortalama ve en fazla sıcaklık kestirim hatası . 46

Tablo 5.2 70°C-90°C aralığında ortalama ve en fazla sıcaklık kestirim hatası . 46



Türk Kahvesi Pişirme Sürecinde Isı Yayılımı Modellemesi ve Sıcaklık Kestirimi

Arda DÖNERKAYALI

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Türker TÜRKER

Son yıllarda teknolojiye gelişmelerle heterojen yiyecek karışımlarını otomatik olarak pişirebilen makineler ortaya çıkmıştır. Ülkemizde günlük yaşamın ve kültürün bir parçası haline gelen Türk kahvesini otomatik olarak pişirebilen makineler piyasada önemli bir yer sahibidir. Bu ürünlerin başarılı olabilmesi için en etkili parametre pişirme işleminin doğru bir sıcaklıkta ve doğru bir zamanlama ile sonlandırılması sağlanarak Türk kahvesinin geleneksel yöntemlere uygun kalitede sunulmasıdır. Bundan dolayı ürünlerde kullanılan algılayıcı sistemler kritik bir öneme sahip olmaktadır.

Piyasadaki Türk kahvesi makinelerinde çeşitli algılayıcı sistemler kullanılmakta olup bu sistemler pişirme işlemi sırasında meydana gelen fiziksel etkilere maruz kaldığında hatalı kararlar verebilmektedir. Çeşitli yöntemler arasında en etkilisinin kahve sıcaklığının doğrudan temas ile ölçülmesi ve pişirme durumunun kontrol edilmesi gibi görünse de bu yöntem yerine sunduğu kalite, güvenlik ve kolay temizlenebilme gibi avantajlardan dolayı temassız ölçüm yöntemleri tercih edilmektedir.

Bu çalışmada piyasadaki mevcut kahve makinelerinde görülmekte olan problemlere çözüm olması amaçlanan temassız bir sıcaklık kestirimi ve pişirme kontrolü yöntemi sunulmaktadır. Verimli indüksiyon ısıtma teknolojisinin ev tipi ısıtıcı cihazlarda kullanılmaya başlanmasıyla yeni Türk kahvesi makinelerinde de bu teknolojiye faydalanılmaya başlanmıştır. Bu doğrultuda, çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalar piyasada bulunan bir indüksiyonlu Türk kahvesi makinesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. MATLAB Sistem Tanıma Aracı ile indüksiyon bobini

akımı, kahve sıcaklığı ve pişirme kabının dış yüzeyi sıcaklığı arasındaki dinamik ilişkiye dayalı model oluşturulmuştur. Oluşturulan model kullanılarak geliştirilen durum gözleyici yapı sayesinde pişirme kabının dışına yerleştirilen bir sıcaklık algılayıcısı yardımıyla kap içindeki Türk kahvesi karışımının sıcaklığı temassız olarak kestirilmiştir. Tasarlanan algılayıcı model ile mevcut Türk kahvesi makinelerinde yaşanan problemlerin önüne geçilmesi amaçlanmış, aynı zamanda benzer heterojen sıvıların ısıtılması işlemini gerçekleştiren ürünlerde de alternatif bir sıcaklık kestirim ve kontrol yöntemi olarak önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıcaklık kestirimi, pişirme kontrolü, modele dayalı durum gözleyici, sistem tanıma



Modeling of Heat Dissipation and Temperature Estimation in Turkish Coffee Cooking Process

Arda DÖNERKAYALI

Department of Control and Automation Engineering
Master of Science Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Türker TÜRKER

Home appliances that can automatically cook heterogeneous food mixtures have been developed by the technological improvement arising for last few decades. Machines that can automatically cook Turkish coffee which has become a part of daily life and culture in our country, have an important place in the market. In order for these products to be successful, the most effective parameter is to finish the cooking process at the right temperature and with the right timing, and to serve Turkish coffee in a quality suitable to the traditional methods. Therefore, the sensing systems used in the products have a critical role.

Various sensing systems are used in Turkish coffee machines on the market, and these systems can make wrong decisions under the physical effects occurring during the cooking process. Although it seems like the most effective method is to measure the temperature of the coffee by direct contact and check the cooking status, non-contact measurement methods are preferred due to the advantages such as quality, safety and easy cleaning.

A contactless temperature estimation and cooking control method which is intended to be a solution to the problems that are seen in the existing coffee machines on the market is presented in this study. With the introduction of efficient induction heating technology in home appliances, this technology has also begun to be used in new Turkish coffee machines. Accordingly, experimental studies carried out within the scope of the study were carried out on an induction Turkish coffee machine available in the market. With the MATLAB System Identification Tool, a model based

on the dynamic relationship between induction coil current, coffee temperature and the outer surface temperature of the cooking chamber is created. With the help of the observer structure developed using this model and a temperature sensor placed outside the cooking chamber, the temperature of the Turkish coffee mixture in the cooking chamber is estimated without contact. With the designed sensing model, it is aimed to prevent the problems experienced in the existing Turkish coffee machines and it is proposed as an alternative temperature prediction and control method in products that perform the heating process of similar heterogeneous liquids.

Keywords: Temperature estimation, cooking control, model-based observer, system identification



1 GİRİŞ

Beslenme, hayatı devam ettirebilmek için gerekli olan temel bir ihtiyaçtır. İnsanlar binlerce yıllık geçmişinde çeşitli gıdaları farklı şekillerde hazırlama ve tüketme alışkanlıkları kazanmıştır. İnsanların kendilerine yiyecek ve içecek hazırlama süreci, yaşamlarından zaman ayırmaları gereken bir uğraş olmaktadır.

Günlük yaşantıdaki iş programı, spor aktiviteleri, çocuk bakımı, sağlık işleri gibi birçok unsur insanların yiyecek ve içeceklerini hazırlamaları için gereken zamanın önüne geçmektedir. Bu noktada insanların desteği olmadan yiyecekleri ve içecekleri otomatik olarak hazırlayacak cihazların olması hayatı daha kolay hale getirmektedir. Otomatik gıda hazırlayıcı ürünler zamandan kazanç, insan gücüne olan bağımlılığın azaltılması, gıda standardizasyonunun sağlanması ve fiziksel ya da zihinsel sağlık problemleri olan kişiler ile yaşlıların güvenliğinin sağlanması gibi birçok avantaj sunmaktadır [1].

Gıda alanında son yıllarda teknolojinin ilerlemesiyle çeşitli otomatik pişirici makineler üretilmeye başlanmıştır. Bu makinelere bir örnek olarak heterojen özellikteki su ile kahve karışımını otomatik olarak pişirerek kullanıcıya sunabilen Türk kahvesi makinesi gösterilebilmektedir.

Birden fazla gaz, sıvı ya da katı maddenin kimyasal özellikleri değişmeyecek şekilde bir araya gelmesiyle oluşan madde topluluğuna karışım denilmektedir. Karışımlar homojen ve heterojen olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Her tarafında aynı özelliği gösteren ve tek bir madde gibi görünen maddelere homojen karışımlar denilmektedir. Karışımı oluşturan maddeler insan gözü veya optik aletlerle görülememektedir. Tuzlu su, şekerli su, alkollü su ve çeşme suyu gibi örnekler homojen karışımlardır. Her tarafında aynı özellikleri göstermeyen ve içindeki taneciklerin insan gözü ya da mikroskopla görülebildiği maddelere ise heterojen karışımlar denilmektedir. Kaya parçaları, odun parçaları, toprak, sis, ayran ve petrol ile su karışımı gibi örnekler heterojen karışımlardır. Süt göz ile homojen karışım gibi gözükse de mikroskopla incelendiğinde içeriğindeki yağ damlacıklarından dolayı heterojen olduğu anlaşılabilmektedir. Kahve ve su karışımı da süt örneği gibi heterojen bir

karışımdır. Karışımı oluşturan maddelerin aralarında sabit bir oran bulunmamaktadır. Bu nedenle erime ve kaynama noktaları maddelerin oranına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [2].

Heterojen bir gıda karışımı olan kahve, bugüne kadar günlük hayatımızın bir parçası ve sosyal yaşamı canlı tutan bir içecek olmuştur. Her ne kadar kahve farklı kültürlerde farklı şekilde hazırlanıp ve servis edilse de ortak bir özellik olarak insanlar arasındaki bağları ve dostluğu güçlendiren kültürel bir sembol haline gelmiştir.

Kahvenin tarihçesi 14. yüzyıla dayanmaktadır. Aslen Afrika'da yetişen kahve bitkisinin tohumları Yemen'e ve daha sonra Orta Çağ'ın sonuna doğru Mekke ve Medine'ye yayılmıştır. Hac ibadeti sırasında Mekke ve Medine'ye gelen Müslümanların kahveyi memleketlerine götürmesiyle Kahire, Şam, Halep ve İstanbul gibi şehirlere ulaşmıştır [3].

16. yüzyılda kahvenin İstanbul'a ulaşmasıyla Osmanlı sarayı da kahve ile tanışmıştır. Böylece İstanbul kahve kültürünün önemli bir merkezi haline gelmiştir ve hem sarayda hem de halk arasında kahve içme alışkanlığı yayılmıştır. Kanuni Sultan Süleyman döneminde kahvehanelerin açılmasıyla günlük hayatta sosyal aktiviteler artmıştır. Kahvehaneler Türk kahvesi içilmesinin yanı sıra bir gölge oyunu olan Karagöz ve Hacivat gibi sanatsal faaliyetlerin gerçekleştiği ve insanların birbirleriyle sohbet ettiği sosyal alanlar haline gelmiştir [3-5].

Kahve İstanbul'da Arap Yarımadası'ndaki uygulamasından farklılaşarak kavrulma, pişirilme ve sunulma yöntemleriyle bugünkü Türk kahvesine dönüşmüştür. Batı ülkelerde tüketilen filtre kahvelerin aksine son derece ince öğütülmüş olan Türk kahvesi, kahvenin suda yavaş yavaş kaynatılmasıyla hazırlanmaktadır [3, 6, 7].

Türk kahvesi 1615'te Venedik'te, 1644'te Marsilya'da, 1654'te Londra'da, 1669'da Paris'te, 1683'te de Viyana'da tanınmıştır. 18. Yüzyılda ise Batı Hint Adaları, Güney Amerika ve Asya'ya ulaşmıştır. 17. yüzyılda Avrupa genelinde, 18. yüzyılda ise dünya genelinde tanınan kahve 19. yüzyılda oldukça önemli bir ticari ürün haline gelmiştir. Kahve, benzinden sonra dünyadaki en büyük ikinci ticaret hacmine sahip üründür [8, 9].

70 kadar türü olan Rubiaceae familyasına mensup kahve ağacı genellikle yüksek yağış miktarına sahip ve donma olmayan tropik bölgelerde yetişmektedir [8]. Bir kahve ağacı 8-10 metreye kadar büyüebilmekte ancak üretim için 2-3 metreye kadar büyütülmektedir. 30-40 yıl arasında ömürleri olan kahve ağaçları, ekildikten 3-4 yıl sonra meyve vermeye başlamakta ve 8-10 ay sonra meyveleri olgunlaşmaktadır [3, 10]. Kahve meyvesinin kavrulmuş çekirdekleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Kahve çekirdekleri [3]

Ticari olarak, en yaygın kullanılanlar *Coffea arabica* ve *Coffea robusta* türleridir. Bir kilogram kavrulmuş kahve elde edilebilmesi için yaklaşık sekiz bin tohuma ihtiyaç duyulmaktadır. *Coffea arabica*, en yoğun lezzeti ve aromayı sunmasından dolayı yetiştirilmesi daha zor olduğu halde dünyadaki kahve üretiminin %75'ini oluşturmaktadır. *Coffea robusta* ise standart kalitede kahve üretimi için kullanılmaktadır. Çeşitli yükseklik ve iklim gibi koşullara daha dayanıklı olan *Coffea robusta* ucuzluğu ve yüksek verimliliği nedeniyle genellikle hazır kahve için kullanılmaktadır. Ayrıca *Coffea arabica* türünden iki kat kadar daha fazla kafein içermektedir. [10, 11].

Kahvenin 60'tan fazla ülkede üretimi yapılmaktadır. Uluslararası Kahve Örgütü'nün verilerine göre yıllık 10 milyon ton civarında kahve üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu üretim miktarının yarısından fazlasını Brezilya, Vietnam ve Kolombiya karşılamaktadır. Kahve tüketimi açısından da Avrupa ülkeleri ilk sıralardadır [9, 12]. Uluslararası Kahve Organizasyonu 2012 verilerine göre, Türkiye'de kişi başına yıllık kahve tüketimi 1997 yılında 200 gram olup 2011 yılında 500 grama ulaşmıştır. 1997 ile 2011 arasında ortalama kahve tüketimi kişi başına 400 gram olarak ölçülmüştür [13]. Yine Uluslararası Kahve Organizasyonu'nun verilerine göre günümüzde Türkiye'deki kahve tüketimi ise kişi başına 1 kilografa yaklaşmıştır [12].

Kahve çekirdekleri kavurma, öğütme ve demleme işlemlerinden geçerek içilmeye hazır hale gelmektedir. Orta şiddette kavrulan Türk kahvesi demleme işleminin farklı olması ile diğer kahvelerden ayrılmaktadır. %70-75'inin boyutu 75 ile 125 mikron arasında olacak şekilde öğütülen *Coffea arabica* türü kahve çekirdeği parçacıkları kişi başı 7 gram kadar cezve adı verilen bakır pişirme kabı içine konularak su ile karıştırılmaktadır [3, 6]. Şekil 1.2'de geleneksel yöntem ile köz üzerinde bir cezvede pişirilen Türk kahvesi görülmektedir.

Kahvede 1500'den fazla tat ve aroma sağlayan kimyasal bileşik bulunmaktadır.



Şekil 1.2 Cezvede pişirilen geleneksel Türk kahvesi [6]

Bunlardan yaklaşık %30 kadarı suda çözünebilir özellik göstermektedir. Geri kalan bileşenleri ise su içerisinde homojen olarak çözünmemektedir. Bu çözünmeyen bileşikler su içinde küçük damlacıklar halinde dağılarak bir emülsiyon oluşturmaktadır [11, 14]. Geleneksel Türk kahvesinin hazırlanışında da kahve ve su karıştırılarak heterojen bir karışım meydana getirilmektedir.

Oluşan kahve ve su heterojen karışımı iki kişilik kahve için en fazla 3 dakika demlenme süresi sağlayacak bir ısı kaynağı ile pişirilmektedir. Cezvenin bakır sac kalınlığına bağlı olarak ısı transferi süresi değişmektedir. Demlenme sonunda kaynama noktasına yaklaşılarak yavaşça kabaran kahve fokurdatılmadan ve 80-95°C arasındaki bir sıcaklıktayken pişirme işlemi sonlandırılmaktadır. Demlenmiş kahve Şekil 1.3'teki gibi fincanlara aktarılarak servis edilmektedir [3, 6, 11].

Kahve içme alışkanlığı ve kültürü ülkemizde geçmişten bu yana hala var olan bir gelenektir. Türk kahvesi, sadece bir içecek olarak değil, aynı zamanda sosyal ilişkileri şekillendiren, hazırlanışında ve sunulmasında belirli geleneksel uygulamaları olan bir sembol haline gelmiştir [15]. Kültürümüzde önemli bir yeri olan misafirin en iyi şekilde ağırlanması ve ikramda bulunulması kahve ikramını da önemli bir statüye taşımıştır. Hatta insanların günlük yaşantısında birisini ziyaret etmek yerine



Şekil 1.3 Fincanda sunulmuş geleneksel Türk kahvesi [3]

kahve içmeye gitmek deyimini kullanması Türk kahvesinin kültüre ve dile ne kadar işlediğinin bir göstergesi olmaktadır. Anadolu kültüründe evlilik öncesi ailelerin iznini almak için kız ailesinin evine yapılan ziyarette resmi bir kahve ikramının gerçekleşmesi başka bir örnek olarak verilebilmektedir [16]. “Bir fincan kahvenin kırk yıl hatırı vardır” atasözünde kahve kavramı sembolik bir anlam yüklenmiştir.

Kahve içme alışkanlığının, günlük yaşamın ve kültürün bir parçası haline gelmesiyle Türk kahvesini hazırlama, pişirme ve sunulma işlemlerine yönelik olarak yeni ürünler ortaya çıkmıştır. Teknolojinin ilerlemesiyle Türk kahvesini geleneksel yöntemlere uygun olacak şekilde hazırlayabilen otomatik pişirici makineler geliştirilmiştir.

Gıda ürünlerinin çoğu pişirilerek tüketilmektedir. Her gıda türünün kendine özgü bir pişirme metodu, sıcaklığı ve süresi vardır. Pişirmenin, gıdanın kimyasal özelliklerinde önemli değişikliklere neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle otomatik pişirici cihazlarda pişirme işleminin yonteme uygun bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Pişirme işlemi sırasında takip edilmesi gereken pişirme sıcaklığı ve pişirme süresi sınırlarının altında kalınması durumunda çiğ kalma durumu ile karşılaşmaktadır. Pişirme sıcaklığı ve süresi sınırlarının üstüne çıkılması durumunda ise gıdanın kimyasal özelliklerinin bozulmasına bağlı olarak besin değerlerini kaybetme, yanma ve hatta sağlığa zararlı olabilecek bir besin elde etme durumu ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, yiyeceklerin fiziksel özellikleri de ısıl işlemlerden büyük ölçüde etkilenir. Yiyeceklerde anormal doku bozuklukları ve renk değişimleri meydana gelmesi pişirme kalitesinin iyi olmadığı algısını oluşturmakta ve tüketici alımlarını olumsuz yönde etkilemektedir [17].

Kahve pişirme sürecinde de pişirme süresi ve pişirme sıcaklığı kahvenin lezzetini ve köpüğünü etkileyen parametrelerdir. Isı, kahve kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Genellikle pişirme sıcaklığı arttıkça, çözünme hızının artışı ile kahveye

tat ve aroma veren bileşenlerin karışıma geçişi artmaktadır. Ancak fazla yüksek ısı uygulandığında bileşikler parçalanarak termal bozunma gerçekleşmektedir [18]. Türk kahvesi ele alındığında ise, az pişmiş kahveler çığ ve sulu bir tada sahipken fazla pişmiş kahveler ise yanık, acı ve köpüksüz olmaktadır [3, 19, 20]. İki kişilik Türk kahvesi en fazla 3 dakika pişirilmeli ve yavaşça kabardığı sırada 80°C-95°C arasındaki bir sıcaklıktayken pişirme işlemi sonlandırılmalıdır [3, 6].

Piyasada önemli bir yere sahip olan otomatik pişirici cihazların başarısında en etkili olan parametre, pişirme işleminin doğru zamanda sonlandırılması ve böylece ideal tat ve kıvamın yakalanabilmesidir. Bu nedenle pişirme işleminin kontrolünü sağlayan algılayıcı sistemler kritik bir öneme sahip olmaktadır. Bu algılayıcı sistemler; buhar, sıcaklık ve algılayıcı üzerinde meydana gelen yoğunlaşma gibi çevresel bozucu etkilere maruz kaldığında hatalı kararlar verebilmekte ve performansın sürdürülebilir olmasında problemler yaşanmaktadır. Bu noktada, gıda ürünlerinin pişirilmesinde kritik bir rol oynayan sıcaklığın pişirme işlemi boyunca ölçülmesi ve kontrol edilmesi Türk kahvesi makinesi gibi otomatik pişirici cihazlarda çözülmesi gereken bir problem haline gelmektedir.

1.1 Literatür Özeti

Türk kahvesini tam otomatik olarak pişirebilen makineler ilk olarak 2004 yılında üretilmeye başlamıştır. Son zamanlarda ise çok yaygın bir şekilde kullanılan bir küçük ev aleti olmuştur. Türk kahvesi makineleri gibi tüm otomatik pişirici cihazlarda ısıtma işlemini gerçekleştiren yapı ve bunu kontrol ederek pişirme işlemini otomatik olarak sonlandırmayı sağlayan algılayıcı yapı en temel sistemlerdir. İndüksiyon ısıtma yapabilen ocakların gelişmesiyle Türk kahve makinelerinde de indüksiyon ısıtma yöntemiyle kahve pişirebilen ürünler yaygınlaşmıştır.

İndüksiyon ısıtıcıların kullanımının yaygınlaşması ile bu konuda yapılan akademik çalışmalar da artmıştır. Yapılan akademik çalışmalar genel olarak enerji verimliliğini arttırmak ve pişirme kabı içindeki karışımın sıcaklığını algılamak üzerinedir. Bu çalışmada, pişirme kabının dışına yerleştirilen sıcaklık algılayıcısı yardımıyla karışımın sıcaklığını doğrudan temas etmeyecek bir şekilde kestirebilen bir algılayıcı sistem modeli sunulmuştur. Literatür araştırması pişirici cihazlarda sıcaklık ölçümü, sıcaklık kestirimi, sıcaklık kontrolü, otomatik pişirme ve Türk kahvesi makinelerinde pişirme algılama yöntemleri kapsamında gerçekleştirilmiş algılayıcı sistem çalışmaları üzerine yapılmıştır.

Bu çalışmada literatür özeti akademik yayınları ve patent çalışmalarını içerecek şekilde iki ayrı bölüm olarak sunulmuştur.

1.1.1 Akademik Yayın Literatürü

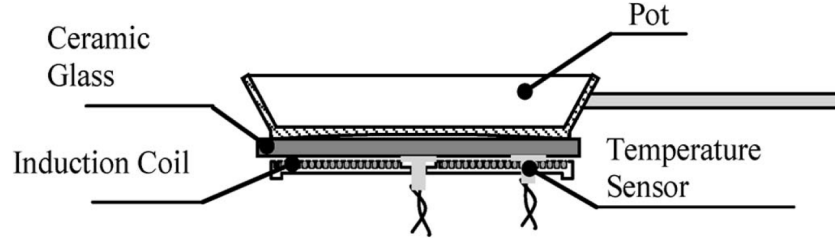
David Paesa ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada induksiyon ocaklarında tencere sıcaklık kontrolünü sağlayan bir yöntem sunulmuştur [21]. Bu çalışmanın amacı, kullanıcının ocağı kullanırken güç yerine pişirme sıcaklığı ayarı yapabilmesini sağlamaktır. Ev tipi induksiyon ocaklarında bulunan invertör topolojisi, bir induksiyon bobinine yüksek frekanslı akım sağlamak ve alternatif bir manyetik alan üretmektedir. Bu alana ferromanyetik malzemeden üretilmiş bir tencere getirildiğinde girdap akımları ve manyetik histerezis ile tencere ısıtılmaktadır.

Bu ocaklarda invertör tarafından manyetik alan uygulandığı sürece tencere ısınmaya devam edeceğinden dolayı bir sıcaklık kontrolü yoktur. Tencere sıcaklığının kontrol edilebilmesi yemeklerin doğru ve sağlıklı bir şekilde pişirilmesini sağlamaktadır. Fazla yüksek sıcaklıklarda pişirme işlemi yiyecekleri yakmakta ve yetersiz sıcaklıklarda pişirme işlemi de süreyi gereksiz olarak uzatmakta ya da iyi pişmemiş bir yiyeceğe neden olmaktadır. Bu nedenle tencere sıcaklığının doğru bir şekilde kontrol edilebilmesi önem kazanmaktadır.

Çalışma kapsamında induksiyon bobininden tencereye ve tencereden termal algılayıcıya gerçekleşen ısı iletimi bir durum-uzay modeli kullanılarak modellenmiştir. İndüksiyonla ısıtma, termal ve manyetik tencere özelliklerine büyük ölçüde bağlı olduğundan, iki farklı uyarlamalı kontrol yapısı önerilmiş ve karşılaştırılmıştır. Her ikisi de uygun bir kapalı döngü davranışını garanti etmekte olup farklı tencereler için sıcaklığa uyum sağlayan gözleyici yapısına sahiptir. Bunlardan birincisi, parametreleri uygun bir davranış sağlamak için ayarlanan geleneksel uyarlamalı gözleyicidir, ikincisi ise gerçek sisteme göre en iyi yaklaşımın seçilebildiği birden fazla modeli içeren uyarlamalı gözleyici yapısıdır.

Sistem sıcaklıkları ile bobinin sağladığı güç arasındaki ilişkiyi ifade etmek için durum-uzay modeli kullanılmaktadır. Pişirme işlemi için tencereye sağlanan güç, kullanılan invertör topolojisinden hesaplanabilmektedir. Tencere sıcaklığı, kullanılan tencere cinsinden ve yiyecek miktarından bağımsız olarak uyarlanabilir bir gözleyici veya birden fazla modele dayanan bir uyarlanabilir gözleyici ile seramik camın altına yerleştirilmiş bir sıcaklıkla direnci azalan termistör (NTC) algılayıcısının ölçümleri ile kestirilmektedir. Şekil 1.4 ile tencere, tencerenin yerleştirildiği seramik cam, induksiyon bobini ve sıcaklık algılayıcısının yerleştirildiği bölge gösterilmektedir.

Çalışmada önerilen her iki gözleyici modeli de uyarlanabilir bir gözleyici olmayan geleneksel oransal-integral-türevsel denetleyici (PID) kontrol yapısı ile karşılaştırılmıştır. PID yapısı kullanılarak elde edilen düşük performans, uyarlanabilir bir gözleyici stratejisinin kullanılmasının avantajlarını göstermiştir. Her iki



Şekil 1.4 David Paesa ve arkadaşlarının çalışmasındaki tencere sıcaklığını kontrol eden sistemin yapısı [21]

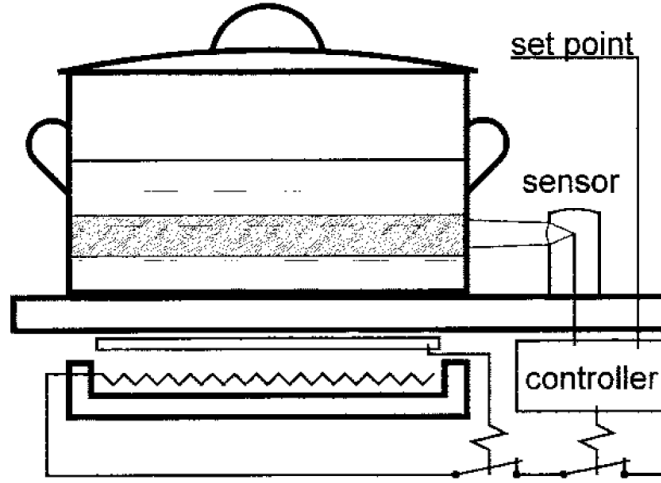
önerilen uyarlamalı kontrol yapısı pişirme sıcaklığının kontrol edilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak birden fazla model kullanan uyarlamalı kontrol yapısı, kullanılan pişirme kabının beklenenden farklı termal özelliklere sahip olduğu durumlarda geleneksel uyarlamalı gözleyici kullanmaktan daha iyi bir sonuç vermiştir.

Bu çalışmada uygulanan yöntemde tencere sıcaklığı doğrudan ölçülmediği için, seramik camın altında bulunan bir NTC algılayıcısının ölçümlerinden kestirilmesi gerekmekte olup, kestirim büyük ölçüde pişirme yüküne karşı duyarlı olmaktadır. Model, kaynatma ve derin kızartma gibi yüksek yüklü pişirme işlemlerinde beklenen sonucu vermemektedir.

Uwe Has ve Dimitar Wassilew yaptıkları bir çalışmada tencere içindeki yiyeceklerin sıcaklığını kontrol edebilmek için bir kontrol sistemi önermişlerdir [22]. Daha önceki bilinen yöntemlerde tencere tabanının sıcaklığı termostat ile algılanarak ısıtıcı gücü açılıp kapatılmaktadır. Bu şekilde çalışan bir sistemde tencere içindeki yiyeceğin sıcaklığı istenen farklı sıcaklıklarda kontrol edilememektedir. Bu probleme çözüm olarak önerilen yöntemde ise tencerenin yaydığı radyasyon kızılötesi (IR) bir sıcaklık algılayıcısı olan termopil ile algılanarak tencere sıcaklığı kontrol edilmektedir.

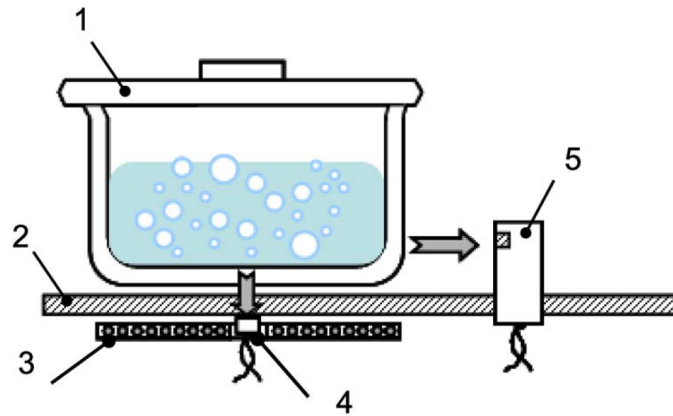
Isınan tencere yüzeyinin yaydığı kızılötesi radyasyon tencerenin yan tarafına yerleştirilmiş olan bir termopilin alıcısı tarafından karşılanmaktadır. Termopilin yapısındaki silikon zar kızılötesi radyasyon ile ısınmaktadır. Bu zar ısı çift sıcaklık algılayıcıları ile ölçülerek tencerenin sıcaklığına temassız olarak ulaşılmaktadır. Çalışma kapsamında oluşturulan deney sisteminin görseli Şekil 1.5 ile sunulmuştur.

Kontrol sisteminin girişi kızılötesi sıcaklık algılayıcı ile ölçülen tencere sıcaklığı, çıkışı ise tencere içindeki gıdanın sıcaklığı olacak şekilde bir tencere modeli oluşturulmuştur. Kontrol sistemi ile hedef sıcaklığa en kısa sürede ulaşmak ve gıdayı o sıcaklıkta en az hata ile sabit tutarak pişirmek hedeflenmiştir. Önerilen bu sıcaklık kontrol sistemi ile 95°C hedef sıcaklığa sahip pişirme testlerinde, hedef sıcaklık noktası civarında 1.5°C doğruluk sağlanarak yöntemin otomatik pişirme işlemine uygunluğu gösterilmiştir.



Şekil 1.5 Uwe Has ve Dimitar Wassilew'in önerdiği kızılötesi sıcaklık ölçümü ve kontrolü yapan sistem [22]

David Paesa ve arkadaşları, daha önceki çalışmalarında geliştirdikleri ısıtıcı camı altına NTC yerleştirilen modelin kaynatma ve derin kızartma gibi yüksek yüklü pişirme işlemlerinde düzgün çalışmaması üzerine kızılötesi (IR) sıcaklık ölçümüne dayanan başka bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [23]. Bu çalışmada seramik camın altındaki NTC algılayıcısı yerine Uwe Has ve Dimitar Wassilew'in çalışmasında olduğu gibi doğrudan pişirme kabının duvar sıcaklığını ölçecek şekilde harici kızılötesi algılayıcı kullanmışlardır. Çalışma kapsamında oluşturulan deney sisteminin şematiği Şekil 1.6 ile sunulmuştur.



Şekil 1.6 1-Pişirme kabı. 2-Seramik cam. 3-İndüksiyon bobini. 4-Dahili NTC algılayıcısı. 5-Harici kızılötesi algılayıcı [23]

Bu çalışmada enerji verimliliği ile birlikte kısık ateşte pişirme gibi daha karmaşık pişirme işlemleri için ev tipi indüksiyon ocaklarda uyarlamalı sıcaklık kontrolü yöntemi sunulmuştur. Kısık ateşte pişirme işleminde, yiyecekler 88°C-94°C arasındaki bir sıcaklıkta kaynayan suya batırılmaktadır. Bu işlem sırasında sıcaklığı kontrol etmenin

yiyeceklerin lezzeti üzerinde büyük bir etkisi olduğu görülmektedir. Çalışmada birden çok deneysel test yerine sistemin analitik bir modeline dayanmakta olan parametreleri çevrimiçi güncellenen çoklu model sıfırlama gözleyicisi (MMReO) oluşturulmuştur. Ayrıca, karşılaştırma amacıyla, endüstriyel uygulamalara yaygın olarak uygulanan bir kontrol tekniği olan sabit, dayanıklı bir sayısal geri besleme teorisi (QFT) tabanlı kontrolör tasarlanmıştır.

Gözleyici yapının performansını vurgulamak için, her iki kontrol şeması da gerçek bir indüksiyon ocağında uygulanmış ve doğrulama testleri yapılmıştır. Her iki önerilen kontrolör, düşük oturma süresi, kaynama aralığı içinde doğru sıcaklık kontrolü ve hızlı bozucu etki sönümleme gibi tüm kullanıcı gereksinimlerini karşılamaktadır. MMReO tabanlı uyarlanabilir denetleyici, dayanıklı QFT tabanlı denetleyiciye kıyasla daha yüksek bir performans göstermiştir. Sistem parametrelerini çevrimiçi olarak tanımlayıp süreç belirsizliğini azalttığı için MMReO tabanlı uyarlamalı kontrolör kullanılarak ilk su miktarına bağlı bir şekilde %30'a kadar zaman tasarrufu sağlanmaktadır. Öte yandan, uyarlanabilir kontrolörün etkinliği MMReO'nun sabit tanımlama modellerinin sayısına dayandığından, hesaplama yükü dayanıklı QFT tabanlı kontrolöre kıyasla daha yüksektir. Bu dezavantaja sahip olmasına rağmen, pişirme kabının duvar sıcaklığını doğru bir şekilde ölçebilen MMReO tabanlı uyarlamalı kontrolör, üstün performansından dolayı tercih edilmektedir.

Gabriele D'Antona ve arkadaşları bir indüksiyonlu ocak üzerine yerleştirilmiş bir pişirme kabının içindeki su sıcaklığını suya temas etmeden kestirmek için bir yöntem önermişlerdir [24]. Yiyeceklerin sıcaklığının gerçek zamanlı olarak izlenmesi, pişirme sürecine farklı açılardan çeşitli avantajlar sağlamaktadır. İstenilen sıcaklığı korumak için bir kontrol sistemi geliştirilmesi tadı iyileştirmek, gıdanın besin değerlerini koruyarak ve yapısal bozulmayı önleyerek sağlık seviyesini arttırmak için fayda sağlamaktadır. Ayrıca enerji tüketimi, gerekli olmadığında güç azaltılarak optimize edilebilmektedir. Genellikle pişirici cihazlarda gıda ile doğrudan temasla ölçüm içeren herhangi bir yaklaşım istenmemektedir. Bununla birlikte, pişirme kabının yerleştirildiği camlı plaka, pişirici kap gibi ısıtılmadığından, yalnızca bu camlı yüzeyin altında bir termal algılayıcı konumlandırılması, sıcaklık kestiriminde tatmin edici bir doğruluk ve dinamik tepki sağlamamaktadır.

Önerilen sıcaklık kestirimi yöntemi, sistem bileşenlerinin fiziksel özelliklerinin ısı aktarım hızına bağımlılığı, pişirme kabının boyutu ve malzeme çeşidi, faz değişikliğine bağlı karmaşıklık ve doğrusal olmama gibi belirsizlikler ile baş edebilmelidir. Sıcaklık kestirimi için sistemin termal modelinin elektrik devresi eşdeğeri olarak geliştirilmiş bir matematiksel modelden yararlanan Kalman filtresi uygulanmıştır. Camın altına yerleştirilmiş bir termal algılayıcı ile ölçülen cam sıcaklığı ve ısıtma bobinine

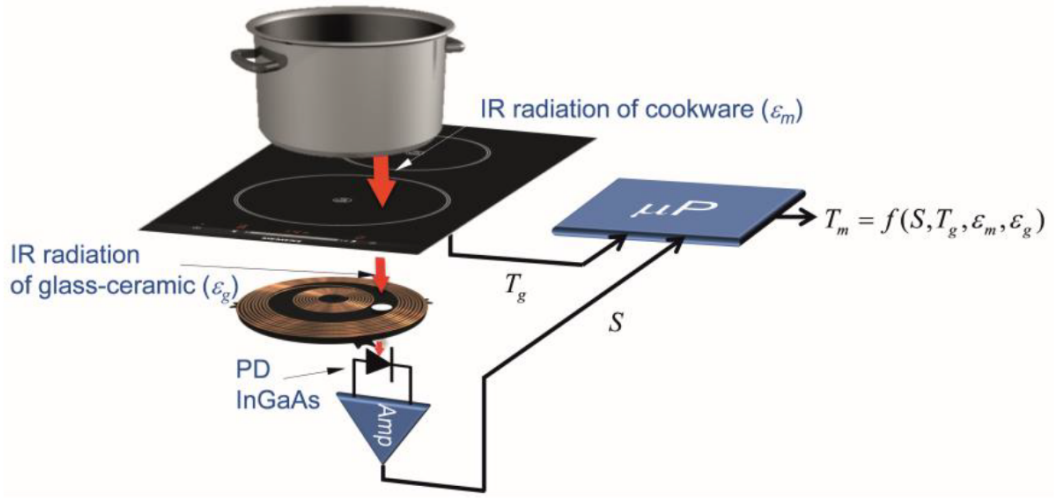
verilen elektriksel aktif güç değeri Kalman filtresine giriş olarak verilen verilerdir. Pratikteki uygulamayı hesaba katmak için, pişirici kap tipleri ve içerik miktarı ile ilgili farklı olasılıklar Kalman filtresi parametrelerinde belirsizlik olarak ortaya konulmuştur. Karmaşık fiziksel olaylarla başa çıkması için basitleştirilmiş bir termal model kullanılmasına rağmen, kestirilen sıcaklık değerleri deneysel sonuçlarla tatmin edici bir tutarlılık göstermektedir. Önerilen yöntem, pişirme kabının malzemesinin çeşitliliği, su miktarı ve deneyin başlangıç sıcaklığı gibi mevcut belirsizliklerin üstesinden başarılı bir şekilde gelebilmektedir.

Javier Lasobras ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, Uwe Has ve Dimitar Wassilew'in çalışmasına benzer bir şekilde ev tipi indüksiyonlu pişirme için kızılötesi (IR) sıcaklık ölçümüne dayanan hassas bir gerçek zamanlı sıcaklık kontrol sistemi ele alınmıştır [25]. Pişirme kabındaki sıcaklık, bir indüksiyonlu ocakta uygulanan kapalı devre güç kontrol sisteminin kontrol değişkenini oluşturmaktadır. Hedef sıcaklığa ulaşmak amacıyla çıkış gücü seviyesini belirlemek için oransal-integral kontrolcü (PID) uygulanmaktadır.

Önceki çalışmalarda önerilen seramik cam altında bulunan bir termistöre dayanan sıcaklık ölçüm sistemi basit ve uygun maliyetli bir çözümdür, ancak seramik camın termal ataletinden dolayı dezavantaja sahiptir. Bu dezavantaj, pişirici kap sıcaklığı ile cam sıcaklığı arasındaki ısı aktarımının zayıflaması ve zaman gecikmelerinin meydana gelmesidir. Bu nedenle camda ölçülen sıcaklık ile pişirme kabında ölçülen sıcaklık arasında büyük fark oluşmaktadır. Bu fark da hızlı ısıtma geçişlerinde çok kritik hale gelmekte ve sıcaklık algılayıcısı tarafından bu durum geç fark edildiğinden pişirme kabı çok yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. Ayrıca, indüksiyon bobinleri ile cam arasındaki hava boşluğundaki değişkenlik, pişirme kabı ile cam arasındaki ısı transferinin dinamiğini etkileyen güçlü bir faktör getirmektedir. Bu problemlerden kaçınmak için hem kızılötesi sıcaklık algılayıcısının ölçümlerinin hem de elektrik gücü bilgilerinin değerlendirilmesi çok yararlı olmaktadır. Bu bilgiler kullanılarak kullanılan tencerenin termal iletim özellikleri ile birlikte otomatik bir kaynama noktası algılama algoritması tanımlamak mümkün olmaktadır. Termik güç akışı, indüksiyon ocaklarının yüksek verimliliği nedeniyle elektrik tüketiminden elde edilebilmektedir.

Önerilen sıcaklık ölçüm sistemi, pişirme kabının tabanı tarafından yayılan ve seramik cam optik geçirgenliği ile spektral olarak filtrelenen kızılötesi radyasyonun saptanmasına dayanmaktadır. Kızılötesi foto diyot (PD) tarafından algılanan sinyal pişirme kabının sıcaklığına, seramik camın sıcaklığına, pişirme kabının emisivitesine ve seramik camın emisivitesine bağlıdır. Bu parametrelerle pişirici kap sıcaklığını kestirebilen model deneysel çalışmalar sonucu oluşturulmuştur. Modelin doğruluğu, Şekil 1.7 ile gösterilen ev tipi indüksiyonlu ocak düzeneğinde yapılan ölçümlerle test

edilmiştir.

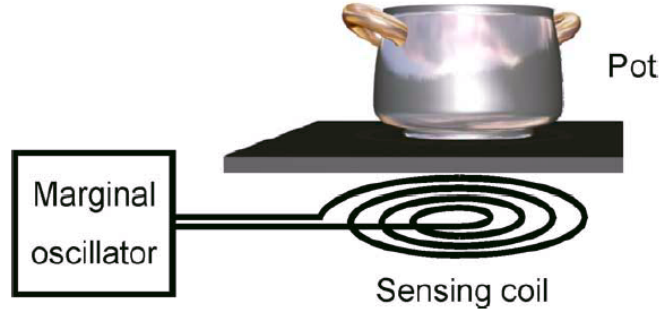


Şekil 1.7 Javier Lasobras ve arkadaşlarının tencere sıcaklığını kızılötesi sıcaklık algılayıcısı kullanarak kontrol ettikleri indüksiyonlu ocak düzeneği [25]

Bilinen bir pişirme kabı ile yapılan testlerde 60°C-250°C aralığında maksimum sıcaklık hatası 5°C olacak şekilde pişirme kabının sıcaklığı kestirilmiştir. Sistemin çıkış sinyali seviyeleri, pişirme kaplarının emisivitesine bağımlılık göstermektedir. Her tür pişirme kabı ile doğru sıcaklık ölçümleri elde etmek için pişirme kaplarının emisivitesini doğru bir şekilde bilmek gerekmektedir. Pişirme kabının emisivitesi bilinmediğinde önerilen yöntem ile maksimum mutlak hata 20°C civarında gerçekleşmektedir.

Carlos Franco ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada ev tipi indüksiyon ocakta sıcaklığın bir indüktif algılayıcı ile ölçülebildiği bir yöntem sunulmaktadır [26]. Bu algılayıcı sistem, sıcaklık değişimine bağlı olarak ferromanyetik kapların empedans değerinde meydana gelen değişimi hızlı ve temassız bir şekilde ölçen bir bobin ve elektronik bir devreden oluşmaktadır (Şekil 1.8).

Önerilen yöntem farklı malzemelere sahip tencereler ile 20°C-220°C sıcaklık aralığında pişirme testlerine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, 6°C'den daha düşük bir ölçüm hatası elde edilmiştir. Ayrıca ölçümlerde düşük ve yüksek sıcaklıklarda da doğruluğun yüksek olduğu görülmüştür. Yapılan testlerde önerilen indüktif algılama yönteminin mevcut ölçüm sistemlerine göre önemli avantajları olduğu sonucuna varılmıştır. Bu avantajlar, ısıtıcı camı altına yerleştirilen NTC sıcaklık algılayıcısına göre daha düşük ölçüm hataları elde edilmesi ve kızılötesi teknoloji kullanan algılayıcılara göre daha ucuz maliyetli olmasıdır. Ucuz ve kolay adaptasyon sağlayan bir özelliği de indüksiyon ısıtma bobininin sıcaklık ölçümü için kullanılan bobin ile aynı sargı olmasıdır.

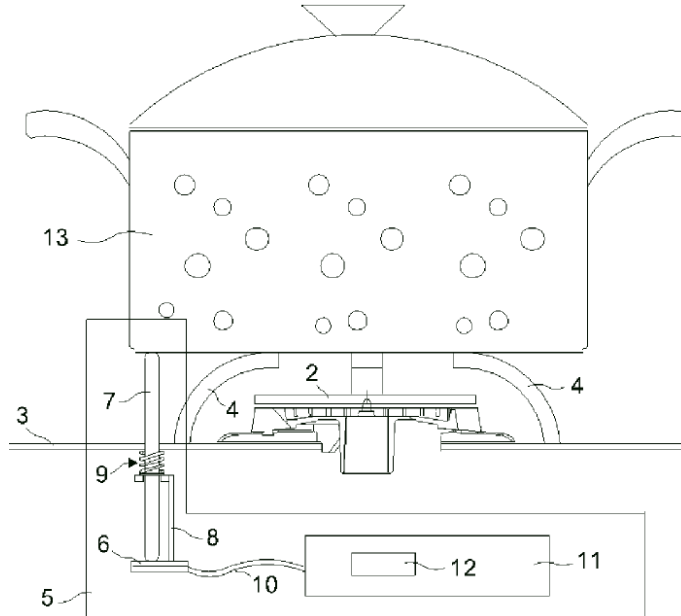


Şekil 1.8 Carlos Franco ve arkadaşları tarafından önerilen indüktif algılayıcı ile tencere sıcaklığının ölçüldüğü düzenek [26]

1.1.2 Patent Literatürü

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında pişirme cihazları ile Türk kahvesi makineleri özelinde sıcaklık ölçümü, pişirme kontrolü, pişme algılama gibi konularda alınmış olan patentler incelenmiştir.

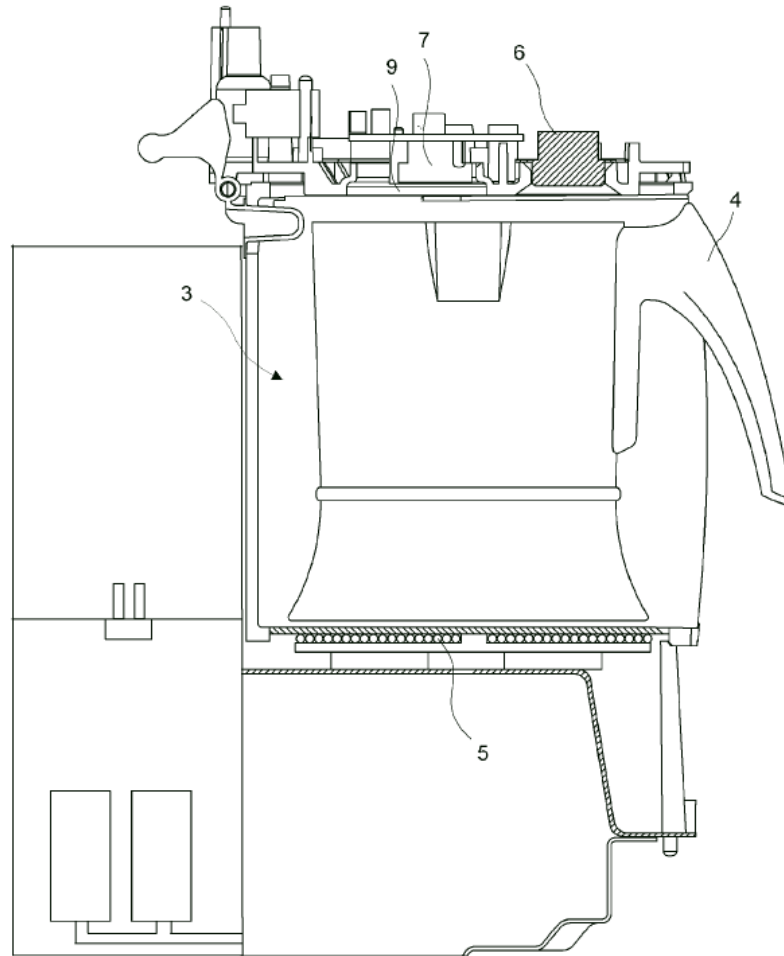
Arçelik Anonim Şirketi tarafından başvurusu yapılmış olan WO2006070334 (A1) patentinde [27], bir pişirici cihazda uygulanabilecek kaynama ve taşma algılama sistemi anlatılmaktadır. Kullanılan algılayıcı ile pişirme kabı içinde kaynamakta olan bir sıvının yarattığı mekanik titreşimler, sıcaklık veya ses seviyesi algılanarak sıvı seviyesi takip edilebilmektedir. Böylece kaynama ve sıvı seviyesinde yükselme durumu algılandığında ısıtıcı gücü kesilerek taşma engellenmektedir. Şekil 1.9 ile çalışmada kullanılan düzeneğin şematiki gösterilmiştir.



Şekil 1.9 WO2006070334 (A1) patentinde pişirici bir cihaz için geliştirilen kaynama ve taşma algılama sisteminin şematik görünümü [27]

Piştirme kabı (Şekil 1.9) (13), ısıtıcı ünitesi (Şekil 1.9) (2) üzerine yerleştirilmektedir. Aynı zamanda piştirme kabı bir tutucu parça (Şekil 1.9) (7) ile temas etmektedir. Bu tutucu parça, piştirme işlemi sırasında piştirme kabında meydana gelen mekanik titreşimleri bir yay (Şekil 1.9) (9) ile piezoelektrik algılayıcı elemana (Şekil 1.9) (6) aktarmaktadır. Piezoelektrik algılayıcı, bir kablo (Şekil 1.9) (10) ile elektriksel veriyi işleyen kontrol kartına (Şekil 1.9) (11) bağlıdır. Kaynama sırasında piştirme kabı içerisindeki karışımda meydana gelen hava kabarcıklarının oluşturduğu titreşimlerin frekansı algılanarak kaynamanın hangi evrede olduğu bu yöntem ile ayrıştırılabilmektedir. Böylece az, orta veya çok kaynama gibi seçeneklere ve taşma durumuna karar verilebilmekte, piştirme işlemi sonlandırılabilir.

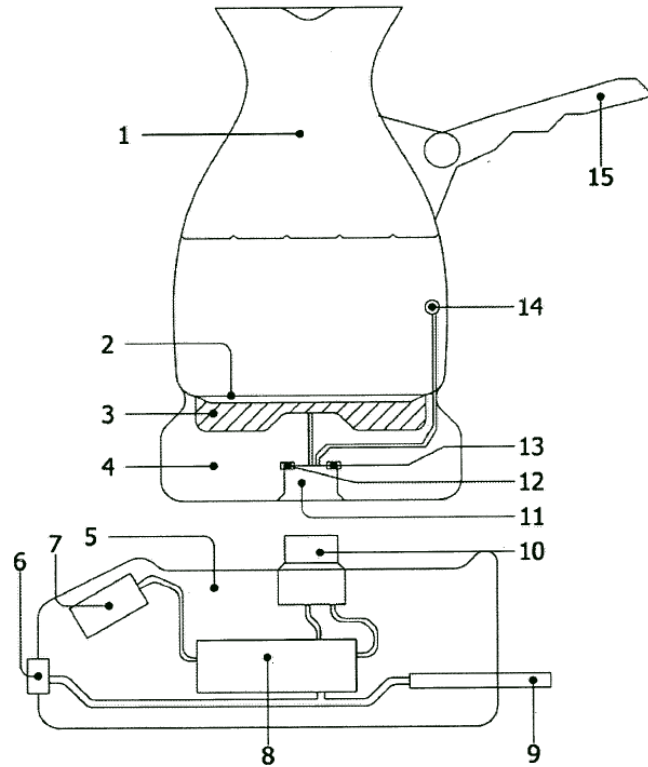
Arçelik Anonim Şirketi tarafından başvurusu yapılmış olan WO2019192778 (A1) patentinde [28], Şekil 1.10'da gösterilen kahve makinesinde piştirme haznesinin (Şekil 1.10) (4) üzerine konumlandırılmış ve kahve köpüğü yüksekliğini takip eden yakınlık algılayıcısından (Şekil 1.10) (7) bahsedilmektedir.



Şekil 1.10 WO2019192778 (A1) patentinde kahve makinesi için geliştirilen yakınlık algılayıcısı ile kahvenin kabarmasını algılayan sistemin şematik görünümü [28]

Türk kahvesi pişirilirken kaynama sıcaklığına yaklaştığı sırada köpürerek ve hızlıca kabarak hazne içerisinde yükselme karakteristiği göstermektedir. Pişirme işlemi süresince mesafe ölçümü yapan uçuş zamanı algılayıcısı ile kahve köpüğünün seviyesi takip edilmektedir. Türk kahvesini geleneksel lezzet ve kıvamda hazırlamak için, köpük yükselişi önceden belirlenmiş bir seviyeye yükseldiği anda ısıtıcı ünitesinin (Şekil 1.10) (5) çalışması elektronik kontrol ünitesi (Şekil 1.10) (6) tarafından sonlandırılmaktadır.

Yenel Yenilikçi ve Buluşçu Elektronik Sistemler Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi tarafından başvurusu yapılmış olan WO20111002421 (A2) patentinde [29], pişirici haznenin iç kısmında, ısıtıcıdan etkilenmeyen ve sıvı ile temas eden bir konuma yerleştirilmiş olan bir sıcaklık algılayıcısından bahsedilmiştir (Şekil 1.11).

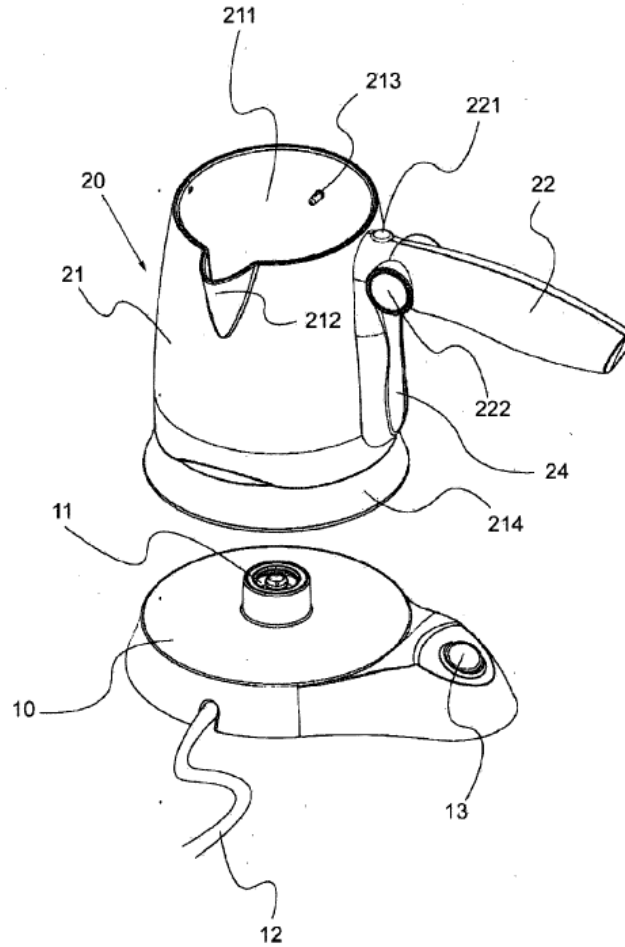


Şekil 1.11 WO20111002421 (A2) patentinde kahve makinesinde kahve sıcaklığının doğrudan temas ile sıcaklık algılayıcısı kullanılarak ölçülen sistemin şematik görünümü [29]

Patentte bahsedilen pişirici sistemde ısıtıcı ünite (Şekil 1.11) (3) pişirme haznesi ile (Şekil 1.11) (1) bütünleşik bir yapıdadır. Pişirme haznesi ana üniteye (Şekil 1.11) (5) bir konnektör bağlantısı (Şekil 1.11) (10,11) ile bağlanmaktadır. Aynı zamanda ısıtıcı üniteye de güç aktarımı bu konnektör ile sağlanmaktadır. Pişirme haznesi içindeki sıcaklık algılayıcısı (Şekil 1.11) (14) ölçüm verilerini ana üniteye elektronik karta (Şekil 1.11) (8) iletmektedir. Elektronik kart ünitesinde bulunan sıcaklık ölçüm devresi ve mikroişlemci devresi ile pişirme haznesindeki karışımın

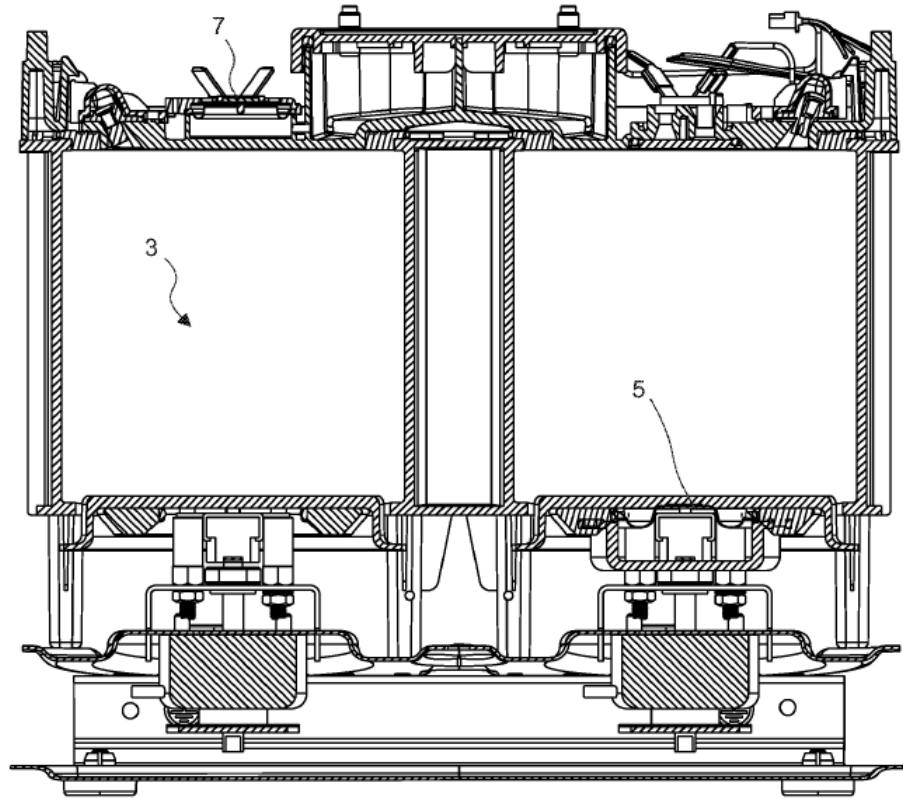
sıcaklığı hesaplanarak ısıtıcı gücü ayarlanabilmekte ve kahve sıcaklığı 90°C-97°C olarak belirlenen değere ulaştığında ısıtma işlemi sonlandırılmaktadır.

Arzum Elektrikli Ev Aletleri Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi tarafından başvurusu yapılmış olan WO2015102553 (A1) patentinde [30], bir sıcaklık algılayıcısı ile buhar sıcaklığını ölçerek kahvenin piştiğini algılayan bir sistem anlatılmıştır (Şekil 1.12). Patente konu olan kahve makinesinde pişirici haznenin (Şekil 1.12) (21) iç kısmına, dökme ağzı kısmına yakın bir konuma sıcaklık algılayıcısı (Şekil 1.12) (213) yerleştirilmiştir. Isıtıcı ünitesi ile bütünleşik bir yapıda olan pişirme haznesi, konektör (Şekil 1.12) (11) yardımıyla güç ünitesini içeren ana gövdeye (Şekil 1.12) (10) bağlanmaktadır. Pişirme haznesindeki ısıtıcı üniteye güç aktarımı ve ana gövde içinde bulunan elektronik kontrol ünitesine sıcaklık algılayıcısının ölçümlerinin aktarımı konektör aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Kahve pişirme işlemi sırasında çıkan buharın sıcaklığı sıcaklık algılayıcısı ile sürekli olarak ölçülmekte ve belirlenen değere ulaştığında elektronik kontrol ünitesi ısıtma işlemini sonlandırmaktadır.



Şekil 1.12 WO2015102553 (A1) patentinde kahve makinesi için geliştirilen kahvenin piştiğini buhar sıcaklığı ile algılayan sistemin şematik görünümü [30]

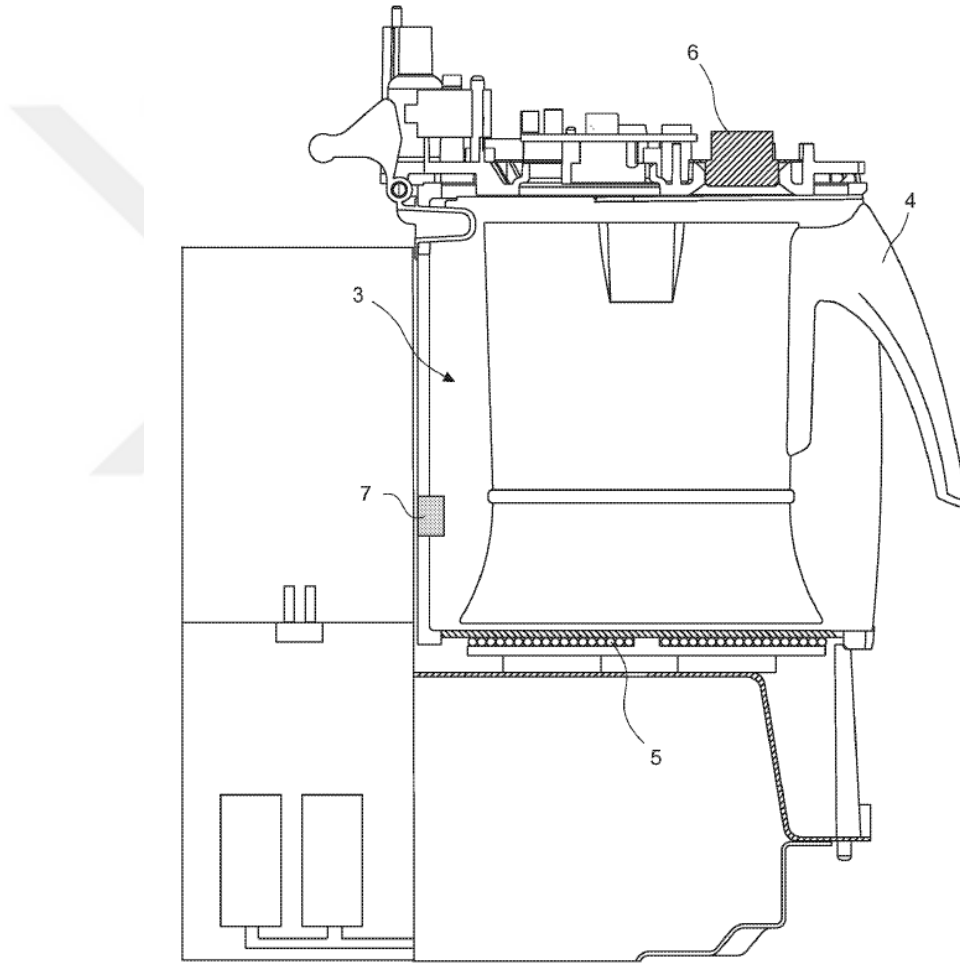
Arçelik Anonim Şirketi tarafından başvurusu yapılmış olan WO2019088956 (A2) patentinde [31], pişirme haznesinin taşma kanalı haricinde üzeri tamamen kapalı olan bir pişirme bölümüne yerleştirildiği ve bir basınç algılayıcısının kullanıldığı bir sistem anlatılmıştır (Şekil 1.13). Çalışmada kullanılan kahve makinesinde, pişirme haznesi kenarlardan hava sızdırmayan bir tasarıma sahip pişirme bölümüne (Şekil 1.13) (3) yerleştirilmekte ve basınç algılayıcısı (Şekil 1.13) (7) haznenin üzerinde yer alacak şekilde üst bölümde yer almaktadır. Pişirme işlemi, kontrol ünitesi tarafından algılayıcı verilerinin işlenmesi, ısıtıcının (Şekil 1.13) (5) çalışmasının başlatılması ve durdurulması ile kontrol edilmektedir. Kahve pişirme işlemi sırasında, pişirme haznesi içindeki kahvenin ısınarak buharlaşması ve kahvenin köpürmesi sonucunda hava basıncının değişimi basınç algılayıcısı ile ölçülmekte ve basınç değeri önceden belirlenen seviyeye ulaştığında kahvenin piştiği sonucuna karar verilerek ısıtıcının çalışması durdurulmaktadır.



Şekil 1.13 WO2019088956 (A2) patentinde kahve makinesinde kahvenin piştiğini basınç algılayıcısı ile algılayan sistemin şematik görünümü [31]

Arçelik Anonim Şirketi tarafından başvurusu yapılmış olan WO2019093988 (A2) patentinde [32], Türk kahvesinin pişirilmesi işlemi sırasında meydana gelen ses seviyesindeki değişimlerin algılanması ile kahvenin piştiğinin algılanabildiğinden bahsedilmiştir. Çalışmada kahve makinelerinde kullanılan sıcaklık, kızılötesi mesafe

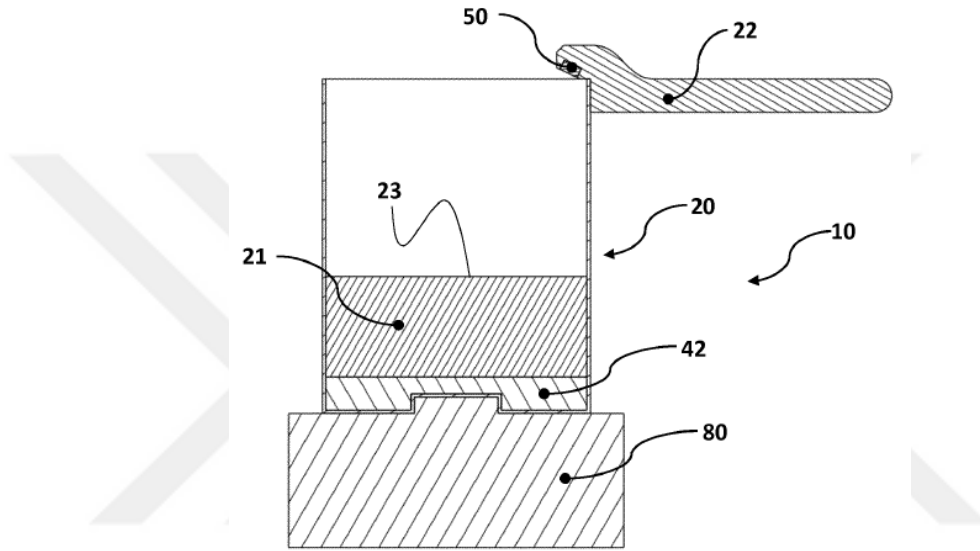
ve iletkenlik algılama gibi yöntemlerin hassas olmama ve pişirme sırasında oluşan kirlilik nedeniyle yanılma gibi problemlerinden dolayı kahve lezzetinde olumsuz sonuçlar meydana getirdiği belirtilmiştir. Buna çözüm olarak da Şekil 1.14'te gösterilen düzenekte bir mikrofon (Şekil 1.14) (7) kullanılarak pişirme kabında (Şekil 1.14) (4) pişirilen kahvenin meydana getirdiği ses dalgalarının algılanması yöntemi sunulmuştur. Ölçülen ses seviyesi önceden belirlenmiş olan seviyeye ulaştığında ve o seviyede yine önceden belirlenmiş olan bir zaman süresince kaldığında kahvenin piştiğine karar verilmektedir. Pişirme işlemi, kontrol ünitesi (Şekil 1.14) (6) tarafından ısıtıcının (Şekil 1.14) (5) aktifleştirilmesi ya da aktarılan gücün kesilmesi ile kontrol edilmektedir.



Şekil 1.14 WO2019093988 (A2) patentinde kahve makinesi için geliştirilen kahvenin piştiğini mikrofon ile algılayan sistemin şematik görünümü [32]

Eksen Makine Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi tarafından başvurusu yapılmış olan WO2019038172 (A1) patentinde [33], kahve ve benzeri bir içeceğin pişme durumunu kızılötesi sıcaklık algılama ile kontrol ederek hazırlayan bir yöntemden bahsedilmiştir. Hazırlanan kahve veya süt benzeri içeceğin pişme kalitesinin sağlanmasının yanı sıra taşmasının da önlenmesi bu tür ürünlerde başlıca bir gerekliliktir. Bu gerekliliklerin

sağlanması adına Şekil 1.15'te görülen pişirici makinede pişirme haznesi (Şekil 1.15) (20) üzerinde bulunan kızılötesi sıcaklık algılayıcısı (Şekil 1.15) (50) ile hazne içindeki karışımın (Şekil 1.15) (21) yüzey sıcaklığı (Şekil 1.15) (23) temassız olarak ölçülebilmektedir. Karışımın yüzey sıcaklığı, pişirme işlemi sırasında ısıtıcı ünitenin (Şekil 1.15) (42) aktardığı ısı ile orantılı olarak değişmektedir. Karışımın iç sıcaklığı, elektronik kontrol ünitesi tarafından yüzey sıcaklığı değerleri ve hazırlanmak istenen içeceğin tipine göre belirlenmiş bir algoritma kullanılarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan karışım sıcaklığı önceden belirlenmiş olan seviyeye ulaştığında ısıtıcı ünitenin çalışması durdurularak karışımın pişirilmesi kontrol edilmektedir.



Şekil 1.15 WO2019038172 (A1) patentinde pişirme kabı içindeki kahve, süt ya da benzer bir karışımın sıcaklığını kızılötesi yöntemle algılayan sistemin şematik görünümü [33]

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde benzinden sonra ikinci sırada ticaret hacmine sahip olan geleneksel Türk kahvesi, Türkiye'nin tüm bölgelerinde tüketilmektedir. Uluslararası Kahve Örgütü'nün verilerine göre dünyada yıllık yaklaşık 10 milyon ton üretimi yapılan kahvenin Türkiye'de yıllık kişi başı 250 gramı Türk kahvesi olarak tüketilmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte Türk kahvesini geleneksel ateşte pişirme yönteminden farklı olarak elektrikli ısıtıcı ile otomatik olarak pişirebilen makineler ortaya çıkmıştır. Ülkemizde Türk kahvesinin günlük yaşantının ve kültürün bir parçası olması otomatik Türk kahvesi makinelerinin bir ilgi odağı haline gelerek pazarda önemli bir yer edinmesini sağlamıştır.

Türk kahvesi hazırlanırken, doğru bir ısıtma yapılması ve kabilen kahvenin doğru sıcaklıktayken ısıtma işleminin sonlandırılması, kahve aromasının ve köpüğünün ideal

kıvamda olması için elzemdir. Bu nedenle otomatik Türk kahvesi makinelerinde kahvenin piştiğini karar vermesi için çeşitli algılayıcı sistemler geliştirilmiştir. Otomatik Türk kahvesi makinesinin performansı seçilen algılayıcı sistemin veya sistemlerin tekrarlanabilir sonuçlar verebilmesine ve algılayıcının çevresel etkilerden en az düzeyde etkilenmesine bağlıdır.

Otomatik pişirici bir makinede karışımın sıcaklığını bir algılayıcı yardımıyla doğrudan temasla ölçmek olumsuz kalite algısı, zor temizlenebilme ve sağlığa uygun olmama gibi problemleri beraberinde getirmektedir. Bu nedenle ürünlerde kullanılan algılayıcı sistemlerin çoğu temassız yöntemlerle kahvenin kabarma evresindeki değişimleri algılayarak piştiğine karar veren uygulamalardan oluşmaktadır. Otomatik pişirme yeteneğine sahip Türk kahvesi makinelerinde çoğunlukla pişirme kabı içindeki kahvenin kabarmaya yükselmesine bağlı olarak köpük seviyesi, buhar basıncı veya buhar sıcaklığı değişimleri algılanarak kahvenin piştiği kararına varılmaktadır. Yine kahvenin kabarmasına bağlı olarak çıkan buharın sıcaklığındaki değişimi sıcaklık algılayıcısı ile algılayan ve kahvenin piştiği kararını veren otomatik pişirici makineler de bulunmaktadır. Ayrıca optik sıcaklık algılayıcıları ile kahve yüzeyinin sıcaklığını temassız olarak ölçebilen, kahvenin pişmesi sırasında meydana gelen akustik, iletkenlik ve kapasitif değişimler ile basınç değişimlerini algılayabilen çalışmalar mevcuttur.

Pişirme sürecindeki fiziksel koşullar nedeniyle algılayıcının aşırı ısınması, buhara maruz kalması, üzerinde kirlenme veya yoğunlaşma meydana gelmesi gibi çevresel bozucu etkilerle karşılaşıldığında hatalı kararlar verilebilmektedir. Geleneksel yöntemle kabartılarak pişirilen Türk kahvesinin pişme süresi iki kişilik kahve için iki ile üç dakika arasındadır. İdeal pişmiş bir Türk kahvesinin sıcaklığı 80°C-95°C arasındadır. Pişirme işlemi erken sonlandırılan kahvelerin tadında çiglik ve ekşilik, geç sonlandırılan kahvelerin tadında ise acılık bulunmakta ve az köpüklü olmaktadır. Bunun yanında, doğru pişirilmediği için fiziksel olarak kötü görüntüye sahip bir kahve sunan ürün kullanıcılar tarafından tercih edilmeyecek ve satış taleplerini düşürecektir.

Bu çalışmada, kahve makinelerinde görülmekte olan problemlere çözüm olması için pişirme kabının dışına yerleştirilen bir sıcaklık algılayıcısı yardımıyla kahvenin sıcaklığını temassız bir şekilde kestiren bir algılayıcı sistem modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kahve sıcaklığı takibi için bir sıcaklık algılayıcısından oluşan bir durum gözleyici sistemi geliştirilmesi planlanmıştır. Sistem modelini elde etmek için yeni bir teknoloji olan indüksiyonlu bir Türk kahvesi makinesi deney platformu olarak belirlenmiş ve mekanik tasarım, yazılım çalışmaları, sistem modeli tanıma, durum kestirimi ve kontrol sistemi tasarımı çalışmaları gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür.

1.3 Hipotez

Türk kahvesi gibi heterojen karışımları otomatik olarak pişiren sistemlerde sunulan içeceğin kalitesi pişme süresi ve sıcaklığına bağlı olduğundan karışım sıcaklığının bilinmesi kritik olmaktadır. Kullanılmakta olan algılayıcı sistemler pişirme ortamındaki fiziksel koşullardan etkilenebildiği için hatalı kararlar vermektedir. Bir algılayıcı yardımıyla karışımın sıcaklığını doğrudan temasla ölçmenin getirdiği kalite, temizlik ve güvenlik problemleri nedeniyle temassız algılama yöntemleri tercih edilmektedir. Bu çalışmada indüksiyonlu bir Türk kahvesi makinesinde bobin akımı, kahve sıcaklığı ile pişirme kabının dış kısmının sıcaklığı arasındaki dinamik ilişki ve pişirme kabının dış kısmına yerleştirilen bir algılayıcı yardımıyla kabın içindeki kahve karışımının sıcaklığını temassız olarak kestirebilecek bir gözleyici model ele alınmıştır. Tasarlanan model ile mevcut Türk kahvesi makinelerinde yaşanan problemlerin önüne geçilmesi, aynı zamanda benzer süreçler gerçekleştiren pişirici ürünlerde de alternatif bir sıcaklık kestirim yöntemi olarak önerilmesi amaçlanmıştır.

2 TÜRK KAHVESİ MAKİNELERİNDEKİ ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

2.1 Türk Kahvesi Makinelerinin Genel Yapısı, Pişirici ve Algılayıcı Sistemleri

Son zamanlarda, kahve tüketicileri, kahve hazırlama işlemini hızlandırması nedeniyle geleneksel kahve demleme yöntemlerinden ziyade Türk kahvesi makinelerini tercih etmektedirler. Türk kahvesi makineleri yarı otomatik ve tam otomatik makineler şeklinde sınıflandırılmaktadır [15].

Yarı otomatik Türk kahvesi makineleri pişirme kabına yani cezveye elektrikli bir ısıtıcının dahil edildiği ürünlerdir. Bu ürünlerde Türk kahvesinin piştiğini algılayan bir sistem bulunmamaktadır. Kullanıcı pişirme işlemini takip ederek ve uygun zamanda ürünün enerjisini keserek pişirme işlemini sonlandırmaktadır.

Tam otomatik Türk kahvesi makineleri ise pişirme işlemini otomatik olarak sonlandırmaktadır. İlk olarak Arçelik Anonim Şirketi tarafından 2004 yılında “Telve” adıyla tam otomatik bir Türk kahvesi makinesi piyasaya sürülmüştür (Şekil 2.1). Bu makinelerin grubunda çok çeşitli özellikler gösteren ürünler bulunmaktadır. Bazı ürünlerde su deposu bulunmakta ve kullanıcının istediği porsiyonda suyu pişirme kabı içine otomatik olarak doldurma ve su kahve karışımını karıştırma işlevini yerine getirmektedir. Isıtıcı tipleri de farklılık göstermektedir.

Bazı makinelerde ısıtıcı ünitesi pişirme kabı ile bütünleşik olup kalın tabanlı bir görünüme sahiptir. Ayrıca bu tip pişirme kaplarında ısıtıcının termal ataleti nedeniyle kahve pişirme işlemi sonlandırıldığı halde kahveye ısı iletimi devam etmekte ve kalite problemlerine neden olunmaktadır. Pişirme başarısı daha yüksek olan makinelerde ısıtıcı ünite ve pişirme kabı birbirinden bağımsızdır. Pişirme işlemi sonlandırıldığı anda pişirme kabı ve ısıtıcı ünite birbirinden ayrılarak ısı aktarımı kesilmektedir. Bazı ürünlerde ise pişirme kabı makine ile bütünleşik olup pişirme işlemi sonlandığında kahveyi otomatik olarak fincana doldurmakta ve servise hazır hale getirmektedir.



Şekil 2.1 Arçelik Anonim Şirketi tarafından geliştirilen ilk tam otomatik Türk kahvesi makinesi “Telve”

Piyasada bulunan tam otomatik Türk kahvesi makinelerinde kullanılan veya patenti alınmış olan pişme algılama yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Optik mesafe algılayıcısı ile kahvenin kabarmasını yükselmesini algılama
- Sıcaklık algılayıcısı ile kahveye doğrudan temas etme yoluyla kahve sıcaklığını algılama
- Sıcaklık algılayıcısı ile pişirme kabının taban sıcaklığını algılama
- Sıcaklık algılayıcısı ile pişirme kabının üzerinden ya da kabın dökme ağzına yakın bir noktadan buhar sıcaklığını algılama
- Optik bir sıcaklık algılayıcısı ile kahve yüzeyinin sıcaklığını algılama
- Akustik bir algılayıcı ile kahvenin pişmesi sırasında çıkan ses titreşimlerini algılama
- Basınç ölçen bir algılayıcı ile kahvenin pişmesi ve kabarması sırasında kapalı bir hacimde yarattığı hava basıncındaki artışı algılama
- İletkenlik ölçümü ile kahvenin kabarmasını yükselmesini algılama
- Kapasitif bir algılayıcı ile kahvenin kabarmasını yükselmesini algılama

Türk kahvesi makinelerinde kullanılan bu pişirme algılama yöntemleri sıcaklık, buhar, algılayıcı üzerinde meydana gelen yoğunlaşma veya kirlenme gibi fiziksel etkiler nedeniyle hatalı kararlar verebilmektedir ve zor temizlenebilme gibi dezavantajlara sahiptir.

Türk kahvesi makinelerinde ısıtıcı yapıları farklı tasarımlara da sahip olsa genellikle rezistanslı tipte elektrikli ısıtıcılar kullanılmaktadır. Son yıllarda indüksiyonlu pişirme teknolojisinde yaşanan gelişmelerle birçok ev tipi pişirici üründe indüksiyonlu ısıtma kullanılmaya başlanmıştır. Yeni geliştirilen ve piyasaya sürülen Türk kahvesi makinelerinde bu yöntem kullanılmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Arçelik Anonim Şirketi tarafından geliştirilen indüksiyon ısıtıcılı tam otomatik Türk kahvesi makinesi

2.2 Türk Kahvesi Makinelerinde Yeni Bir Pişirme Yöntemi İndüksiyon Teknolojisi

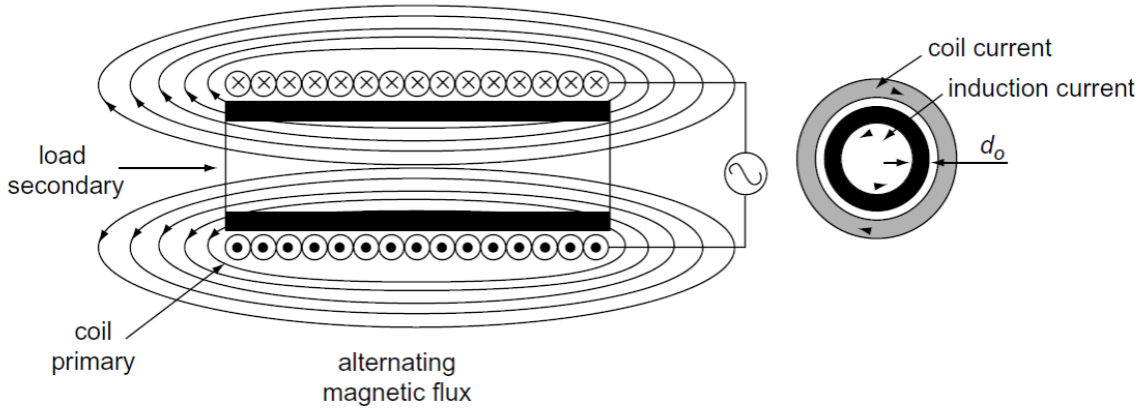
1831’de Michael Faraday tarafından keşfedilen elektromanyetik indüksiyon sayesinde indüksiyonla ısıtma uygulayan sistemler geliştirilmiştir. Elektromanyetik indüksiyon, yanındaki başka bir devrede akımın dalgalanmasıyla kapalı bir devrede elektrik akımının üretildiği olgusunu ifade etmektedir. Faraday’ın keşfi elektrik motorları, jeneratörler, transformatörler ve kablosuz iletişim cihazlarının geliştirilmesine yol açmıştır. Elektromanyetik indüksiyon işlemi sırasında ortaya çıkan ısı kaybı, sistemlerin genel işlevselliğini zayıflatan önemli bir sorun olmuştur. İndüktif akımın

indüksiyon manyetik hareketindeki değişen yönün tersine aktığını açıklayan Lentz Yasası ile birlikte elektromanyetik indüksiyon sürecinde meydana gelen ısı kaybının verimli bir ısı enerjisine dönüştürülebileceği açıklanmıştır [34, 35].

İndüksiyonla ısıtma ilkesi, bir indüksiyon bobinindeki alternatif elektrik akımının değişken bir manyetik alan üretmesi ve bobinin yakınına yerleştirilen metalik nesnelerde bu manyetik alanın etkisiyle alternatif akım indüklenmesi gerçeğine dayanmaktadır. Elektrik kaynağı ve bobin içindeki termal dağılım, nesnedeki yani pişirme kabındaki ısıtma etkisinden çok daha az gerçekleştiğinden enerji verimli bir şekilde aktarılmaktadır [36, 37].

İndüksiyonlu ısıtma endüstride, ev tipi cihazlarda ve tıp alanındaki uygulamalarda yüz yılı aşkın bir süredir uygulanmaktadır. İndüksiyonlu ısıtma fenomeninin ilk endüstriyel uygulamaları 1887'de, metalleri eritmek için indüksiyonlu ısıtmayı öneren Sebastian Z. de Ferranti tarafından tanımlanmıştır. 1891'de F. A. Kjellin ilk indüksiyon ocağını sunmuştur. Edwin F. Northrup 1916'da Princeton'da ilk yüksek frekanslı indüksiyon ocağını uygulamıştır. Daha sonra indüksiyonlu ısıtma teknolojisinde bu buluşları izleyen birçok gelişme yaşanmıştır. İkinci Dünya Savaşı ve sonrasında otomotiv ve uçak endüstrisi, sadece metalleri eritmek için değil, aynı zamanda ileri malzeme işlemek için de indüksiyonlu ısıtma teknolojisinin kullanımını arttırmıştır. Güvenilir güç dönüştürücüleri uygulamak için en başta tristörler olmak üzere yeni yarı iletken teknolojilerinden yararlanılmıştır. Daha sonra, bipolar jonksiyon transistörü (BJT) ve metal-oksit-yarı iletken alan etkili transistör (MOSFET) gibi daha yüksek frekanslı güç cihazlarının geliştirilmesi, yüksek verimli güç dönüştürücülerinin tasarımı sağlayarak indüksiyonlu ısıtmayı birçok uygulama için uygun bir seçenek haline getirmiştir. İndüksiyonlu ısıtma teknolojisi, yarı iletken teknolojisindeki ilerlemeler ve izole kapılı bipolar transistörün (IGBT) tanıtımı ile birlikte uygulamalarını endüstriyel ortamın ötesine genişletmiştir. 80'lerin sonlarından bu yana, indüksiyonlu ısıtmanın birçok ev cihazları uygulaması ortaya çıkmıştır ve günümüzde indüksiyonlu ocaklar birçok ülkede yaygın bir şekilde mutfaklarda kendine yer edinmiştir. Özellikle son yıllarda tedavi için avantajları nedeniyle indüksiyonlu ısıtmanın tıbbi uygulamaları ortaya çıkmıştır [35, 38].

İndüksiyonla ısıtmanın temel teorisi, bir transformatörün teorisine benzemektedir. Basit bir transformatörde birincil akım, sargıların dönüş oranına göre ikincil akım ile doğru orantılı olmaktadır. İndüksiyonla ısıtma sağlanan bir sistemde birincil sargıyı indüktif ısıtma bobini oluşturmaktadır. İkincil sargı olan pişirme kabı yani yük sadece bir kez çevrilmiş bir yapıda olduğundan yük üzerindeki akım artarak önemli bir ısı kaybına neden olmaktadır. Alternatif akım bir bobine uygulandığında, bobinin etrafında bir manyetik alan oluşmaktadır (Şekil 2.3) [34, 35].



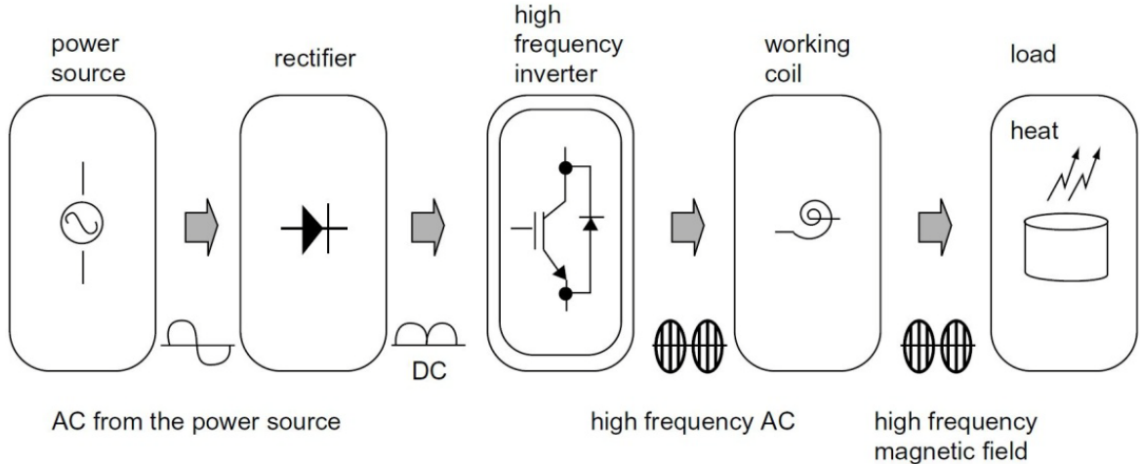
Şekil 2.3 Alternatif akım uygulanan bobinin etrafında oluşan manyetik alan [34]

İndüksiyonla ısıtma, elektromanyetik indüksiyon, yüzey katmanı etkisi ve ısı transferi olmak üzere üç temel faktörden oluşmaktadır. Manyetik alana konulan bir nesne, manyetik hareketin hızında bir değişikliğe neden olmaktadır. Faraday Yasası'na göre, iletken bir nesnenin yüzeyinde üretilen akım indükleme devresindeki akım ile ters yönde bir ilişkiye sahip olmaktadır. Nesnenin yüzeyindeki akım, bir girdap akımı üretmektedir. İndüklenen akım ve girdap akımının neden olduğu elektrik enerjisi Joule etkisi ile ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Bobine uygulanan akımın frekansı ne kadar yüksek olursa, yükün yüzeyi etrafında akan indüklenmiş akım o kadar yoğun olmaktadır. Nesnenin yüzeyinden merkeze yaklaştıkça manyetik alanın yoğunluğu azaldığından indüklenen akımın yoğunluğu da merkeze yaklaştıkça azalmaktadır. Buna yüzey katmanı etkisi veya Kelvin etkisi denmektedir. Bundan dolayı, elektrik enerjisinden dönüştürülen ısı enerjisi nesnenin yüzey katmanı derinliğine bağlı olmaktadır [34, 35, 39].

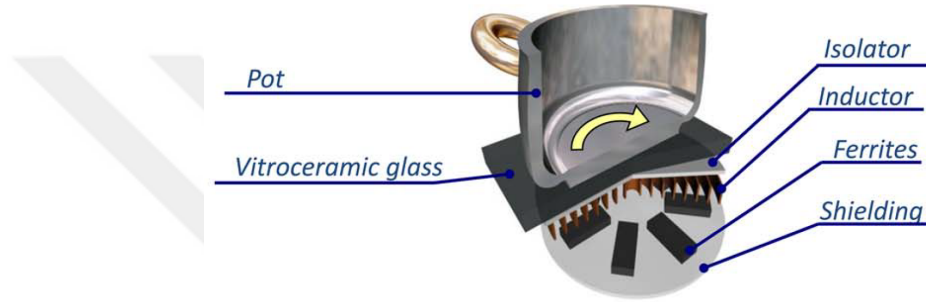
İndüksiyonlu bir ocakta şebekeden gelen alternatif akım doğrultucu devresi ile doğru akıma çevrilmektedir. Daha sonra yarı iletken teknolojisine sahip inverter devresi ile üretilen yüksek frekanslı alternatif akım, indüksiyon bobinine uygulanmaktadır. Oluşturulan yüksek frekanslı yönü değişen manyetik alana giren ferromanyetik pişirme kabında girdap akımları oluşturulmaktadır. Pişirme kabı girdap akımları ile doğrudan ısıtıldığı için oldukça verimli bir termal iletim sağlanmaktadır. İndüksiyon ısıtıcı ocağın topolojisi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

İndüksiyon ısıtma bobini ve yük, birbirinden küçük bir açıklık ile yalıtılmıştır. Bu açıklığı sağlamak için indüksiyon ocaklarında seramik malzemeden yapılmış bir cam kullanılmaktadır. Bobin sargılardan ve manyetik alanı yönlendiren mıknatıslardan oluşmaktadır. Şekil 2.5'te bobin, seramik cam ve üzerine yerleştirilen pişirme kabı gösterilmektedir.

Tipik bir indüksiyonlu pişirme cihazı orta-yüksek frekanslı bir inverter ve bir



Şekil 2.4 İndüksiyon ısıtıcılı ocak topolojisi [34]



Şekil 2.5 İndüksiyon ısıtıcı sstemde bobin, seramik cam ve pişirme kabı [35]

indüktörden oluşmaktadır. Genellikle rezonant inverterler kullanılır ve 20 ila 60 kHz arasındaki anahtarlama frekansında çalıştırılmaktadır [36, 37, 40]. Bu rejimde, indüksiyon ocakları sadece dökme demir ve bazı paslanmaz çelik alaşımları gibi ferromanyetik tencereler ile çalışabilmektedir. Bu nedenle, modern indüksiyonlu pişirme teknolojisi bakır, alüminyum ve manyetik olmayan paslanmaz çelik alaşımlarından yapılmış pişirme kapları ile uyumlu değildir. İndüksiyonlu pişirme en verimli pişirme teknolojilerinden biri olarak kabul edilmektedir. Tüketilen enerjinin gıdaya aktarılma oranları yaklaşık olarak indüksiyonlu pişirme için %90, geleneksel elektrikli sistemler için %74 ve gazlı ocak için %40'tır [35, 36].

Son yıllarda daha kaliteli, daha güvenli ve daha az enerji tüketen ürünlere olan talep artmaktadır. Bu tip ısıtma cihazları daha fazla müşteri çekmektedir. Alevli ısıtma, dirençli ısıtma veya fırın gibi diğer klasik ısıtma tekniklerine kıyasla avantajları nedeniyle, endüstriyel, ev içi ve tıbbi uygulamalarda indüksiyonla ısıtma tercih edilen ısıtma teknolojilerinden biri haline gelmektedir. İndüksiyon ısıtmanın avantajları arasında hızlı ısıtma, verimlilik, kontrollü ısıtma, endüstriyel süreçte kalite artışı, temizlik ve güvenlik sıralanabilmektedir. İndüksiyonlu ısıtma teknolojisi, indüksiyon hedefini doğrudan ısıtmakta, boşa giden ısıyı azaltmakta ve yüksek güç yoğunlukları ve herhangi bir termal atalet olmadan ısıtma sürelerini önemli

ölçüde azaltmaktadır. Bobin ve güç dönüştürücünün modern tasarımları %90'dan daha yüksek verimlilik değerleri elde edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, sadece indüksiyon hedefi ısıtıldığı için, ortamdan ve çevre elemanlardan kaybedilecek ısı kaybı en aza indirilmektedir. Uygulanan güç, bobinin ve güç dönüştürücünün uygun tasarımı ve kontrolü ile doğru bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Böylece bölgesel ısıtma ve önceden tanımlanmış sıcaklık profilleri gibi gelişmiş özellikler uygulanabilmektedir. İndüksiyonlu ısıtma sisteminin tutarlılığı ve sürdürülebilirliği kalite sürecini iyileştirmekte ve sürecin verimliliğini en üst düzeye çıkarmaktadır. Ayrıca, indüksiyonlu ısıtma temassız bir ısıtma işlemi olduğundan, endüksiyon hedefi ısıtıcıdan, yani bobinden etkilenmemekte ve kalite sağlanmaktadır. İndüksiyonlu ısıtma doğrudan indüksiyon hedefini ısıttığından, ısıtma alanının çevresinin sıcaklığı daha düşük olmaktadır. Ev tipi indüksiyonlu ısıtma sistemlerinde pişirme kabından dökülen gıda gibi diğer maddelerin yakılmasını önlemekte olup kolay temizlenebilme olanağı sunmaktadır. Ayrıca fosil yakıtla çalışan fırınlardan farklı olarak hava kirliliği oluşturmamaktadır. Bu avantajlar ve indüksiyonlu ısıtma teknolojisindeki son yıllarda kaydedilen ilerleme, indüksiyonlu ısıtmanın endüstriyel, evsel ve tıbbi uygulamalarını artırmıştır [35].

Ev tipi indüksiyonlu pişiricilerde otomatik pişirme, sıcaklık profili, sıcaklık kontrolü gibi uygulamalara olan talebin artmasıyla bu işlemleri kontrol edebilecek algılayıcılar kritik bir önem kazanmıştır. Pişirme kabı içerisindeki gıdanın sıcaklığını doğrudan temas ederek ölçmek yerine kalite ve hijyen algısını artıracak temassız ölçüm ve sıcaklık kestirimi uygulamaları ön plana çıkmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalarda son yıllardaki artış dikkat çekmektedir.

İndüksiyonlu pişirme teknolojisi, ev tipi pişirici ürünlere dahil olmasıyla Türk kahvesi makinesinde de kendine yer bulmuştur. Yeni geliştirilen Türk kahvesi makinelerinde bu yöntem kullanılmaktadır. Yüksek enerji verimliliği, pişirme kabında homojen ısı dağılımı ve temizleme kolaylığı gibi avantajlar sunan indüksiyonlu ısıtma teknolojisi ile Türk kahvesinin birleştiği bu nokta, daha önce kahve makinelerinde kullanılan pişme algılama sistemlerinin dezavantajlarına karşı alternatif bir pişme algılama yöntemi geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada da indüksiyonlu pişirici cihazlarda çalışılmış olan sıcaklık kestirimi ve kontrolü uygulamalarına benzer şekilde indüksiyonlu bir Türk kahvesi makinesinde temassız bir şekilde kahve sıcaklığı kestirimi yapabilen bir algılayıcı model ortaya konmuştur.

3.1 Sıcaklık Ölçümü

Evrendeki her bir parçacık sürekli hareket halinde bulunmaktadır. Bir malzemenin sıcaklığı, en basit şekilde, titreşen parçacıkların ortalama kinetik enerjisinin ölçüsü olarak tarif edilebilmektedir. Belirli bir malzemenin tüm molekülleri ve atomları eşit ölçüde hareket etmemektedir. Hepsi mikroskobik düzeyde farklı sıcaklıklarda olduğundan parçacıkların tamamının ortalama kinetik enerjisi, bir nesnenin sıcaklığını belirlemektedir. Bu süreçler termodinamik ve istatistiksel mekanik tarafından incelenmektedir. Eski çağlardan itibaren insanlar sıcaklığı ölçerek ısı enerjisinin yoğunluğunu değerlendirmeye çalışmışlardır. 1848’de Sir William Thomson (Lord Kelvin) termodinamiğin sıfıncı yasasını, “iki nesne üçüncü bir nesneyle termal olarak dengede ise, bu iki nesne birbirleriyle de termal olarak dengededir” şeklinde açıklamıştır. Bu yasada termal denge ile açıklanan sıcaklık eşitliği olup termodinamik sıcaklığın tanımlanmasını ve nesnel bir ölçüm yöntemi belirlenmesini sağlamıştır [41, 42].

Sıcaklığı ölçmek en basit ve en yaygın kullanılan yöntem termal genişlemedir. Cam bir tüp içindeki sıvının genişlemesine bağlı olarak sıcaklık ölçümü yapan termometrelerin çalışma prensibini bu yöntem oluşturmaktadır. Farklı bir yaklaşım olarak da bazı aygıtlarla ısı enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu algılayıcılardan bazıları dirençli, termoelektrik, yarı iletken, optik, akustik ve piezoelektrik algılayıcılardır. Bir nesnenin sıcaklığını ölçebilmek için, nesnenin termal enerjisinin algılayıcıya iletilmesi gerekmektedir. Nesnenin içine veya yüzeyine temas eden bir algılayıcı ile nesne arasında ısı geçişi gerçekleşmektedir. Aynı şekilde radyasyon yoluyla da temassız olarak ölçüm yapan algılayıcılar ile nesne arasında kızılötesi ışık formundaki termal enerji aktarımı ile ısı geçişi gerçekleşmektedir [42].

Tüm sıcaklık algılayıcıları mutlak sıcaklık ölçümü yapan algılayıcılar ve bağlı sıcaklık ölçümü yapan algılayıcılar olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Mutlak sıcaklık algılayıcıları, mutlak sıfır veya mutlak sıcaklık ölçeğindeki herhangi bir

noktayı referans olarak mevcut sıcaklığı ölçmektedir. Referans olarak alınan değere kalibrasyon sıcaklığı denmektedir. Örneğin 0°C yani 273.15 K değeri kalibrasyon sıcaklığı olarak seçilebilmektedir. Termistörler ve direnç sıcaklık dedektörleri (RTD) mutlak sıcaklık algılayıcılarına örnektir. Bağlı sıcaklık algılayıcıları ise bir nesnesi referans sıcaklık değeri olmak üzere iki nesne arasındaki sıcaklık farkını ölçmektedir. Bağlı sıcaklık algılayıcılarına örnek olarak ısı çiftleri verilmektedir [42, 43].

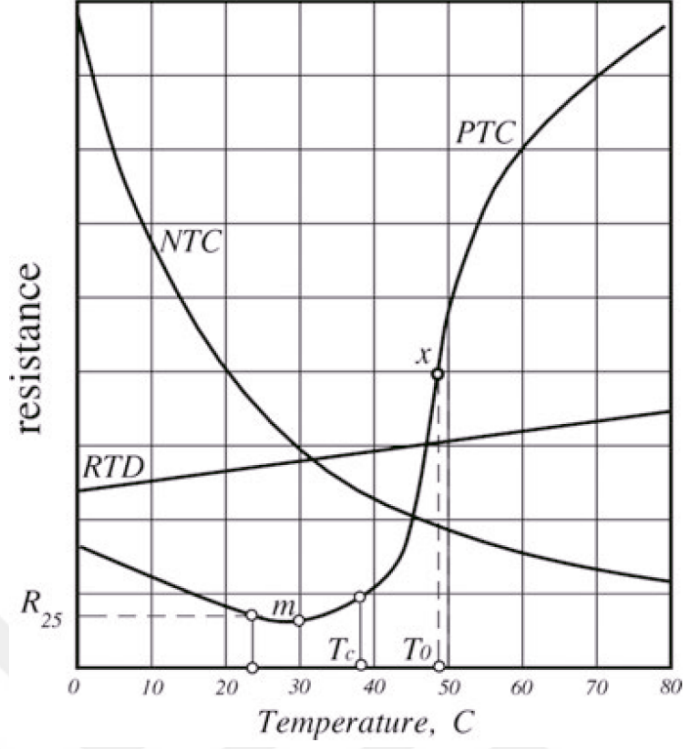
Direnç sıcaklık dedektörleri, metallerin elektriksel direncinin sıcaklık arttıkça yükselmesine veya sıcaklık düştükçe azalmasına bağlı bir temel prensipten faydalanarak sıcaklık ölçümü yapmaktadırlar. RTD'ler son derece hassas sıcaklık ölçümleri sağlamaktadır. Basit endüstriyel RTD'ler $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 'ye kadar, Platin direnç termometreleri ise (PRT'ler) $\pm 0.0001^\circ\text{C}$ 'ye kadar doğru ölçümler yapabilmektedir. Bu hassasiyetin ve doğru ölçüm kabiliyetinin karşılığında maliyetleri diğer sıcaklık algılayıcılarına göre daha yüksektir [41–43].

Termistörler RTD'lere göre daha ucuz, benzer hassasiyette fakat daha dar bir ölçüm aralığına sahip olan sıcaklık algılayıcılarıdır. Termistör terimi, termal ve direnç kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Termistörler NTC (Sıcaklıkla Direnci Azalan Termistör) ve PTC (Sıcaklıkla Direnci Artan Termistör) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Hassas ölçüm aralığı nedeniyle sıcaklık ölçümleri çoğunlukla NTC termistörleri kullanılmakta ve PTC termistörleri pek tercih edilmemektedir [41–44].

RTD, NTC ve PTC algılayıcıların 0°C – 80°C aralığında sıcaklık değişimine bağlı olarak dirençlerinin karakteristik değişimini gösteren grafik Şekil 3.1 ile sunulmuştur.

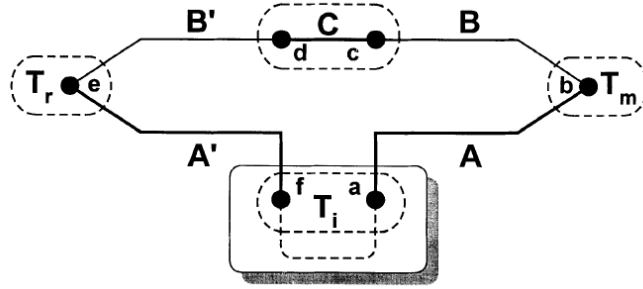
Modern ısı çift sıcaklık algılayıcılarının temel çalışma prensibi 1821'de Seebeck adlı bir Alman fizikçinin keşfettiği termoelektrik etkiye dayanmaktadır. Bu termoelektrik etki, farklı malzemelerden yapılmış iki iletken veya yarı iletkenin birleştirilerek elde edilen uçları farklı sıcaklıklara maruz bırakıldığında uçlar arasında bir termik gerilim meydana gelmesidir. Bunun nedeni sıcak uçtan soğuk uca doğru hareket eden elektronların zıt yönde oluşturduğu elektromotor kuvvettir. Bu şekilde oluşturulan devreye ısı çift devresi denmektedir. İki uçta da aynı sıcaklık değeri mevcutsa, her uçta üretilen gerilimler birbirini dengelemekte ve devrede elektron hareketine bağlı elektromotor kuvvet oluşmamaktadır. Bu nedenle bir ısı çift, sadece iki uç arasındaki sıcaklık farklarını ölçebilmektedir. Oldukça ucuz bir sıcaklık algılayıcısı olan ısı çiftleri bağlı sıcaklık ölçebildiğinden kalibrasyona ihtiyaç duymaktadır [41–43].

Şekil 3.2'de görülen ısı çift devresinde T_m ölçülmek istenen bölgenin b sıcaklığı, T_r ise referans olarak alınan bölgenin e sıcaklığıdır. c ile gösterilen bölge; biri referans biri ölçüm ucu olan iki birleşim noktasını c ve d terminallerinin kaplı devre edilmesiyle ısı çift devresinin tamamlandığını ifade etmektedir. Bu ısı çift



Şekil 3.1 RTD, NTC ve PTC algılayıcıların 0°C-80°C sıcaklık aralığında dirençlerinin değişimi [42]

devresinde T_m ile T_r arasındaki sıcaklık farkı ölçülebilmektedir. Bu sıcaklık farkı; devredeki a ve f açık devre terminalleri arasında oluşan Seebeck gerilimi ile orantılı olduğundan bu terminaller arasındaki gerilimin ölçülmesi ile hesaplanmaktadır. T_r ve T_i sıcaklıklarındaki bölgeler izotermal yani sabit sıcaklıkta olmalıdır [43].



Şekil 3.2 Isıl çift devresi şematığı [43]

Bir ısı çifti tarafından oluşturulan gerilim son derece küçüktür ve miliVolt mertebelerinde ifade edilmektedir. Üretildikleri malzemenin türüne bağlı olarak farklı ısı çifti türleri vardır. Bu yapısal farklılık ısı çifti tipleri arasında ölçüm yapabildikleri sıcaklık aralığında ve hassasiyetlerinde fark meydana getirmektedir [45, 46].

RTD, termistörler ve ısı çiftler haricinde yarıiletken, optik, akustik ve piezoelektrik sıcaklık algılayıcıları da bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen

deneylerde, istenen sıcaklık ölçüm aralığında iyi sonuçlar vermesi, kolay kullanımı ve ucuz maliyeti nedeniyle T-tipi ısı çift sıcaklık algılayıcılarının kullanılması tercih edilmiştir.

T-tipi ısı çiftinin Bakır pozitif bacağı ve Bakır-Nikel alaşımı negatif bacağı vardır. T-tipi ısı çiftinin sıcaklık ölçüm aralığı -200°C ile 350°C 'dir, $42\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ hassasiyete sahiptir ve tel renk kodu mavi ve kırmızıdır. Gıda sıcaklığı ölçümlerinde, çevresel sıcaklık ölçümlerinde ve soğutma uygulamalarında tercih edilmektedir [41, 46].

3.2 Algılayıcı Sistemin Tasarımı ve Deney Düzenegi

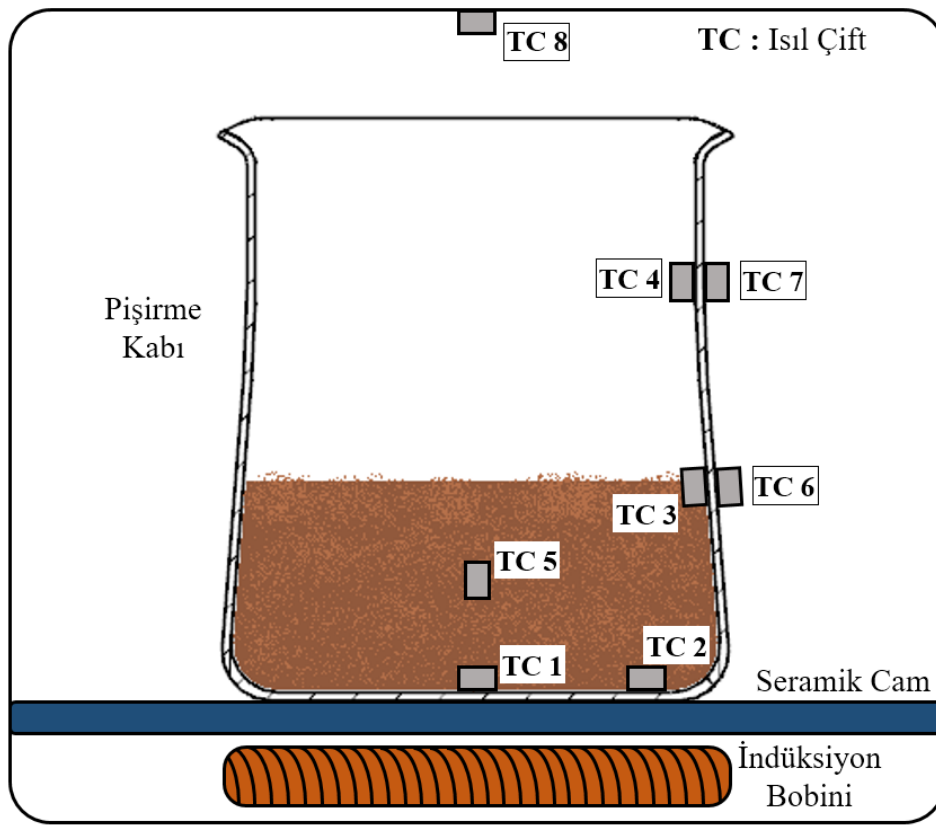
Karışım sıcaklığının gerçek zamanlı olarak ölçülememesi problemi heterojen sıvıların pişirilmesi için üretilmiş olan otomatik pişirme cihazlarının tasarımı aşamasında beliren sorunlardan biridir. Sıvı sıcaklığını olabildiğince doğru şekilde ölçebilmek için ise pişirme kabının içerisine bir ya da birden fazla sıcaklık algılayıcısı yerleştirilmesini önermek mümkündür. Fakat bu yöntem, sağlığa uygunluk, kötü görüntü, kalite algısının düşük olması gibi bir takım problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu problemlerin önüne geçmek ve kalite algısını yüksek tutmak için ev tipi indüksiyonlu ısıtıcılarda gıdaya temas etmeyen sıcaklık ölçüm yöntemleri tercih edilmektedir. Temassız ölçüm yöntemlerinde temel ilke, pişen gıdanın pişme durumu ya da sıcaklığı ile ölçülen niceliğin arasında matematiksel bir bağıntı oluşturmaktır.

İndüksiyonlu pişiricilerde bobinin oluşturduğu manyetik alan pişirme kabının altında daha fazla yoğunlaşarak bu bölgede daha fazla ısınmaya neden olmaktadır. Öte yandan, pişirme kabının yan duvarlarında manyetik alandan uzak olmaya bağlı olarak tabana göre daha farklı ısınma gerçekleşmesi beklenmektedir. Buna göre, pişirme işlemi sırasında pişirme kabında ısı dağılımının homojen olarak gerçekleşmeyeceği anlaşılmaktadır.

Heterojen bir karışımın pişirilmesi sırasında pişirme kabı dışındaki bir algılayıcı yardımıyla temassız olarak karışım sıcaklığını kestirebilmek amacıyla hali hazırda ticari bir ürün olarak piyasada bulunabilen bir indüksiyon ısıtıcılı Türk kahvesi makinesi kullanılmıştır.

İndüksiyon ısıtıcılı Türk kahvesi makinesinde, pişirme kabındaki homojen olmayan ısı dağılımı nedeniyle pişirme kabı üzerindeki herhangi bir noktadan doğrudan kahve sıcaklığını bilmek mümkün olmamaktadır. Türk kahvesi makinesi üzerinde kahvenin ve pişirme kabının çeşitli bölgelerinin sıcaklıklarının ölçülmesi için değişiklikler yapılmış ve deney düzenegi olarak kullanılmıştır.

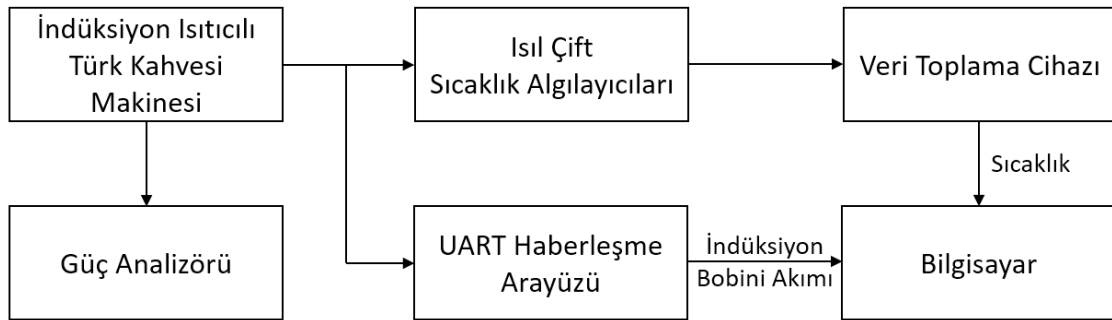
Kahvenin ve pişirme kabının sıcaklıklarının ölçülmesi için ısı çift sıcaklık algılayıcılarının yerleşimi de dahil olmak üzere deney düzeneğinin genel yapısı Şekil 3.3'te gösterilmektedir. Bu yapıda fark edilebileceği gibi karışım sıcaklığı yanı sıra pişirme kabının iç ve dış yüzeylerinin sıcaklığı ile buhar sıcaklığı ölçülmektedir. Düzenekteki çeşitli konumlardan sıcaklık verilerini toplamak için, pişirme kabının iç yüzeyinde belirlenen konumlara dört sıcaklık algılayıcısı (TC1-TC4), pişirme kabının dış yüzeyinde belirlenen konumlara ise iki sıcaklık algılayıcısı (TC6-TC7) yerleştirilmiştir. Ek olarak, karışımın yani kahvenin sıcaklığını ölçmek için bir sıcaklık algılayıcısı (TC5) ve karışımdan çıkan buhar sıcaklığını ölçmek için pişirme odasının üstüne başka bir sıcaklık algılayıcısı (TC8) yerleştirilmiştir.



Şekil 3.3 Deney düzeneği ve sıcaklık algılayıcılarının yerleşimi

Sensör verilerini gerçek zamanlı olarak kaydetmek için bir bilgisayar ve bir veri toplama sistemi kullanılmıştır. Sıcaklık algılayıcılarından elde edilen veriler, Keysight 34970A veri toplama cihazı ile bilgisayara aktarılmıştır. Öte yandan, pişirme kabına aktarılan güç miktarı, indüksiyonlu pişirme sistemlerindeki yüksek verimlilik nedeniyle bobin akımı ile ilişkilendirilebilmektedir. İndüksiyon ısıtıcılı Türk kahvesi makinesi, pişirme işlemi sırasında 500W gücü pişirme kabına aktaracak şekilde programlanmıştır. Farklı deney koşulları için ürünün yazılımı değiştirilerek güç ayarlanabilmektedir. Kahve makinesinin donanımındaki yapı ile bobin akımı ölçülerek elde edilen değerler makinenin haberleşme protokolü aracılığıyla bilgisayar ortamına

aktarılmaktadır. Deneyler sırasında Türk kahvesi makinesinin güç, akım, gerilim gibi elektriksel bilgileri Chroma 66202 güç analizörü ile takip edilmiştir. Veri toplama sisteminin genel şeması Şekil 3.4'te verilmiştir.



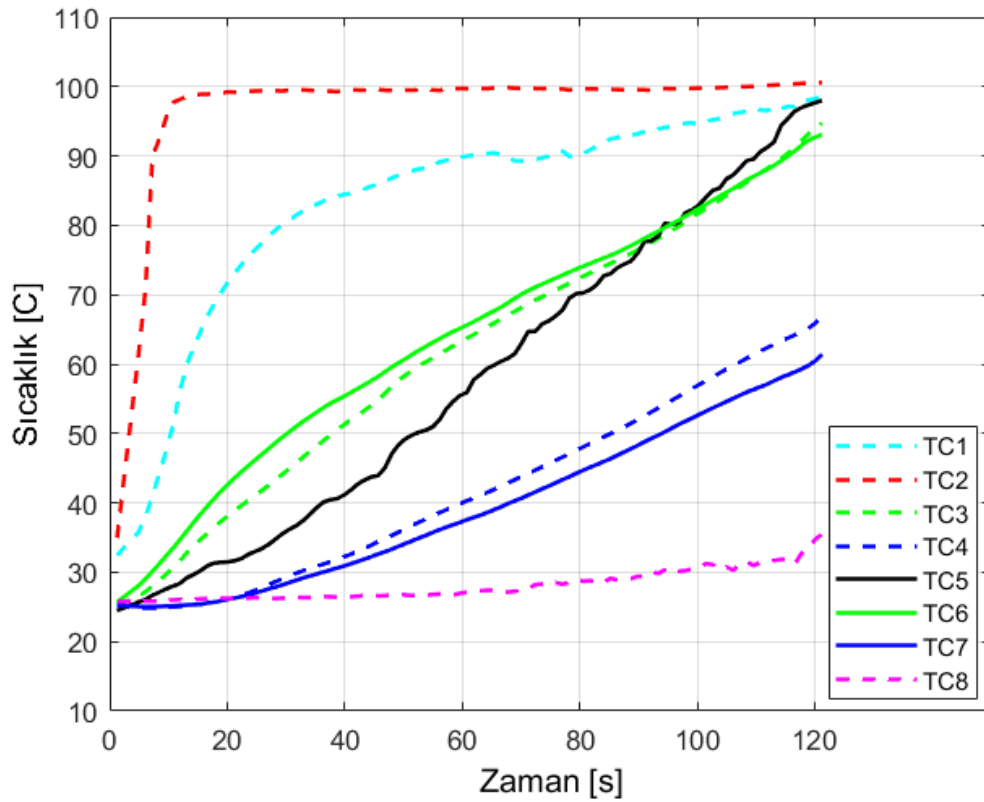
Şekil 3.4 Veri toplama sisteminin şematik gösterimi

3.3 Sıcaklık Algılayıcıları ile Gerçekleştirilen Ön Deneylerin Sonuçları

İndüksiyon ısıtıcılı Türk kahvesi makinesi üzerinde hazırlanan deney düzeneğinde, önerilen yöntemin gerçekleştirilmesine yönelik olarak pişirme deneyleri yapılarak sıcaklık algılayıcılarından veriler toplanmıştır. Bu aşamada, deney düzeneğine yerleştirilen tüm sıcaklık algılayıcılarından alınan veriler pişirme işlemi süresince kaydedilmiştir. Pişirme işlemleri sırasında makinenin pişirme kabına aktardığı güç normal değer olan 500W olacak şekilde ayarlanmış ve deneylerde iki porsiyonluk kahve ile su kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan suyun sıcaklığı 20°C olarak belirlenmiştir.

Pişirici cihazlarda pişirme işlemini kontrol etmek için takip edilecek en önemli veri sıcaklıktır. Bununla birlikte, pişirilen karışımın sıcaklığının ölçülmesi, sıcaklık algılayıcılarının pişirme kabı içine yerleştirilememesi nedeniyle çok zor bir iştir. Sıcaklıkları izlemek için deney düzeneğine yerleştirilen sekiz algılayıcıdan elde edilen veriler Şekil 4.1'de sunulmaktadır. Bu veriler sayesinde pişirme kabının, pişirilen karışımın ve karışımın buhar sıcaklığının pişirme işlemi sırasındaki karakteristiği görülebilmektedir.

Veriler incelendiğinde, pişirme kabının her bölümündeki sıcaklık eğrilerinin farklı olduğu göze çarpmaktadır. Pişirme kabının tabanında, tam merkezde bulunan TC1 ile yine tabanda, merkezden uzakta ve kenara yakın yerde bulunan TC2'den elde edilen veriler arasındaki fark görülmektedir. İki algılayıcı da taban düzleminde bulunmasına rağmen indüksiyon bobinin oluşturduğu manyetik alan bu iki noktada farklı yoğunluklarda olduğundan kazandıkları ısı enerjisi de farklı olmaktadır. İndüksiyon ısıtıcılı Türk kahvesi makinesinin bobin tasarımı nedeniyle pişirme



Şekil 3.5 Deney düzeneğine yerleştirilen algılayıcılardan elde edilen veriler

kabındaki manyetik akı yoğunluğu merkeze göre pişirme kabının taban kenarlarında daha fazla olduğundan sıcaklık bu bölgede daha hızlı artış göstermektedir.

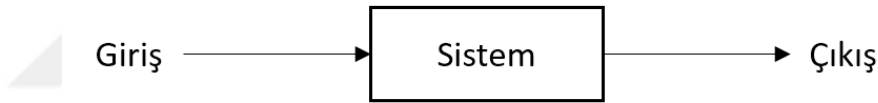
TC3 ile TC6 algılayıcıları, biri içerde biri dışarıda olacak şekilde pişirme kabının tabanından aynı yüksekliğe denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Benzer şekilde TC4 ve TC7 algılayıcıları da pişirme kabının tabanından aynı yükseklikte fakat dökme ağzına yakın olacak şekilde yerleştirilmiştir. Aynı seviyedeki algılayıcılar dikkate alındığında iç ve dış kısımlar arasındaki sıcaklık farkının, metalik malzemenin et kalınlığının ince olması ve hızlı ısı transfer özelliğine sahip olması nedeniyle çok düşük olduğu gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, taban seviyesine yakın bölgede dış sıcaklık pişirme işlemi süresince iç sıcaklıktan bir miktar yüksek değerler alırken, dökme ağzına yakın bölgede tam tersi bir durum gerçekleşmektedir. Bu durumun nedeni yüzey katmanı etkisi ve manyetik akıya yakınlıktır. Bir indüksiyon ısıtıcıda, indüklenen nesnenin dış yüzeyi, yüzey katmanı etkisi nedeniyle her zaman nesnenin iç yüzeyinden daha fazla ısınmaktadır. Öte yandan, pişirme kabının taban kısmı manyetik alan kaynağına yakın olduğu için daha fazla ısınırken, kabın yan kenarlarında tabandan uzaklaştıkça manyetik akı yoğunluğu azalacağı için daha az ısınma gerçekleşmektedir. Böylece, pişirme kabının yan duvarlarında ağız kısmına yakın bölgede indüklenme nedeniyle oldukça az bir ısınma gerçekleşmektedir. Fakat

pişirme kabının tabanı çok hızlı bir şekilde yüksek sıcaklıklara ulaşarak temas ettiği kahve karışımını ısı transferi ile ısıtmaktadır. Karışım sıcaklığı daha yüksek sıcaklıklara ulaştığı için pişirme kabının üst kısımlarında karışım ile iç yüzey arasında ısı transferi gerçekleşmektedir. Bu şekilde pişirme kabının üst kısımlarında yan duvar iç yüzeyinde sıcaklık değeri dış kısımdan biraz daha yüksektir.

Kahve karışımının ortasında bulunan TC5 sıcaklık algılayıcısından elde edilen sonuçlar, kahve sıcaklığının giriş ile doğrusal sayılabilecek bir ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu doğrusal karakteristik pişirme sürecinin başlangıcında ve sonunda ihlal edilmektedir. Türk kahvesinin kaynama sıcaklığına yaklaştığı sırada köpürerek kabarma aşaması başlamakta ve bu doğrusal benzeri davranış tamamen ortadan kaybolmaktadır. Öte yandan, buharlaşma sıcaklığını ölçmek için yerleştirilmiş olan TC8 sıcaklık algılayıcısından elde edilen değerlerde köpürme aşamasının başlangıcına kadar önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Bu nedenle, buhar sıcaklığı bilgisini kullanarak karışımın sıcaklığını tüm işlem süreci boyunca elde etmek mümkün değildir.

Algılayıcılardan toplanan verilerin incelenmesinden sonra, sıcaklık algılayıcılarının kullanımının kahve sıcaklığını tahmin etmek ve pişirme durumunu izlemek için yararlı olabileceği sonucuna varmak uygundur. Karışım içindeki sıcaklık algılayıcısından elde edilen verilerle matematiksel bir ilişki gösterdiği sürece pişirme kabının dışında bir konumda bulunan sıcaklık algılayıcısından elde edilen verilerin güvenilir ve etkili olması beklenmektedir. Elbette sıcaklık algılayıcısı karışım ile doğrudan temasla kullanıldığında, tüm işlem boyunca karışım sıcaklığını izlemek ve pişirme sürecini kontrol etmek kolayca mümkün olsa da önceden belirtilen nedenlerden dolayı bir algılayıcının karışım içine yerleştirilmesi istenmemekte ve bundan kaçınmak için bir sonraki bölümde bir yöntem sunulmaktadır.

Piştirme kabından elde edilen sıcaklık verilerinin incelenmesinin ardından doğrudan temas etmeyerek piştirme kabı içindeki karışım sıcaklığının kestirilmesine yönelik tasarlanan algılayıcı model bu bölümde anlatılmıştır. Bir sistem, farklı türlerdeki değişkenlerin etkileştiği ve gözlemlenebilir sinyaller ürettiği bir yapıdır. Üretilen gözlemlenebilir sinyaller sistemin çıkışı, bunları belirleyen ve istenildiği gibi ayarlanarak sistemi etkileyen sinyaller de sistemin girişidir. Bunların haricinde sistemi etkileyen gürültüler ve gözlenemeyen iç parametreler mevcuttur [47]. Şekil 4.1’de basit bir sistem gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Açık çevrim kontrol sistemi

Bir sistemin modeli o sistemin matematiksel olarak ifade ediliş şeklidir ve sistemin özellikleri ile davranışı hakkında bilgi vermektedir. Bir kontrol sistemi, modellenmiş bir sisteme belirtilen bir giriş sinyali uygulandığında istenen performansa sahip bir çıkışı elde etmek amacıyla bir araya getirilen alt sistemler ve işlemlerden oluşmaktadır. Kontrol sistemlerini açık çevrim ve kapalı çevrim olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Şekil 4.1’deki sistem, bir açık çevrim kontrol sistemine örnektir. Kapalı çevrim yani diğer bir deyişle geri beslemeli kontrol sistemlerine örnek olarak ise Şekil 4.2’deki sistem gösterilmektedir. Kapalı çevrim sistemler gürültüden, bozucu etkilerden ve çevredeki değişimlerden daha az etkilendiği için açık çevrim sistemlere göre daha yüksek doğruluğa sahiptir. Kapalı çevrim sistemlerde hatalar geri besleme sayesinde basit bir kazanç ayarlaması gibi yöntem ile düzeltilebilmektedir [48].

Kontrol sistemleri çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kontrol uygulamalarında yaşanan problemlerden biri, kontrol edilmek istenen niceliğin istenen değere ulaşp ulaşmadığının her zaman ölçülememesidir. Çoğu uygulamada kontrol edilen parametreyi ölçmek için algılayıcılar kullanılmaktadır. Bu algılayıcılardan elde edilen



Şekil 4.2 Kapalı çevrim kontrol sistemi

sinyaller geri besleme olarak kullanılmakta ve kontrol işlemi sırasında meydana gelen hatalar çeşitli yöntemlerle düzeltilebilmektedir. Fakat her uygulamada algılayıcı kullanılması, yüksek fiyatlara sahip olması veya ölçüm yapılacak koşulların zorlu olması gibi nedenlerden dolayı mümkün olmamaktadır. Böyle durumlarda kontrol sistemlerinin tasarımında gözleyici yapılar tercih edilmektedir. Gözleyici, sistemin diğer parametrelerini ve algılanan diğer sinyalleri kullanarak ölçülemeyen durum hakkında bir tahmin üretmektedir. Böylece algılayıcı kullanılmayan sistemlerde algılayıcı olmadan ölçülmek istenen durumun bilgisi elde edilmiş olur. Aynı zamanda, algılayıcının sinyaline güvenilmeyen uygulamalarda algılayıcı ile birlikte kullanıldığında daha güvenilir bir bilgi elde edilmesini sağlamaktadır [49, 50].

Bu çalışmada kontrol edilmeye çalışılan heterojen sıvı karışımı sıcaklığını, daha önce bahsedilen nedenlerden dolayı temassız olarak bilmek istendiğinden, gözleyici kullanarak kestirmek mümkündür. Bu nedenle, ilk olarak dinamik sistemin modelinin oluşturulması gerekmektedir. İndüksiyonlu Türk kahvesi makinesinde indüksiyon bobininden pişirme kabına aktarılan ısı, kahve karışımının sıcaklığı ve pişirme kabının dış kısmının sıcaklığı arasında ısı transferine dayanan dinamik bir ilişki bulunmaktadır [51]. Ayrıca indüksiyon ısıtma teknolojisine sağladığı yüksek verim nedeniyle indüksiyon bobinine aktarılan akım ile pişirme kabına aktarılan ısı arasında doğrudan bir ilişki vardır. Bu dinamik ilişki matematiksel olarak ifade edildiğinde, fiziksel olarak ölçülemeyen kahve sıcaklığının tüm pişirme işlemi boyunca kestirilebilmesi mümkündür.

Bu çalışmanın temel amacı olan pişirme kabı dışarısına yerleştirilmiş bir sıcaklık algılayıcısı yardımı ile heterojen bir karışımın sıcaklığının pişirme işlemi sırasında temassız olarak kestirilmesi işleminin sağlanmasına yönelik olarak, indüksiyonlu Türk kahvesi makinesinde kullanılan pişirme kabının içerisinde ve dışarısında birer sıcaklık algılayıcısı kullanılmıştır (Şekil 4.3). Böylece, indüksiyon bobini akımı da kullanılarak, pişirme kabının iç ve dış sıcaklıkları arasındaki ilişkinin ortaya konulup fiziksel sistemin dinamik modelinin oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amaçla tüm sistemin modelini elde etmek üzere, kahve sıcaklığı, pişirme kabı sıcaklığı

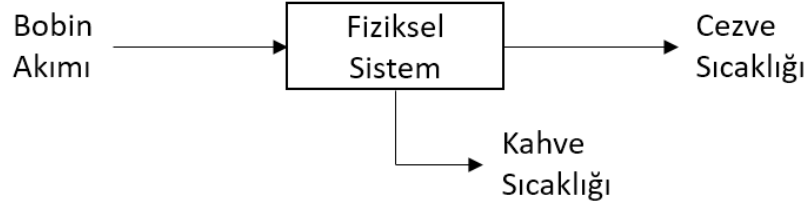
ve bobin akımı verileri kullanılarak MATLAB Sistem Tanıma Aracı kullanılmıştır. Bunun ardından, kahve sıcaklığının gerçek zamanlı kestirimi için gözleyici benzeri bir yapı geliştirilmiştir. Bu işlemler, pişirme kabı üzerinde farklı bir konuma daha yerleştirilen sıcaklık algılayıcısı için tekrarlanarak algılayıcının konumunun sıcaklık kestirimi başarısına etkisi karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.3 Deney düzeneği

İndüksiyonla ısıtma işleminde, ısıtıcı bobinin alternatif akım ile sürülmesiyle birlikte bobin etrafında manyetik alan meydana gelmektedir. Ferromanyetik malzemeden üretilmiş olan pişirme kabı bu alana yerleştirildiğinde indüklenme ile ısınmaya başlamaktadır. Pişirme kabının tabanındaki yoğun indüklenme ilk olarak taban sıcaklığının artmasını sağlamaktadır [39, 52]. Isı kaynağı haline gelen pişirme kabı tabanı, pişirme kabının içinde taban ile temas etmekte olan kahve ve su karışımının sıcaklığının ısı transferi yoluyla yükselmesine neden olmaktadır [39, 51]. Pişirme kabının yan duvarları ise indüklenmeden minimum düzeyde etkilenmektedir [39, 53]. Bu bölgeler ile pişirme kabının tabanı ve kahve karışımı arasında ısı geçişi gerçekleşmesi sonucu kabın yan kısımlarının sıcaklığı yükselmeye başlamaktadır [54]. Sistemin matematiksel modeli bu fiziksel bağıntıya göre kurgulanmıştır. Bu noktada dikkat edilmesi gereken nokta, ölçülebilen nicelik olan pişirme kabı sıcaklığının çıkış olarak kullanılması ve pişirme işleminin kontrolü için gerekli olan kahve sıcaklığının ise sistemin ölçülemeyen bir durumu olmasıdır. Bu fiziksel sistem Şekil 4.4'teki gibi girişi bobin akımı, çıkışı ise pişirme kabı sıcaklığı olacak şekilde ifade edilebilmektedir.

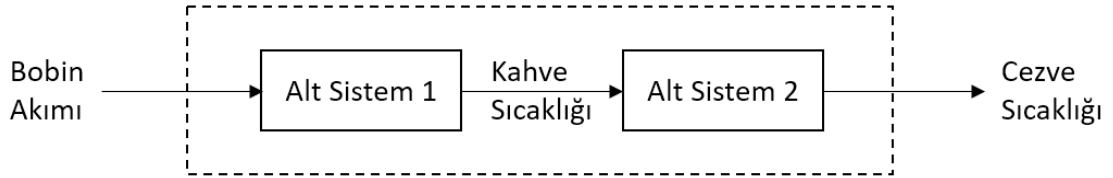
Kahve sıcaklığının kestirilmesini sağlayacak sistem modelini oluşturmak üzere, kahve pişirme deneyleri yapılarak pişirme kabının iç ve dış sıcaklıkları ile bobin akımı



Şekil 4.4 Fiziksel sistemin blok diyagramı

verileri toplanmıştır. Kahve pişirme deneylerinde ısıtıcı gücü 500W, kullanılan su sıcaklığı 20°C ve su ile kahve miktarı iki porsiyonluk olacak şekilde ayarlanmıştır. Sistem modeli, elde edilen deneysel verilerden yararlanarak sistem tanıma yöntemi ile 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.

Bobin akımı, kahve sıcaklığı ve pişirme kabı sıcaklığı arasındaki ilişkiye dayanan fiziksel sistem, iki ayrı alt sistemden oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Bu iki alt sistem sırasıyla girişi bobin akımı ve çıkışı kahve sıcaklığı olan alt sistem ile girişi kahve sıcaklığı ve çıkışı pişirme kabı sıcaklığı olan alt sistemdir. Alt sistemler, dinamik sistemi Şekil 4.5'te gösterildiği gibi seri bağlı bir şekilde matematiksel olarak ifade etmektedir.



Şekil 4.5 Önerilen modelin blok diyagramı

Fiziksel sistemin iki alt sistemi olarak belirlenen matematiksel modellerin oluşturulması için MATLAB Sistem Tanıma Araç Kutusu kullanılmıştır. Sistem Tanıma Araç Kutusu, ölçülen giriş-çıkış verilerinden dinamik sistemlerin matematiksel modellerini oluşturmayı sağlayan, MATLAB fonksiyonlarını ve Simulink bloklarını içeren bir uygulamadır. Kolayca modellenemeyen dinamik sistemlerin modellerini oluşturmayı ve kullanmayı sağlamaktadır [55]. Doğrusal bir model genellikle sistem dinamiklerini doğru bir şekilde tanımlamak için yeterli olmaktadır. Durum-uzay modelleri, bir sistemi birinci veya daha fazla dereceden diferansiyel denklem ile ifade etmek yerine bir dizi birinci dereceden diferansiyel denklemle tanımlayan modellerdir. Durum-uzay modeli yapısı giriş, çıkış ve durum değişkenleri kümesinden oluşmakta ve sistem kestirimi için hızlı ve pratik bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Durum-uzay modeli ile hem sürekli hem de ayrık zamanlı doğrusal sistemler temsil

edilebilmektedir [47, 48]. Bu çalışmada fiziksel sistemi temsil eden her bir alt sistem modeli ayrık zamanlı, doğrusal ve zamanla değişmeyen yapıda ele alınmıştır. Dolayısı ile bu alt sistemlere ilişkin dinamik modellerin genel gösterimleri (4.1) ve (4.2) ile verilmektedir [48].

$$x_n(k+1) = A_n x_n(k) + B_n u_n(k) \quad (4.1)$$

$$y_n(k) = C_n x_n(k) \quad (4.2)$$

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.

Ayrık zamanlı, doğrusal ve zamanla değişmeyen yapıdaki durum-uzay modeline sahip sistem modelleri için sistem parametreleri, deneylerde ölçülen giriş ve çıkış verilerinden, Sistem Tanıma Araç Kutusu ile oluşturulmuştur. İlk alt sistem için giriş verisi ölçülen indüksiyon bobin akımı, çıkış ise kahve sıcaklığını ölçen sıcaklık algılayıcısından elde edilen deneysel verilerdir. İkinci alt sistem için giriş algılayıcı ile ölçülen kahve sıcaklığı, çıkış ise pişirme kabının dışına yerleştirilen sıcaklık algılayıcısının ölçtüğü deneysel verilerdir.

Test ve doğrulama deneylerin giriş ve çıkış verileri Sistem Tanıma Araç Kutusu'nun arayüzüne tanıtılmış ve ayrık zamanlı durum-uzay modeli oluşturulması için iterasyonlar yapılmıştır. Birçok iterasyonun ardından oluşturulan modellerden elde edilen değerler ile gerçek değerler araç kutusu tarafından karşılaştırılmıştır. Gerçek değerler ile modelden elde edilen değerler arasındaki uyum oranı araç kutusu tarafından ortalama hata kareleri kökü (RMSE) yöntemi kullanılarak değerlendirilmektedir [53]. Sistemin durum-uzay modelinin parametreleri, modellerden elde edilen değerler ile gerçek değerlerin karşılaştırılmasının ardından en iyi uyum oranına sahip olan modelin parametreleri olarak belirlenmiştir.

Önerilen yöntem ile heterojen bir karışımın pişirme işlemi sırasındaki sıcaklığının temassız olarak kestirilmesi için pişirme kabının dış kısmında bir nokta belirlenerek sistem çıkışı olarak kullanılacak sıcaklık verilerini elde edebilen bir algılayıcı yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlem için iki alternatif nokta olarak TC6 ve TC7 ısı çift algılayıcılarının yerleştirildiği konumlar belirlenmiştir. Bu nedenle, belirlenen bu iki nokta için ikinci alt sistem modelleri, her iki ısı çift algılayıcıdan pişirme deneylerinde toplanan veri setleri ile Sistem Tanıma Araç Kutusu kullanılarak ayrı ayrı oluşturulmuştur. İlk alt sistem için ise ortak bir model oluşturulmuştur. Daha sonra tasarlanan modeller ile ayrı ayrı doğrulama deneyleri yapılarak elde edilen sonuçlar

incelenmiştir.

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

$$A_1 = 10^{-3} \begin{bmatrix} 1010.57 & 14.94 & -3.27 \\ -140.52 & 816.79 & -16.39 \\ -2.54 & 4.33 & 845.66 \end{bmatrix},$$

$$B_1 = 10^{-6} \begin{bmatrix} -3.13 \\ -3420.42 \\ -9377.82 \end{bmatrix},$$

$$C_1 = [-406.12 \quad -2.89 \quad -0.32]$$

olarak, TC6 sıcaklık algılayıcısı kullanılarak yapılan deneylerde ikinci alt sistem için;

$$A_{2,TC6} = 10^{-3} \begin{bmatrix} 1025.83 & -30.77 & -1.13 \\ 64.18 & 942.63 & -79.11 \\ 19.76 & -1.81 & -938.08 \end{bmatrix},$$

$$B_{2,TC6} = 10^{-3} \begin{bmatrix} 0.22 \\ -0.47 \\ -20.97 \end{bmatrix},$$

$$C_{2,TC6} = [186.97 \quad -2.65 \quad 0.02]$$

olarak, TC7 sıcaklık algılayıcısı kullanılarak yapılan deneylerde ikinci alt sistem için;

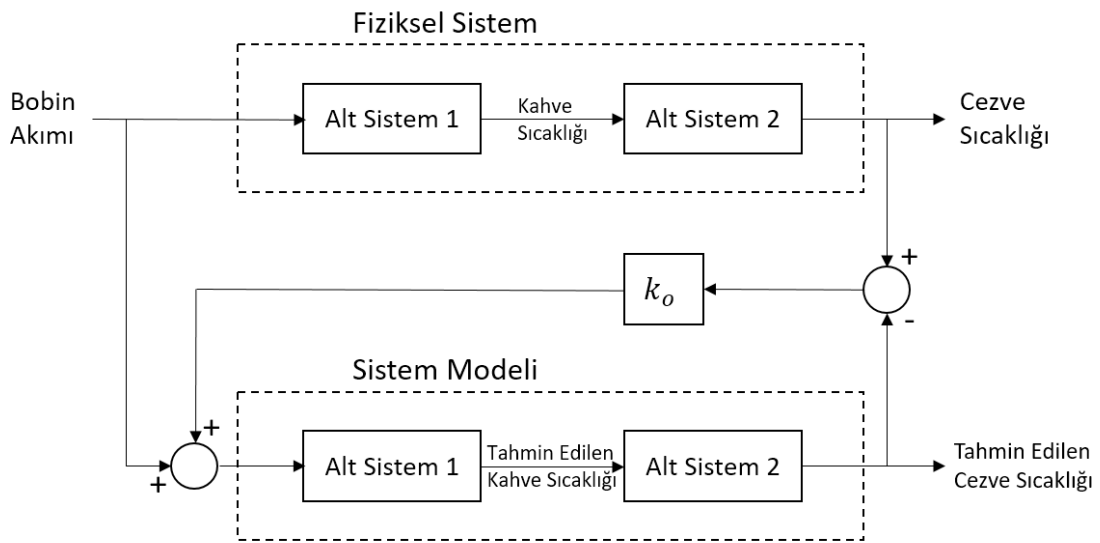
$$A_{2,TC7} = 10^{-3} \begin{bmatrix} 995.05 & -4.96 & 4.27 \\ -65.16 & 896.27 & -27.22 \\ 144.54 & 286.96 & 509.43 \end{bmatrix},$$

$$B_{2,TC7} = 10^{-3} \begin{bmatrix} -0.01 \\ 0.27 \\ 2.04 \end{bmatrix},$$

$$C_{2,TC7} = [-22748 \quad 8.81 \quad -26.62]$$

biçiminde sunulmaktadır.

Fiziksel sisteme ait matematiksel model oluşturulduktan sonra, karışımın ölçülemeyen sıcaklığını kestirmek için bir Luenberger gözleyici yapısı oluşturulmuştur (Şekil 4.4). Luenberger gözleyici, kestirim ve hata düzeltme gibi konularda tercih edilen bir yöntemdir. Sistemlerin modelleri gerçek sistemle birebir aynı olması mümkün olmayan matematiksel yaklaşımlardır. Bu nedenle sistem modelleri kullanılarak kestirim yapıldığında modelden kaynaklanan hatalar ile karşılaşmaktadır. Bu yöntem ile, gerçek sistemi matematiksel olarak ifade eden bir model kullanarak sistemin bir durumu kestirilebilmektedir. Ardından bir algılayıcı yardımıyla ölçülen veri ile bu kestirim karşılaştırılarak düzeltme yapılmaktadır [49, 50]. Bu çalışmada, indüksiyonlu Türk kahvesi makinesinde pişirme kabının içine yerleştirilmiş bir algılayıcı ile kahve karışımı sıcaklığının doğrudan temas ederek ölçülmesi yerine temassız bir şekilde kestirilmesi amaçlanmaktadır. Oluşturulan sistem modelinde Luenberger gözleyici yapısı kullanılarak modelden kaynaklanan hatanın bir geri besleme ile düzeltilmesi ve daha doğru bir kahve karışımı sıcaklığının kestirilmesi mümkün olmaktadır. Bu amaçla, pişirme kabının dış yan duvarına yerleştirilmiş bir sıcaklık algılayıcısı ile fiziksel ortamdan veri alınmaktadır.



Şekil 4.6 Kahve sıcaklığı kestirimi için gözleyici modeli

Gözleyici yapıya bakıldığında, ilk alt sistem girişinin u_c ile gösterilen sabit olduğu ve ilk alt sistemin çıkışının ikinci alt sistemin girişi olduğu göz önüne alındığında, (4.1) her alt sistem için şu şekilde yeniden yazılabilmektedir:

$$x_1(k+1) = A_1 x_1(k) + B_1 u_c(k) \quad (4.3)$$

$$x_2(k+1) = A_2 x_2(k) + B_2 C_1 x_1(k) \quad (4.4)$$

k_o skaler bir değere sahip gözleyici kazancı olmak üzere gözleyici denklemleri de şu şekilde yazılabilmektedir:

$$\hat{x}_1(k+1) = A_1\hat{x}_1(k) + B_1u_c(k) + k_oB_1C_2(x_2(k) - \hat{x}_2(k)) \quad (4.5)$$

$$\hat{x}_2(k+1) = A_2\hat{x}_2(k) + B_2C_1\hat{x}_1(k) \quad (4.6)$$

(4.5)'ten (4.3)'ün ve (4.6)'dan (4.4)'ün çıkarılmasıyla gözleyici hatası denklemleri şu şekilde elde edilmektedir:

$$\tilde{x}_1(k+1) = A_1\tilde{x}_1(k) - k_oB_1C_2\tilde{x}_2(k) \quad (4.7)$$

$$\tilde{x}_2(k+1) = A_2\tilde{x}_2(k) + B_2C_1\tilde{x}_1(k) \quad (4.8)$$

(4.7) ve (4.8) düzenlenerek elde edilen kapalı döngü gözleyicinin matris formu şu şekilde yazılmaktadır:

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_1(k+1) \\ \tilde{x}_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & -k_oB_1C_2 \\ B_2C_1 & A_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_1(k) \\ \tilde{x}_2(k) \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Karışımın gözlenen sıcaklığı $\tilde{x}_1(k)$ ile gösterilmektedir. Buna göre, gözleyici hatası, algılayıcı ile ölçülen kahve karışımı sıcaklığı ile gözleyici tarafından kestirilen sıcaklık farkı dikkate alınarak belirlenmektedir. Bu hata, sabit gözleyici kazancı k_o ile çarpılarak sisteme geri beslenmektedir. Ayrıca, kapalı döngü gözleyici dinamiklerinin sistem matrisi kararlılık üzerinde önemli bir rol oynamaktadır ve sabit gözleyici kazancı k_o değerinin buna göre belirlenmesi gerekmektedir. Bu uygulamada, gözleyici kazancının en uygun değeri, deneysel verilerle yapılan benzetimlerde en küçük kareler yöntemi kullanılarak hesaplanan ve en az kestirim hatasını sağlayan k_o değeri olarak belirlenmiştir [56, 57]. TC6 ve TC7 için hesaplanan $k_{o,TC6}$ ve $k_{o,TC7}$ değerleri sırasıyla 0.01 ve 1.62 olarak belirlenmiştir.

5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Önceki bölümde, çalışmanın esas amacı olan temassız sıcaklık algılama işlemine yönelik olarak oluşturulan sistem modeli tasarım süreci detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu bölümde, Türk kahvesi pişirme deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak, önerilen algılayıcı sistem modelinin kahve karışımının sıcaklığını kestirme başarısı incelenmiştir. Model, kaydedilmiş deney verilerinin MATLAB Simulink ortamına aktarılarak benzetim gerçekleştirilmesi ile test edilmiştir. Benzetimler, TC6 ve TC7 için ayrı ayrı tekrarlanmıştır.

Çalışma kapsamında indüksiyonlu Türk kahvesi makinesi ile yapılan Türk kahvesi pişirme deneylerinde, pişirme işlemi sırasında pişirme kabının hem içinden kahve sıcaklığı hem de dışından pişirme kabı sıcaklığı bilgisi 1 saniyelik bir örnekleme ile kayıt altına alınmıştır. Ayrıca, bu sıcaklık değerlerine karşılık gelen indüksiyon bobini akım değerleri de kaydedilmiştir. İndüksiyonlu Türk kahvesi makinesi pişirme kabına 500W aktaracak şekilde programlanmıştır. Normal pişirme testlerinin haricinde sistem cevabını farklı koşullar altında gözlemlemek amacıyla ısıtıcı gücü 480W ve 520W değerine ayarlanarak da pişirme deneyi yapılmıştır. Yapılan deneylerde iki kişilik porsiyon olarak belirlenen yaklaşık 14 gram Türk kahvesi ve yaklaşık 20°C sıcaklıkta 150mL su kullanılmıştır. 500W gücündeki pişirme testleri için 10 pişirme benzetimi, 480W ve 520W gücündeki pişirmeler için ise birer pişirme benzetimi, TC6 ve TC7 için tekrarlı şekilde gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen benzetimler sonucunda elde edilen kahve sıcaklığının kestirilen verileri, pişirme kabı içinden ölçülen gerçek kahve sıcaklığı verileri ile karşılaştırılmıştır. Buradan yola çıkılarak, her bir örnekleme süresine karşılık gelen gerçek kahve sıcaklığı ile kestirilen kahve sıcaklığı değerleri arasındaki farkın mutlak değeri alınarak pişirme işlemi sırasında oluşan sıcaklık kestirimi hatalarının ortalama ve en fazla değerleri hesaplanmıştır.

TC6 ve TC7 kullanılan deneyler için ayrı ayrı hesaplanan ortalama ve en fazla sıcaklık kestirim hatası değerleri, 25°C ile 90°C sıcaklık aralığı için ve 70°C ile 90°C sıcaklık

Tablo 5.1 25°C-90°C aralığında ortalama ve en fazla sıcaklık kestirim hatası

Güç[W]	Ortalama Kestirim Hatası		En Fazla Kestirim Hatası	
	TC6	TC7	TC6	TC7
480	6.04	3.17	8.74	6.02
500	2.24	1.66	6.17	5.56
520	3.81	3.14	6.83	6.36

Tablo 5.2 70°C-90°C aralığında ortalama ve en fazla sıcaklık kestirim hatası

Güç[W]	Ortalama Kestirim Hatası		En Fazla Kestirim Hatası	
	TC6	TC7	TC6	TC7
480	5.04	1.34	6.93	2.82
500	2.25	1.78	4.84	5.01
520	2.85	2.05	6.45	5.93

aralığı için sırasıyla Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de sunulmuştur.

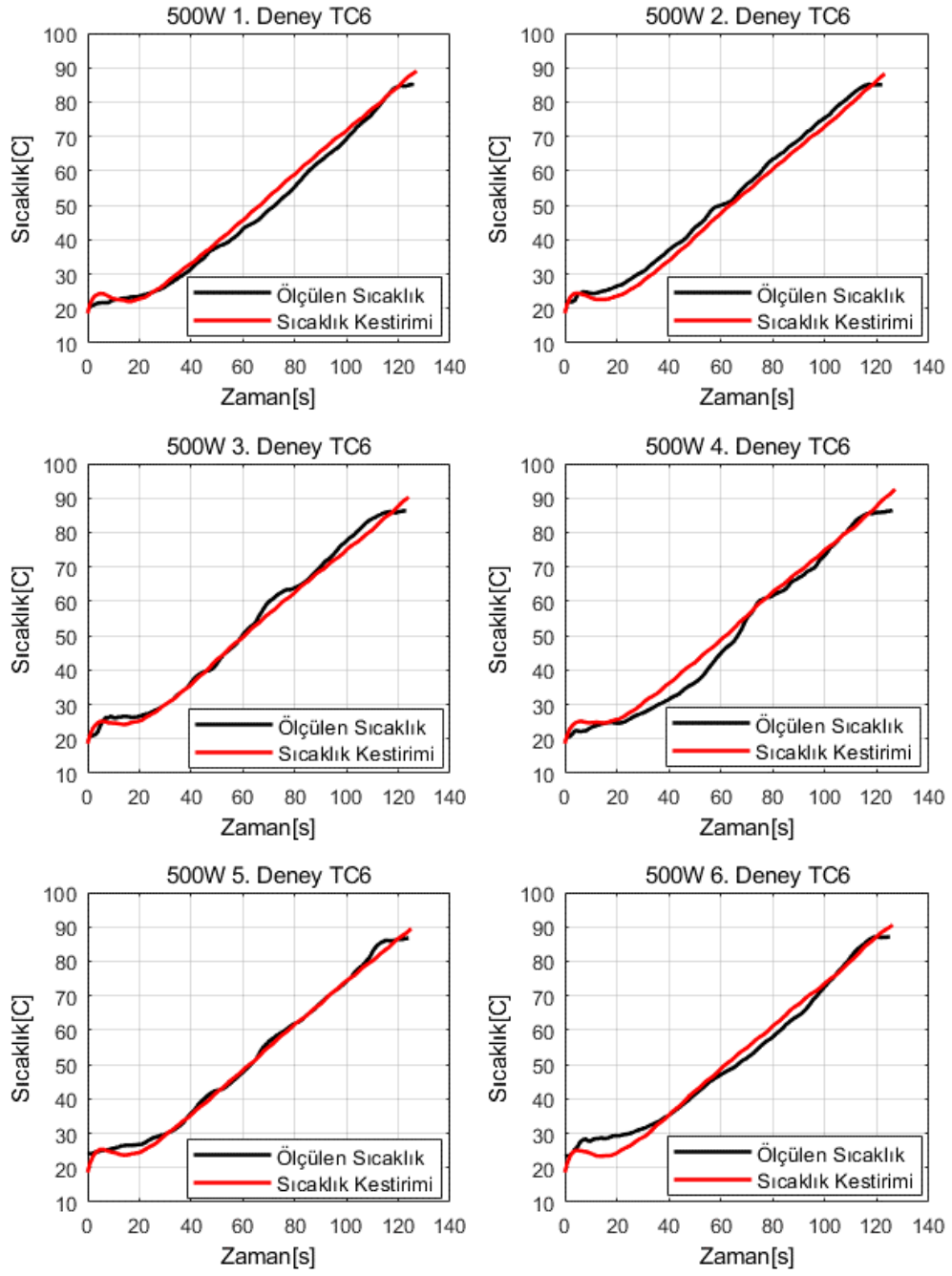
Benzetim sonuçları incelendiğinde, başlangıçta yüksek bir değer ile başlayan kestirim hatasının pişirme işlemi sırasında kahve sıcaklığı yükseldikçe azaldığı, fakat pişirmenin son anlarında tekrar yükseldiği gözlemlenmektedir. Bunun temel nedeni, doğrusal olarak tasarlanan sistem modelinin yanında kahvenin doğrusal karakteristiğinin kaynama aşamasında bozulmasıdır. Yaklaşık 85°C sıcaklığa ulaşan Türk kahvesinin bu aşamada köpük oluşturma ve kabarak pişirme kabı içerisinde yükselme evresine geçtiği görülmektedir. Bu evrede kahve sıcaklığı büyük ölçüde sabit kalmakta ve doğrusal karakteristiğinden uzaklaşmaktadır. Bu esnada pişirme kabı ise, ısı transferinden dolayı sıcaklık artışını sürdürmekte ve modelin bir miktar hata yapmasına neden olmaktadır. Tablo 5.1 ve Tablo 5.2 incelendiğinde, hem TC6 hem de TC7 için Türk kahvesinin pişme kararının verildiği sıcaklığa yakın bir bölge olan 70°C ile 90°C sıcaklık aralığında, tüm pişirme sürecinde elde edilen en fazla hata değerinden daha düşük kestirim hataları elde edildiği görülmektedir. Bunun yanında, TC7 kullanılarak modellenen sistemin daha düşük kestirim hatasına sahip olduğu sonuçlardan görülmektedir.

500W güç ile gerçekleştirilen benzetim sonuçlarının grafikleri TC6 için Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 ile, TC7 için ise Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 ile sunulmuştur. Ayrıca TC6 ve TC7 için bu deneylerin ortalamasına ait grafikler sırasıyla Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 ile gösterilmiştir. 500W güç ile gerçekleştirilen her pişirme deneyinde ölçülmüş kahve sıcaklıkları ve kahve sıcaklığı kestirimleri birebir aynı olmayıp ufak farklılıklar göstermektedir. Bunun nedeni olarak, kahve ve su miktarının veya karıştırma işleminin her defasında eşit şekilde yapılamamış olması ve indüksiyon teknolojisinin yüksek verimine rağmen az miktarda yaşanabilecek güç verimi değişimleri gösterilebilmektedir. Bu durum, aynı zamanda gerçek bir kullanım senaryosunu da ifade etmektedir. Sonuçlar

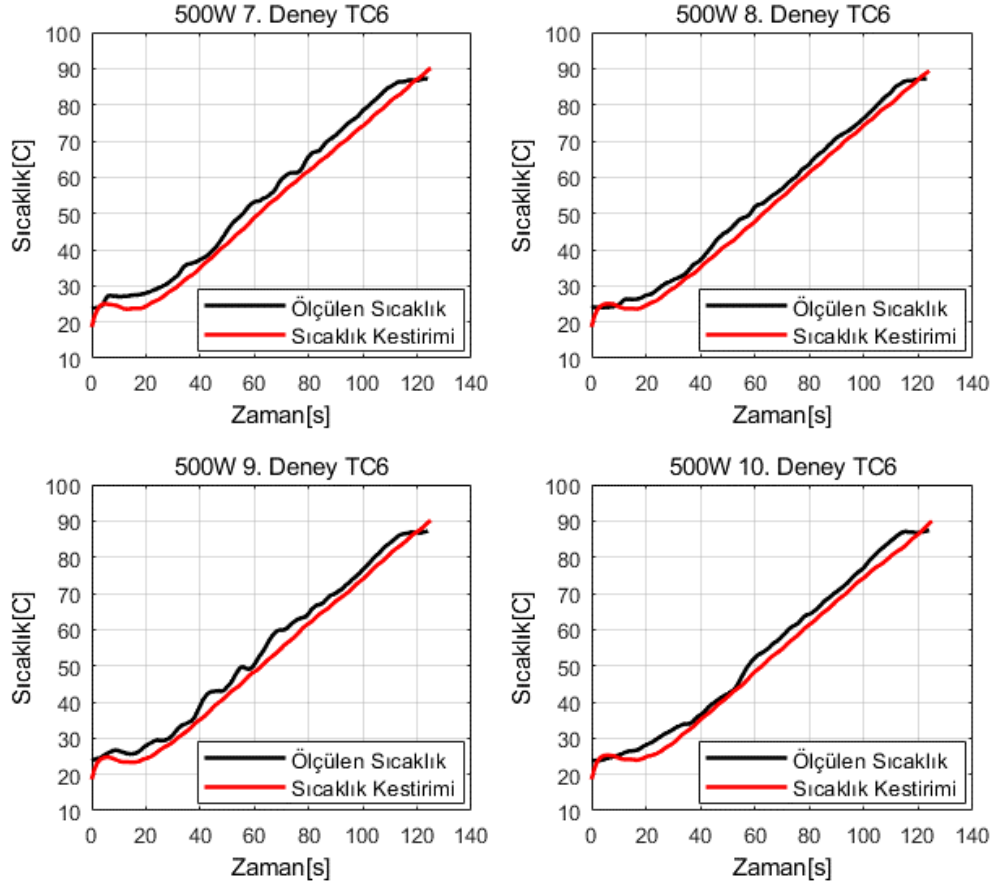
incelendiğinde, hem TC6 hem de TC7 için tasarlanan algılayıcı modellerin bu etkilerle iyi bir şekilde başa çıkabildiği görülmektedir.

Sisteme farklı giriş sinyali uygulayarak, yaşanabilecek daha yüksek ısıtıcı gücü değişimlerinde sistem cevabının nasıl etkileneceğini incelemek amacıyla deney düzeneği olarak kullanılan indüksiyonlu Türk kahvesi makinesi 480W ve 520W güçte çalışacak şekilde programlanmıştır. 480W ve 520W güç ile pişirme deneyi yapılarak elde edilen veriler önerilen modeli test etmek için kullanılmıştır. TC6 ve TC7 için, 480W ve 520W ile gerçekleştirilen deneylere ait grafikler Şekil 5.7 ile sunulmuştur. 480W ve 520W güç değerleri ile gerçekleştirilen benzetim sonuçları incelendiğinde sıcaklık kestirim hatasının arttığı gözlemlenmektedir. Kestirim hatalarının her iki algılayıcı için de normal çalışma koşullarına göre artması, önerilen modelin normal çalışma koşulları göz önüne alınarak tasarlanmasından dolayı kaynaklanmaktadır.

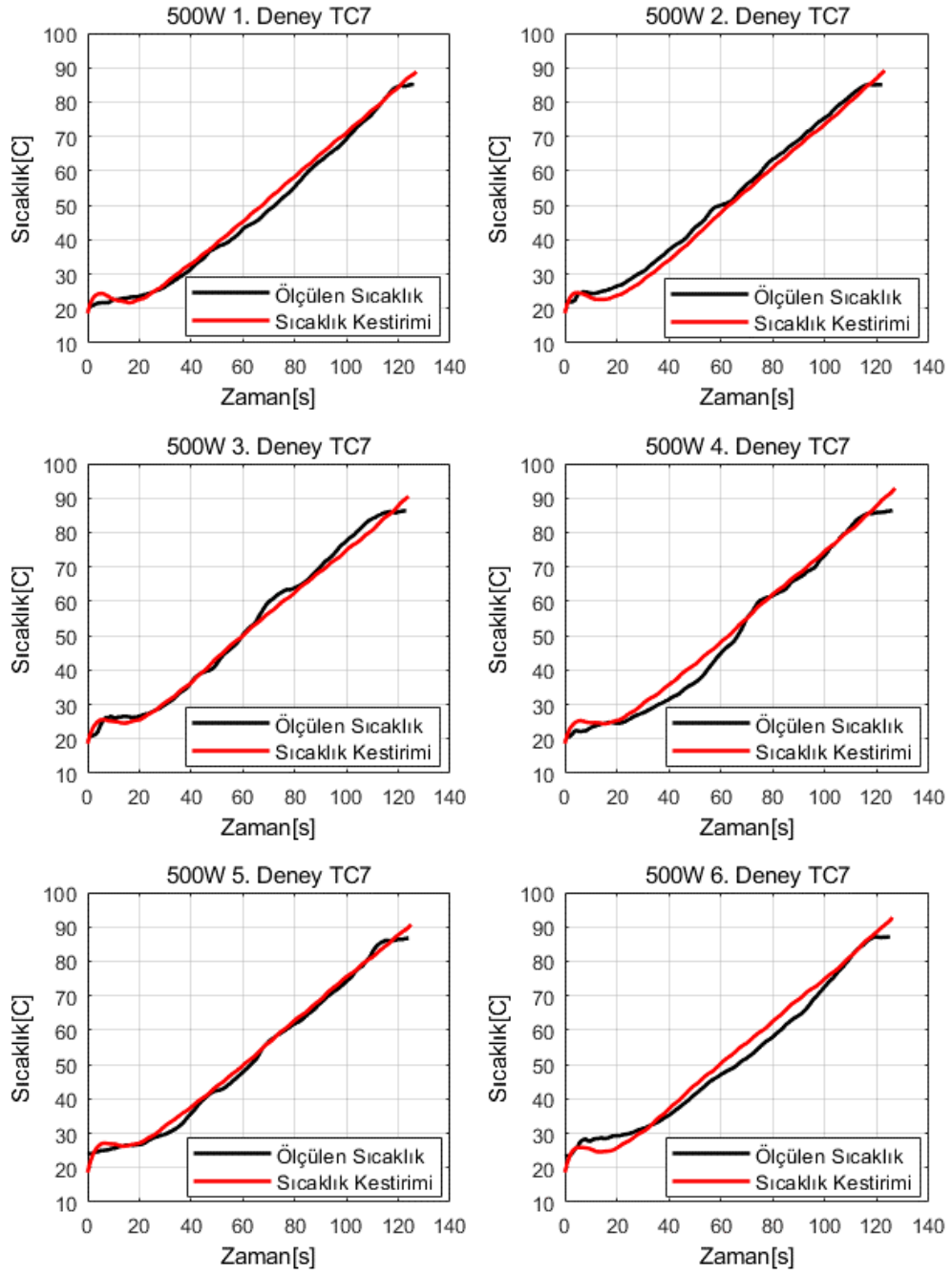
Hem 500W normal güç değeri hem de 480W ve 520W güç değerleri ile gerçekleştirilen testlerde, TC7 kullanılarak modellenen sistem, TC6 kullanılarak modellenen sisteme göre daha az kestirim hatası yapmaktadır. Bunun nedeni ise TC6 sıcaklık algılayıcısının indüksiyon bobini tarafından üretilen manyetik alana daha yakın olması olarak açıklanabilmektedir. Yoğun manyetik akının olduğu bölgeye yakın olan TC6 sıcaklık algılayıcısının bulunduğu alan, bir süre boyunca pişirme kabı içerisinde bulunan karışımdan daha hızlı ısınma gerçekleştirmektedir. Bu durum sistemin modellenmesi aşamasında göz önüne alınan dinamik ilişkiyi ihlal etmektedir. TC6 sıcaklık algılayıcısının yerleştirildiği bölge temel alınarak oluşturulan sistem modelinin, sistemde gerçekleşebilecek güç değişikliklerine karşı daha hassas olduğu açıktır. İncelenen sonuçlar neticesinde TC7 sıcaklık algılayıcısının yerleştirildiği konumun amaçlanan sıcaklık kestirimi uygulaması için daha uygun olduğu görülmektedir.



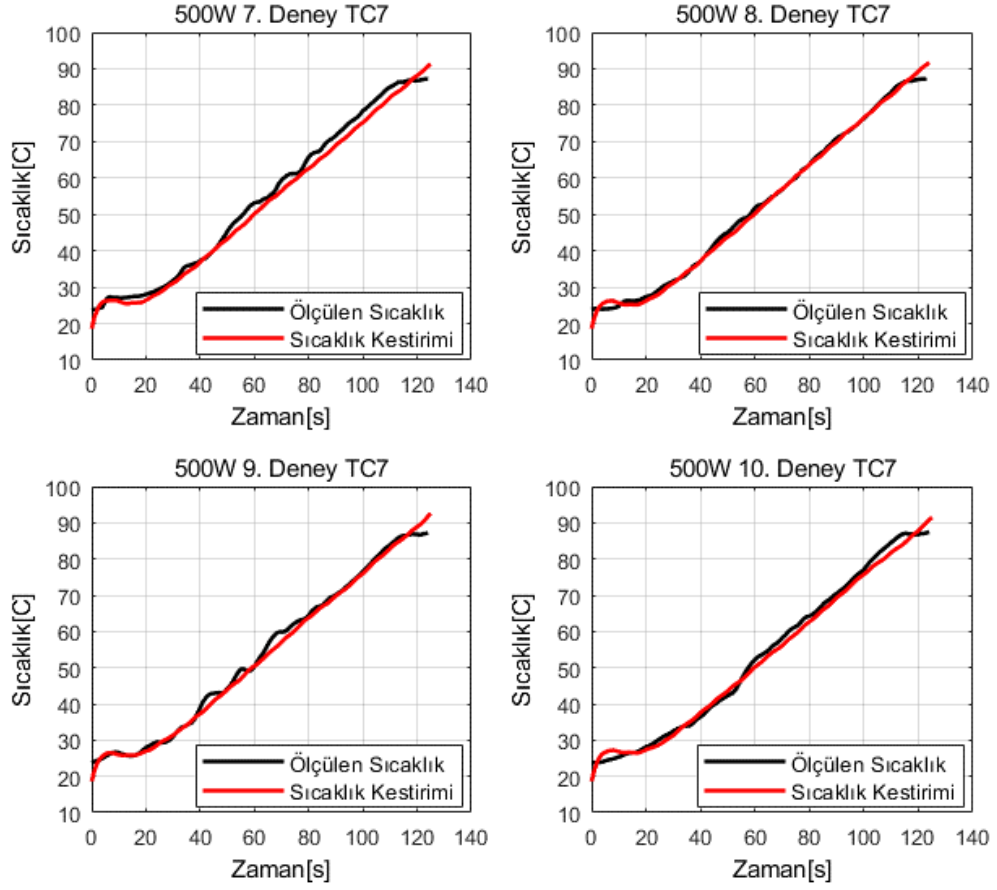
Şekil 5.1 500W güç ve TC6 ile yapılan pişirme deneylerine ait sonuç grafikleri



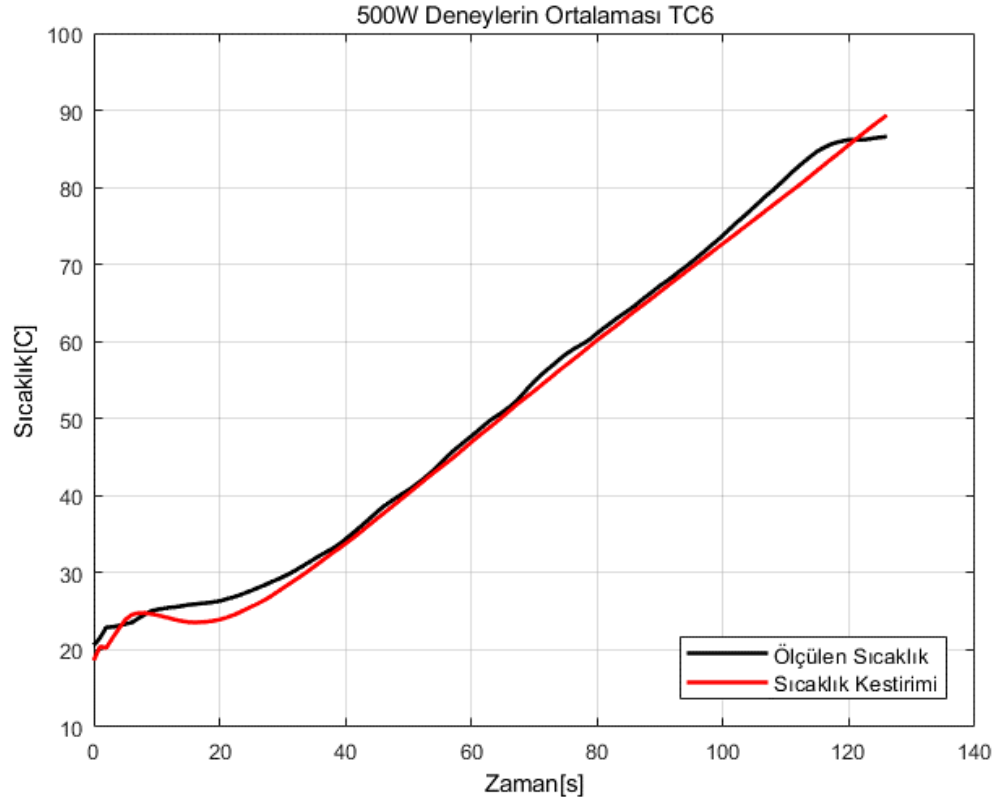
Şekil 5.2 500W güç ve TC6 ile yapılan pişirme deneylerine ait sonuç grafikleri devamı



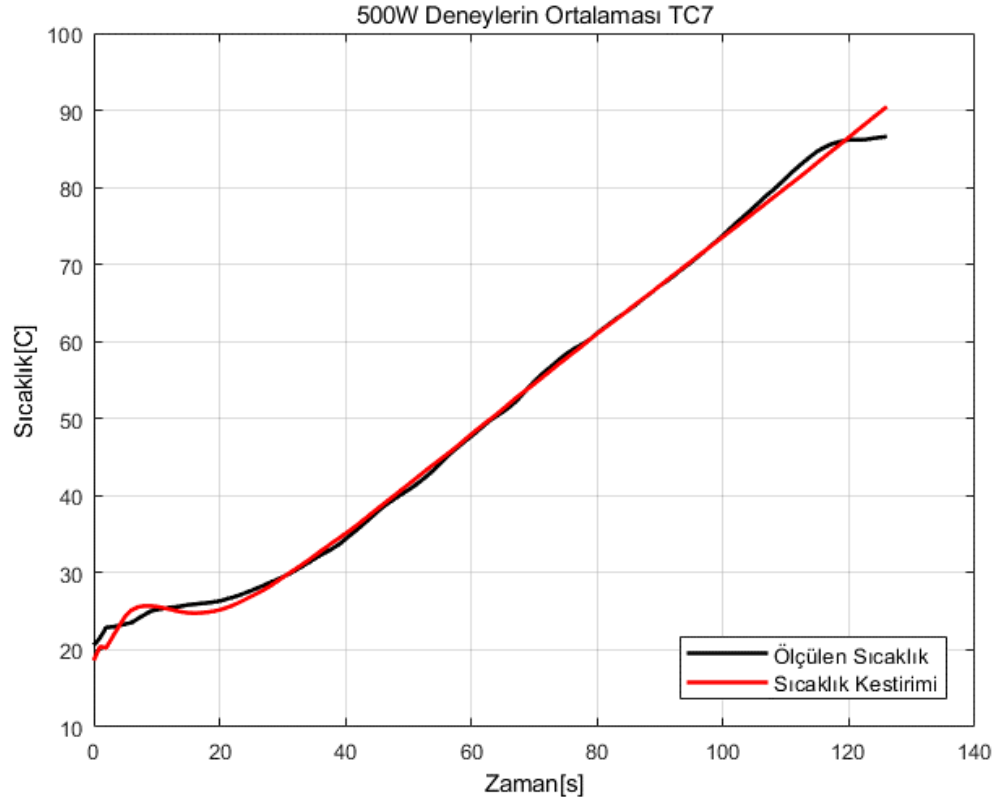
Şekil 5.3 500W güç ve TC7 ile yapılan pişirme deneylerine ait sonuç grafikleri



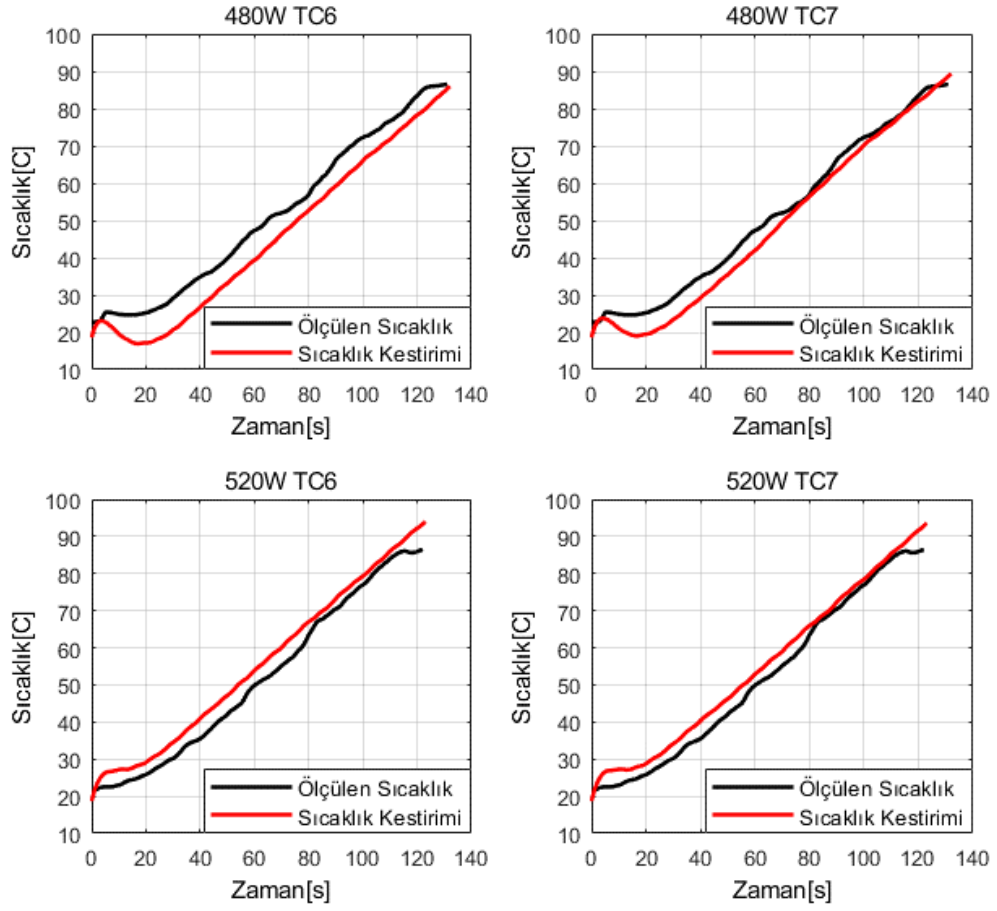
Şekil 5.4 500W güç ve TC7 ile yapılan pişirme deneylerine ait sonuç grafikleri devamı



Şekil 5.5 500W güç ve TC6 ile yapılan pişirme deneylerine ait sonuçların ortalamasını gösteren grafikler



Şekil 5.6 500W güç ve TC7 ile yapılan pişirme deneylerine ait sonuçların ortalamasını gösteren grafikler



Şekil 5.7 480W ve 520W güç ile TC6 ve TC7 kullanılarak yapılan pişirme deneylerine ait sonuç grafikleri

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, heterojen karışımları otomatik olan pişirebilen makineler için temassız bir karışım sıcaklığı ölçüm yöntemi sunulmuştur. Sistem tanıma yöntemi kullanılarak geliştirilen dinamik sistem modeli yardımıyla bir durum gözleyici yapı tasarlanmış ve ölçülemeyen karışım sıcaklığı kestirilmiştir.

Önerilen yöntem ile heterojen bir karışım olan Türk kahvesini otomatik olarak pişirebilen mevcut sistemlerin karşılaştığı algılama problemlerine alternatif bir çözüm getirmek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda indüksiyonlu bir otomatik Türk kahvesi makinesi için algılayıcı yerleşim problemi ele alınmış, pişirme kabının dış kısmında deneysel çalışmalar sonucunda uygun bulunan noktaya bir sıcaklık algılayıcısı yerleştirilerek tasarlanan model yardımıyla kahve sıcaklığı temassız olarak kestirilmiştir. Normal çalışma koşullarındaki ve sıcaklık algılayıcısının önerilen bölgeye yerleştirilmiş olduğu testlerde kahve sıcaklığı ortalama 1.66°C hata ile kestirilmiştir. Ayrıca bu koşullardaki testlerde en fazla sıcaklık kestirim hatası 5.56°C 'yi aşmamıştır.

İndüksiyonlu Türk kahvesi makinesi ile elde edilen deneysel sonuçlara göre, pişirme kabı içindeki karışımın sıcaklığının, pişirme kabı dışına yerleştirilen sıcaklık algılayıcısı yardımıyla durum gözleyici yöntemi kullanılarak temassız bir şekilde kestirilebileceği sonucu çıkarılabilmektedir.

Geliştirilen yöntem sayesinde, tüm pişirme işlemi süresince karışım sıcaklığı kestirilebilmektedir. Böylece Türk kahvesinin sadece kabarma anındaki fiziksel değişimini algılayarak pişirme kararı veren piyasadaki çoğu ürünün aksine, pişirme işleminin başlangıcından sonuna kadar olan tüm sürecin durumu hakkında bilgi edinilebilmektedir. Ayrıca algılayıcının pişirme kabının dış kısmında yer alması pişirme işleminde oluşan buhar ve kirlenme gibi olumsuz durumlardan etkilenilmemesini sağlamaktadır. Bu avantajları ile benzer süreçlerin gerçekleştirildiği pişirici makinelerde pratikliği, ucuz maliyeti ve düşük hata oranına sahip olması gibi avantajları ile kolayca uygulanabilecek bir yöntemdir. Ayrıca önerilen yöntem daha

geniş aralıklarda sıcaklık bilgisi gerektiren uygulamalar için de uygundur.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda algılayıcı sistem modelinin farklı giriş sinyallerinden etkilendiği ve kestirim hatalarının meydana geldiği görölmektedir. Bu durum, önerilen modelin normal çalışma koşulları göz önüne alınarak tasarlanmasından dolayı kaynaklanmaktadır. Sonraki çalışmalarda farklı girişler için farklı modeller içeren uyarlamalı bir yapı oluşturulabilir ve böylece kestirim hataları azaltılabilir.

Bu çalışma temel alınarak, farklı tipteki sıcaklık algılayıcıları da pişirme sürecinde temassız sıcaklık kestirimi uygulamasına eklenebilir. Bu nedenle, bu çalışmadaki fikir ve uygulama aynı alanda yapılacak diğer çalışmalar için yenilikçi bir etkiye sahip olabilir.



- [1] M. Ramya, G. Purushothama, K. Prakash, G. Madan, "Wi-fi controlled automatic food maker," in *2017 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECOT)*, IEEE, 2017, pp. 1–5.
- [2] M. Ewing, T. Lilley, G. Olofsson, M. Ratzsch, G. Somsen, "Standard quantities in chemical thermodynamics. fugacities, activities and equilibrium constants for pure and mixed phases (iupac recommendations 1994)," *Pure and Applied Chemistry*, vol. 66, no. 3, pp. 533–552, 1994.
- [3] B. Yılmaz, N. Acar-Tek, S. Sözlü, "Turkish cultural heritage: A cup of coffee," *Journal of Ethnic Foods*, vol. 4, no. 4, pp. 213–220, 2017.
- [4] O. Tural, "Kırk yıllık hatırın iletişim mekanı olarak kahvehaneler coffeehouses as a communication space of the forty years of friendship,"
- [5] A. Duvarcı, "Kültürümüzde istanbul kahvehaneleri ve halk edebiyatına katkıları," *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 75–86, 2012.
- [6] A. Ö. Tan N. Bursa, "Turkish coffee: Arte and factum–paraphernalia of a ritual from ember to cup," in *Food & Material Culture: Proceedings of the Oxford Symposium on Food and Cookery 2013*, Oxford Symposium, 2014.
- [7] R. C. Alves, S. Casal, M. B. P. Oliveira, "Tocopherols in coffee brews: Influence of coffee species, roast degree and brewing procedure," *Journal of food composition and analysis*, vol. 23, no. 8, pp. 802–808, 2010.
- [8] Y. K. Taştan *et al.*, "Sufi şarabından kapitalist metaya kahvenin öyküsü," *Gazi Akademik Bakış*, no. 04, pp. 53–87, 2009.
- [9] F. Wieland, A. N. Gloess, M. Keller, A. Wetzel, S. Schenker, C. Yeretizian, "Online monitoring of coffee roasting by proton transfer reaction time-of-flight mass spectrometry (ptr-tof-ms): Towards a real-time process control for a consistent roast profile," *Analytical and bioanalytical chemistry*, vol. 402, no. 8, pp. 2531–2543, 2012.
- [10] C. H. Brando *et al.*, "Harvesting and green coffee processing.," *Coffee: growing, processing, sustainable production. A guidebook for growers, processors, traders and researchers*, pp. 610–723, 2009.
- [11] N. Özgür, "Türk kahvesi standartları ve pişirme ekipmanları teknik analizi," *Türk Kahvesi Kültürü ve Araştırmaları Derneği*. <http://www.turkkahvesiderneği.org/tkkad/detay/Standartlarimiz/23/18/0> (Accessed Date: 29.01. 2018), 2012.

- [12] *International coffee organization*. [Online]. Available: <http://www.ico.org/prices/new-consumption-table.pdf> (visited on 05/27/2020).
- [13] *International coffee organization*. [Online]. Available: <http://www.ico.org/documents/icc-109-8e-trends-consumption.pdf> (visited on 05/27/2020).
- [14] A. Fasano, F. Talamucci, M. Petracco, "The espresso coffee problem," in *Complex flows in industrial processes*, Springer, 2000, pp. 241–280.
- [15] E. Gedik, S. S. Erdonmez, N. S. Atilgan, "Influence of turkish coffee culture on the design of small home appliances: Turkish coffee makers," *New Trends and Issues Proceedings on Humanities and Social Sciences*, vol. 2, no. 1, 2016.
- [16] M. Kaplan, "Bir fincan keyif: Kahvenin öyküsü," *Yurt ve Dünya Dergisi/The Journal of Homeland and The World*, vol. 2, no. 2, pp. 11–20, 2011.
- [17] C. Miglio, E. Chiavaro, A. Visconti, V. Fogliano, N. Pellegrini, "Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables," *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 56, no. 1, pp. 139–147, 2008.
- [18] E. Bladyka, "Coffee brewing: Wetting, hydrolysis and extraction revisited," *California: Specialty Coffee Association of America*, 2015.
- [19] K. Fibrianto, E. Wulandari, A. Jovino, M. Rahmawati, N. Wandani, S. Fibrianti, E. Waziroh, S. Yuwono, "Brewing time and temperature optimization of robusta dampit coffee on several drip techniques," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, vol. 230, 2019, p. 012 035.
- [20] J. A. Klotz, G. Winkler, D. W. Lachenmeier, "Influence of the brewing temperature on the taste of espresso," *Foods*, vol. 9, no. 1, p. 36, 2020.
- [21] D. Paesa, S. Llorente, C. Sagues, O. Aldana, "Adaptive observers applied to pan temperature control of induction hobs," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 45, no. 3, pp. 1116–1125, 2009.
- [22] U. Has D. Wassilew, "Temperature control for food in pots on cooking hobs," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 46, no. 5, pp. 1030–1034, 1999.
- [23] D. Paesa, C. Franco, S. Llorente, G. Lopez-Nicolas, C. Sagues, "Adaptive simmering control for domestic induction cookers," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 47, no. 5, pp. 2257–2267, 2011.
- [24] G. D'Antona, G. Santacatterina, N. Seifnaraghi, F. Brindani, "Water temperature estimation in induction cooker for higher energy efficiency," in *2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings*, IEEE, 2014, pp. 525–529.
- [25] J. Lasobras, R. Alonso, C. Carretero, E. Carretero, E. Imaz, "Infrared sensor-based temperature control for domestic induction cooktops," *Sensors*, vol. 14, no. 3, pp. 5278–5295, 2014.
- [26] C. Franco, J. Acero, R. Alonso, C. Sagues, D. Paesa, "Inductive sensor for temperature measurement in induction heating applications," *IEEE Sensors Journal*, vol. 12, no. 5, pp. 996–1003, 2012.
- [27] I. Arslantekin, *A cooking device*, WO2006070334A1, 2006.

- [28] R. Çalık, O. Yüzer, U. Başaran, A. Dönerkayalı, B. Özyurt, M. Kantaş, *A coffee machine*, WO2019192778A1, 2019.
- [29] H. Midoglu, A. Konuk, K. Esmek, *A turkish coffee machine and a turkish coffee brewing method*, WO2011002421A2, 2011.
- [30] E. Atilla, *A turkish coffee machine*, WO2015102553A1, 2015.
- [31] M. Kantas, İ. Arsan, N. Kandemir, B. Karşlı, H. Altuntas, *A coffee machine*, WO2019088956A2, 2019.
- [32] O. Akgül, O. Sunetci, E. Ozturk, E. Aktas, *A coffee machine*, WO2019093988A2, 2019.
- [33] R. O. Özge, *A turkish coffee machine*, WO2019038172A1, 2019.
- [34] A. N. AN9012, "Induction heating system topology review," *Fairchild Semiconductor*, 2000.
- [35] O. Lucia, P. Maussion, E. J. Dede, J. M. Burdio, "Induction heating technology and its applications: Past developments, current technology, and future challenges," *IEEE Transactions on industrial electronics*, vol. 61, no. 5, pp. 2509–2520, 2013.
- [36] M. Sweeney, J. Dols, B. Fortenbery, F. Sharp, "Induction cooking technology design and assessment," *Small*, vol. 5, p. 800, 2014.
- [37] W. Moreland, "The induction range: Its performance and its development problems," *IEEE Transactions on industry applications*, no. 1, pp. 81–85, 1973.
- [38] A. Mühlbauer, *History of induction heating and melting*. Vulkan-Verlag GmbH, 2008.
- [39] V. Rudnev, D. Loveless, R. L. Cook, *Handbook of induction heating*. CRC press, 2017.
- [40] J. Acero, P. J. Hernandez, J. M. Burdio, R. Alonso, L. Barragdan, "Simple resistance calculation in litz-wire planar windings for induction cooking appliances," *IEEE Transactions on magnetics*, vol. 41, no. 4, pp. 1280–1288, 2005.
- [41] *The temperature handbook*, 2006.
- [42] J. Fraden, *Handbook of modern sensors: Physics, designs, and applications*, 1998.
- [43] J. G. Webster, *The Measurement, Instrumentation, and Sensors: Handbook*. Springer Science & Business Media, 1999.
- [44] V. K. Rai, "Temperature sensors and optical sensors," *Applied Physics B*, vol. 88, no. 2, pp. 297–303, 2007.
- [45] S. Mehta B. Chatterjee, "Efficient modelling techniques for j-type thermocouples in electric vehicle battery temperature monitoring system," in *2019 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, IEEE, vol. 1, 2019, pp. 1–5.
- [46] *Thermocouple theory*, 2009.
- [47] L. Ljung *et al.*, "Theory for the user," in *System Identification*, Prentice-hall, Inc., 1987.

- [48] N. NISE 3rd, "Control systems engineering, 2000 by john wiley & sons, inc," *Engenharia de Sistemas de Controle*-, 2002.
- [49] G. Ellis, *Observers in control systems: a practical guide*. Elsevier, 2002.
- [50] D. Luenberger, "An introduction to observers," *IEEE Transactions on automatic control*, vol. 16, no. 6, pp. 596–602, 1971.
- [51] T. L. Bergman, F. P. Incropera, D. P. DeWitt, A. S. Lavine, *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons, 2011.
- [52] M. Sedighi B. N. Dardashti, "Heat transfer modeling in multi-layer cookware using finite element method," *International Journal of Science and Engineering Investigations*, vol. 1, no. 1, 2012.
- [53] H. Omori, H. Yamashita, M. Nakaoka, T. Maruhashi, "A novel type induction-heating single-ended resonant inverter using new bipolar darlington-transistor," in *1985 IEEE Power Electronics Specialists Conference*, IEEE, 1985, pp. 590–599.
- [54] C. Karunanithy K. Shafer, "Heat transfer characteristics and cooking efficiency of different sauce pans on various cooktops," *Applied Thermal Engineering*, vol. 93, pp. 1202–1215, 2016.
- [55] L. Ljung, "System identification toolbox user's guide (ver. 5)," *The MathWorks, inc*, 2000.
- [56] D. G. Luenberger, *Optimization by vector space methods*. John Wiley & Sons, 1997.
- [57] J. Yang H. Byun, "Curve fitting algorithm using iterative error minimization for sketch beautification," in *2008 19th International Conference on Pattern Recognition*, IEEE, 2008, pp. 1–4.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgileri: ardadonerkayali@gmail.com

Makale

1. DÖNERKAYALI, A., & Türker, T. Türk Kahvesi Pişirme Süreci İçin Algılayıcı Tabanlı Bir Kontrol Yöntemi. EMO Bilimsel Dergi, 10(1), 29-34.
1. DÖNERKAYALI, A., & Türker, T. An Observer Based Temperature Estimation In Cooking Heterogeneous Mixtures: A Turkish Coffee Machine Application. Simulation Modelling Practice and Theory, hakem incelemesinde.