

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALTERNATİF PİŞİRME YÖNTEMLERİNİN
ARAŞTIRILMASI VE YENİ HİBRİD YÖNTEM
OLUŞTURULMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fiz. Tülay İBİCEK**

Anabilim Dalı : FİZİK

Programı : FİZİK MÜHENDİSLİĞİ

KASIM 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALTERNATİF PİŞİRME YÖNTEMLERİNİN
ARAŞTIRILMASI VE YENİ HİBRİD YÖNTEM
OLUŞTURULMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fiz. Tülay İBİCEK
509031111**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Ekim 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Kasım 2006**

**Tez Danışmanı: Doç.Dr. Haluk ÖZBEK
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ahmet Togo GİZ (İ.T.Ü)
Prof.Dr. Ümit TUNCA (İ.T.Ü)**

KASIM 2006

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, olumlu eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan değerli hocam Sn. Doç. Dr. Haluk ÖZBEK'e ve Sn. Öğretim Görevlisi Sevtap ÖZBEK'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan ve çalışmaya destek olan Arçelik Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, başta Sn. Şemsettin EKSERT ve Sn. Fatih ÖZKADI'nın şahsında teşekkür ederim.

Çalışmanın her aşamasında desteğini esirgemeyen, değerli fikirleri ve eleştirileriyle çalışmaya katkıda bulunan Sn. Bahar AKAR'a, Sn. Dr. Levent AKDAĞ'ya, Sn. Aslı KAYIHAN'a, Sn. Mehmet TOLAY'a, deneysel çalışmalarındaki katkılarından dolayı Sn. Mehmet MARAŞLI, Sn. Nihat KANDEMİR, Sn. Murat KANTAŞ, Sn. Çetin LALE'ye ve yapılan çalışmaya katkılarından dolayı Arçelik ARGE Akışkanlar Mekaniği ve Malzeme Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca katkılarından dolayı ODTÜ Gıda Mühendisliği Bölümü'nden Sn. Doç. Dr. Gülüm ŞUMNU'ya, Sn. Doç. Dr. Serpil ŞAHİN'e ve Sn. Araştırma Görevlisi Elif TURABI'ye teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarım boyunca verdikleri destekten dolayı Sn. Adnan TÜFEKÇİ'ye, Sn. Mehmet SAVAŞ'a, Sn. Cemalettin KALAYCI'ya, Sn. Semih GÜREL'e, Sn. A. Taner TECİRLİOĞLU'na, Sn. Murat TOPSAKAL'a, Sn. Deniz ŞEKER'e, Sn. Deniz TAŞKIN'a, Sn. Seyhan ÇAĞIL'a, Sn. Sevinç MERT'e, Sn. Mehmet SALAR'a teşekkür ederim.

Son olarak, tüm hayatım boyunca her adımda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olduklarını hissettiren sevgili AİLEM'e, çok değerli Rotary Başkanım Sn. Yusuf Bulut ÖZTÜRK'e, Rotary ve Rotaract Ailesine, İTÜ Verda Üründül Kız Öğrenci Yurdu Müdürü Sn. Suzan AYDINLIOĞLU'na şükranlarımı sunarım.

Kasım, 2006

Tülay İBİCEK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
2. TEORİK ÇALIŞMA	3
2.1. Pişirmenin Tanımlanması	3
2.2. Dünya’da Kullanılan Pişirme Yöntemlerinin İncelenmesi	4
2.3. Alternatif Pişirme Yöntemleri	6
2.3.1. Mikrodalga ısıtma	6
2.3.1.1 Mikrodalga fırının çalışma sistemi	7
2.3.1.2 Mikrodalga ile pişirmenin gıdaların besleyici değeri üzerine etkileri	9
2.3.2. Radyo frekanslı ısıtma	10
2.3.2.1 RF ısıtmanın temel özellikleri	11
2.3.2.2 RF ısıtma uygulamaları	12
2.3.2.3 RF teknolojisinin avantajları	12
2.3.2.4 RF teknolojisinin dezavantajları	13
2.3.3. Ohmik ısıtma	13
2.3.3.1 Ohmik ısıtmanın temelleri	13
2.3.3.2 Ohmik ısıtma teknolojisinin avantaj ve dezavantajları	14
2.3.4. Infrared (Kızılötesi) ısıtma	15
2.3.4.1 Teoriler	16
2.3.4.2 Özellikler	17
2.3.5. İndüksiyon ısıtma	20
2.3.5.1 İndüksiyon ile pişirme	22
2.3.6. Buhar & su ile ısıtma	23
2.3.6.1 Buhar ile ısıtma teknolojisinin özellikleri	24
2.3.7. Sıcak hava ile ısıtma	24
2.3.7.1 İmpingement teknolojisi	24
2.3.7.2 Hava jetleri	25
2.3.7.3 Air jet impingement fırın	25
2.3.7.4 Özellikleri ve yararları	26
KAYNAKLAR	27
ÖZGEÇMİŞ	31

KISALTMALAR

RF	: Radyo Frekansı
HTST	: High Temperature Short Time
UHT	: Ultra High Temperature
IR	: Infrared Radyasyon

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Mikrodalga ısıtma teknolojisinin avantaj ve dezavantajları.....	10
Tablo 2.2. RF ısıtma teknolojisi için belirtilmiş ISM frekans aralıkları.....	13

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Mikrodalga fırını oluşturan bölümler.....	8
Şekil 2.2 : Dielektriğin kapasitör üzerindeki etkisi.....	12
Şekil 2.3 : Ohmic ısıtma prensibi.....	15
Şekil 2.4 : Elektromanyetik spektrumda detaylandırılmış infrared bölgesi...	17
Şekil 2.5 : Yansıyan, absorblanan veya iletilen toplam enerji.....	20
Şekil 2.6 : İndüksiyon ısıtma yöntemi.....	22
Şekil 2.7 : İndüksiyonlu ocak.....	24
Şekil 2.8 : Gıdada gerçekleşen olaylar.....	24
Şekil 2.9 : Impingement fırın.....	27
Şekil 2.10 : Sıcak hava jetlerinin ürüne teması.....	27

SEMBOL LİSTESİ

Q	: Isı emisyon oranı
σ	: Stefan Boltzman sabiti
A	: Alan
T	: Absolute sıcaklık
T₁	: Radyasyon yayıcının sıcaklığı
T₂	: Absorberin sıcaklığı
ΔE	: Toplam renk değişimi
S	: Nişasta Jelleşmesi
CM	: Stoplazmadaki Membranların Değişimi
CW	: Hücresel Duvarlarının Değişimi
P	: Pektin Denaturasyonu
N	: Hücresel Çekirdeğindeki & Sitoplazmadaki Proteinlerin Denaturasyonu
C	: Kloroplast & Kromoplastların Bozulması

ALTERNATİF PİŞİRME YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE YENİ HİBRİD YÖNTEM OLUŞTURULMASI

ÖZET

Bu çalışmada pişirme, Dünya’da kullanılan pişirme yöntemleri, alternatif pişirme yöntemleri kapsamında araştırma ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Alternatif pişirme yöntemleri olarak; mikrodalga, radyo frekansı, infrared&halojen, buhar, impingement, ohmic, indüksiyon ısıtma teknikleri araştırılarak deneysel uygulanabilirliği incelenmiştir. Alternatif pişirme yöntemlerinin deneysel çalışması yapılmadan önce standart bir metrik tanımlanması, ve börek için standart bir ürün değerlendirme yönteminin oluşturma çalışması yapılmıştır. Teknik ölçümler (alt-üst renk ölçümü, tekstür özellikleri, nem değeri) ve duyu analizi yöntemleri kullanılarak börek için standart ürün değerlendirme yöntemi oluşturulmuş ve diğer aşamalarda yapılan pişirme deneylerinde standart tarif kullanılmıştır. Farklı pişirme tekniklerinde yapılan deneylerin çıktıları birbirleriyle ve statik mod ile karşılaştırıldığında; “pişirme süresi hangi yönde kısa, kahverengileşme hangi yöntemde ideal, yapı ve yumuşaklık hangi sistemde nasıl sağlanıyor?”un cevabı verilebilmekte ve ideal olabilecek pişirme yöntemi tanımlanabilmektedir. Bu kapsamda yapılan deneysel çalışmalar; unlu ürün değerlendirme standardizasyonunun oluşturulması, mikrodalga-konvansiyonel pişirme yönteminin incelenmesi, mikrodalga-turbo kombinasyonlu pişirme yönteminin incelenmesi, buharlı pişirme yönteminin incelenmesi, halojen-infrared pişirmenin incelenmesi şeklinde yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarına göre yeni bir pişirme yöntemi oluşturabilecek hibrid yöntem tanımlanmaktadır.

RESEARCHING ALTERNATIVE COOKING METHODS AND CREATING NEW HYBRID METHODS

SUMMARY

During the course of the research, experimental studies have been conducted as well as various studies on cooking, cooking techniques in use today in the world and alternative cooking methods. As for alternative cooking methods, microwave, radio frequency, infrared and halogen, steam, impingement, ohmic, induction heating techniques have been studied so as to determine their practicability. Before the experiment of alternative cooking methods, standard metrics were determined and a standard product evaluation for patty were done. A standard product evaluation for patty was formed by using technical measurements (surface-color, texture, moisture value) and sense analysis, and standard cooking recipe was used in the other phases during the cooking experiments. When the results of different cooking experiments were compared to each other and static mode, questions such as in which direction cooking takes a short time, what method provides the brown color, in what system the ideal structure and softness are gained can be answered and ideal cooking methods can be determined. Experimental studies included the following: forming the standardization of pastry product evaluation, studying the microwave-conventional cooking method, studying microwave-turbo combination cooking method and studying halogen-infrared cooking method. At the end of these experimental studies, the hybrid method, which can be a new cooking method, is explained.

1. GİRİŞ

Gıdalar doğal halde, işlem görerek veya pişirilerek insanlar tarafından besin ve zevk almak amacıyla tüketilen organik maddelerdir.

“Besin” ve “zevk” kavramları gıdaların iki önemli özelliğini gündeme getirir. Bu iki özellik gıdanın besin değeri ve hedonik (beğeni) değeridir. Gıdanın besin değeri günümüze kadar yapılan çeşitli araştırmalarla tanımlanmıştır. Gıdanın hedonik değerininin tanımlanması ise daha zor bir konudur. Gıdanın duyuşal olarak beğenilmesi bir çok parametreye bağılıdır. Bu parametreler dış görünüş, koku, tat, dokusal özellikler, ısırmağa bağılı duyulan ses, gıdanın çıtırması veya yumuşak olması olarak adlandırılabilir. Toplam bir duyuşal beğeni ise, tüm duyular yardımcıyla, belirtilen tüm değışkenlerin eş zamanlı olarak değılendirilmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Gıdaların pişirme sonucunda fiziksel ve kimyasal yapılarında gerçekteşen değışimlerin sebep olduğı renk, tekstür (yapı) özelliklerindeki değışimler, pişirmenin kalitesinde belirleyici rol oynamaktadırlar. Bir gıda ürününün pişirilmesi sırasında, gıdanın renginde, tekstür özelliklerinde, tadında, kokusunda, optik özelliklerinde, nem içeriğinde, boyutlarında ve besin değıerinde önemli değışiklikler gerçekteşmektedir. Fırın açısından düşünöldüğünde, renk, tekstür ve nem içeriğinde gerçekteşen değışimlerin fırın tasarımından önemli ölçüde etkilendiğı düşünölmektedir. Diğer değışiklikler ise gıda tipine özgüdür.

Gıdaların pişirilmesinin yanı sıra, pişirme teknikleri de önemlidir. Pişirme teknolojilerinde, kısa sürede pişirme amacı farklı pişirme tekniklerini meydana getirmiştir. Elektromanyetik spektrumda bulunan dalga boylarının bir araya gelmesi veya konvansiyonel yöntemlerle tek tek kullanımı speed cooking olan hızlı pişirmeyi meydana getirmiştir.

Bu çalışmanın amacı, alternatif pişirme yöntemlerinin deneysel uygulanarak; hızlı pişiren ve pişirme kalitesi istenilen düzeyde olan yeni bir hibrid yöntem oluşturulmasıdır.

2. TEORİK ÇALIŞMA

2.1. Pişirmenin Tanımlanması

Gıdalar doğal halde, işlem görerek veya pişirilerek insanlar tarafından besin ve zevk almak amacıyla tüketilen organik maddelerdir [1]. Pişirme gıdalara uygulanan ısı işlemidir. Evlerde kullanılan domestik pişirme dışında gıda endüstrisinde üretilen bir çok ürün üretim aşamasında ısı işlem görürler. Pişirme, gıda maddesine belli amaçlar doğrultusunda kontrollü olarak ısı verilmesi şeklinde tanımlanabilir [2, 3]. Isı alan gıdada kimyasal ve fiziksel değişimler meydana gelmektedir [4]. Fiziksel değişimler makro boyutta gerçekleşen taşınım olayları olarak özetlenebilir [5, 6]. Kimyasal olaylar ise mikro düzeyde moleküller arasında gerçekleşen biyokimyasal ve organik kimya temelli reaksiyonlardır.

Pişirme sırasında gıdada gerçekleşen en önemli reaksiyonlardan birisi Maillard reaksiyonudur. Maillard reaksiyonu bir çok alt kademeden oluşan bir reaksiyon zinciridir [1]. Serbest bir amino asit ile indirgenmiş şeker arasında gerçekleşen bu reaksiyon sonucunda açığa çıkan ürün yelpazesi, reaksiyona giren amino asit ve şeker türüne göre değişiklik gösterir ve oldukça geniştir. Reaksiyon sonucunda düşük ve yüksek molekül ağırlığında bir çok organik madde oluşur. Düşük molekül ağırlıklı ürünler uçucu özelliktedirler ve aroma oluşumunda baskındırlar. Yüksek molekül ağırlıklı maddelerde ise “melanoidin” adı verilen ve kahverengi pigment içeren biyopolimerler baskındırlar ve gıdanın kızararak renk değiştirmesine yol açarlar [7, 8].

Gıdaların pişirilmesi esnasında biyokimyasal bir çok reaksiyon gerçekleşir. Biyokimyasal çevrimlerin çoğunluğu enzimatik reaksiyonlardan oluşur. Enzimatik reaksiyonlar bir enzim katalizinde gerçekleşen reaksiyonlardır. Maillard reaksiyonu ise pişirme sırasında enzimatik olmayan bir reaksiyon olması açısından diğer reaksiyonlardan farklıdır.

Şekerler yüksek sıcaklıkta kendi başlarına da reaksiyona girerler. Bu reaksiyonlar karamelizasyon adı verilen bir grupta toplanırlar. Karamelizasyon sonucunda da renk değişimi gözlenir [1].

Pişirme sırasında gıdada gerçekleşen diğer bir değişim, gıdada yapıyı oluşturan protein yapılarında gözlenen denatürasyondur. Proteinler belli işlevleri gerçekleştirmek üzere bulunan maddelerdir. Bir proteinin işlevini gerçekleştirebilmesi için aktif bölgelerinin doğru diziliş ve şekilde olması gerekir. Bu yüzden her proteinin yapısını ve işlevini belirleyecek bir katlanması vardır. Belli sıcaklık değerleri üzerinde proteinlerin katlanışlarında açılmalar gözlenir ve protein yapısı değişerek işlevini yitirir. Bu olaya denatürasyon adı verilir. Protein denatürasyonu, gıdada pişirme sırasında gerçekleşen bir çok fiziksel değişimden sorumludur. Örnek olarak, etteki kolajen ve aktindenatürasyonunun oranı, etin pişme sonucunda yumuşak veya sert olmasından sorumludur [4, 9].

Pişmenin biyokimyasal boyutunun dışında, daha makro düzeyde eş zamanlı fiziksel taşınım olayları mevcuttur. Fiziksel boyutta gıdada ısı ve kütle transferlerinden söz edilmelidir. Fırın içinde gıda kabuk bölgesine ısı konveksiyon veya radyasyonla iletilir. Gıdanın kabuğundan içeriye doğru iletimle iletilen bu ısı yukarıda belirtilen kimyasal değişimler için kullanılır. Dielektrik yöntemlerde ise yüksek enerjili elektromanyetik enerji gıda tarafından emilerek ısıya dönüştürülür [10]. Isı etkisiyle sıcaklığı yükselen gıdanın sahip olduğu nem dış ortama doğru difüzyon-konvektif kütle iletimiyle taşınır [5, 11].

2.2. Dünya’da Kullanılan Pişirme Yöntemlerinin İncelenmesi

Yemek pişirmek, kültürden kültüre değişmektedir. Bu değişimde önemli olan, yemeği istenilen kalitede ve lezzette pişirmektir. Bunu sağlamak için pişirme teknolojisinin hızla gelişmesi, farklı yapılarda olan pişirme yöntemlerini de doğurmaktadır. Dünya’da kullanılan pişirme yöntemleri aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır [12, 13].

1. Blanching (Ön Haşlama)
2. Boiling (Haşlama)

3. Braising (Kapalı Kapta Pişirme)
4. Deep Frying (Derin Yağda Kızartma)
5. Glazing (Glaze Etme)
6. Grilling (Izgara Yapma)
7. Microwave Cooking (Mikrodalga Fırında Pişirme)
8. Poaching (Sıvıda Pişirme)
9. Pot-Roasting (Kapalı Kapta Rosto Yapma)
10. Roasting (Rosto Yapma)
11. Shallow Frying (Az Yağda Kızartma)
12. Simmering (Ağır Ateşte Pişirme)
13. Steaming (Buharda Pişirme)
14. Stewing (Kısık Ateşte Kaynatma)
15. Tanpoori (Tandır)
16. Baking (Fırında Pişirme)
 - a. Fırında Kızartma
 - b. Fırında Suda Pişirme
 - c. Poeling (Fırında Tencerede Pişirme)
 - d. Gratinating (Granite Etme)
 - e. Glazing (Glaze Etme)
 - f. Grilling (Izgara Yapma)
 - g. Roasting (Rosto Yapma)

Bu yöntemler içerisinde fırında pişirme yöntemleri, yeni bir teknolojik gelişme olan alternatif pişirme yöntemlerini meydana getirmektedir [14].

2.3. Alternatif Pişirme Yöntemleri

2.3.1. Mikrodalga ısıtma

Mikrodalga gıda prosesleri, hızlı pişirmesi, enerji verimliliği, yerden tasarruf, daha iyi proses kontrol, seçici pişirme ve yüksek besin değerli pişmiş gıda özellikleri dolayısıyla geleneksel konveksiyon temelli pişirme proseslerine göre daha avantajlıdır. Günümüzde Amerika'daki nüfusun yaklaşık olarak % 95'i en azından bir adet mikrodalga fırına sahiptir. Bu yüksek oran Kanada, Avrupa ülkeleri, Japonya ve Avustralya'da kendini göstermektedir. Ancak, bu kadar yüksek bir oranda kullanılan mikrodalga fırınlar pişirme kalitesi açısından müşterileri memnun etmemektedirler [15]. Pişmiş ürünün kalitesindeki sorunlar, istenen kabarmanın gerçekleşmemesi, yoğun ve yapışkan bir doku oluşumu, kabuk sertliğinin istenen düzeyde olmaması ve pişmiş gıda içinde, özellikle dikey eksenel yönde istenmeyen bir nem farklılığının oluşması olarak özetlenebilir [10]. Bu sorunların bir sebebi, konvansiyonel pişirmede uzun sürede gerçekleşen fizikokimyasal değişimlerin, kısa süreli mikrodalga pişirmede tam olarak gerçekleşememesidir. Yapılan çalışmalar, mikrodalga fırınlarda pişirilen ekmeklerde nişastanın yeterli olarak jelleşmediğini ve istenen gözenekli yapının oluşmasına izin vermeyecek kadar hızlı bir gaz-buhar çıkışı olduğunu göstermiştir [16].

Mikrodalga fırınlarla, konveksiyon fırınların en önemli farkı, mikrodalga fırınlarda esmerleşme etkisinin gözlenememesidir. Esmerleşme ve tat oluşumu, serbest şekerlerin karamelizasyonunu da içeren Maillard Reaksiyonunun yüksek sıcaklıkta dehidrate olan gıdada gerçekleşmesiyle sağlanır. Mikrodalga fırınlarda, fırın içi sıcaklığının ve dolayısıyla gıdanın yüzey sıcaklığının düşük olması, pişen gıdalarda renk ve tat oluşmasını sağlayan Maillard reaksiyonunun tam olarak gerçekleşmemesine sebep olmaktadır [17].

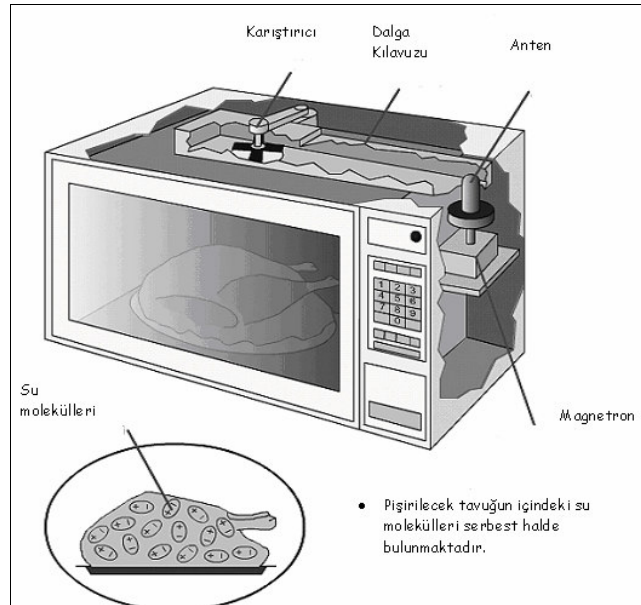
Gıdalarda tat oluşumunda, gıda içindeki büyük moleküllerin, daha küçük molekülü uçucu yapılara dönüşmesi ve yemek buharıyla ortamda serbest olarak bulunması

önemlidir. Ancak, mikrodalga fırınlarda, uçucu tat moleküllerinin oluşma ve buharlaşma hızları, konveksiyon fırınlara göre farklıdır [18].

Özetle, mikrodalga fırınların çalışma mekanizması ve pişirme hızı, oluşan ürün kalitesinde sorunlar açığa çıkarmaktadır.

Ancak yine de mikrodalgayla gıdaların pişirilmesi, konvansiyonel pişirme yöntemlerine göre kantitatif ve kalitatif bir çok avantajı olan bir prosestir. En önemli avantaj, daha önce de belirtildiği gibi, ısının gıda içinde hacimsel olarak oluşmasıdır. Bu sayede, gıdaların termal özellikleri ve yüzeydeki konvektif ısı transfer katsayılarının pişirme kalitesi üzerindeki etkileri mikrodalga prosesleri için sınırlayıcı etkenler olmaktan çıkmıştır [18, 19]. Bunların ötesinde, verilen elektromanyetik enerji çok yüksek bir verimle ve dışarıya ısı kayıpları olmaksızın ısıya çevrilmektedir. Bu özellik de enerji verimliliği açısından mikrodalgayla pişirmeyi ilgi çekici kılmaktadır.

2.3.1.1 Mikrodalga fırının çalışma sistemi



Şekil 2.1 : Mikrodalga fırını oluşturan bölümler

Mikrodalgalar elektronik devrelerde elektronların hızlandırılmaları ile elde edilir. Yüksek güçteki mikrodalgalar vakum tüpleri ile üretilmektedir. Elektronik devrelerde, elektrik enerjisinin elektromanyetik yayılmaya dönüşüm veriminin

yüksek olması ve bu devrelerin kolay kontrol edilebilmesi nedeniyle, mikrodalga ısıtma uygulamalarında magnetron veya klystron sürekli mikrodalga üreticisi olarak kullanılır. Magnetron elektrik enerjisini mikrodalga enerjisine dönüştürerek 2450 MHz frekansında mikrodalga üretir. Mikrodalgalar temas ettikleri madde ile etkileşime girerler. Örneğin; absorbe edilir, yansıtılır veya hiçbir değişikliğe uğramadan devam ederler. Mikrodalgalar gıda maddeleri tarafından absorbe edildiği zaman mikrodalga ışının pozitif ve negatif merkezlerinin yön değiştirmelerine paralel olarak, üründe bulunan polar moleküller yön değiştirirler (Şekil 2.1). Milyonlarca kez oluşan bu hareket sonucu moleküller sürtünme ısıyı açığa çıkar ve madde ısınır [15, 20].

Yani mikrodalga enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü, bu dalgaların bazı mikroskobik emme sistemleri tarafından emilmesi ve daha sonra emici madde moleküllerinin ısı titreşimlerinin değişimi şeklindedir. İşlemin süresi pişirilecek gıdanın su içeriğine, yoğunluğuna, dielektrik kayıp faktörüne, kütlesine bağlıdır. Mikrodalga enerji ile gıda maddesinin ısıtılmasında gıdanın bu özellikleri dışında, mikrodalganın çalışma frekansı, gücü, gıdanın kütlesi, başlangıç sıcaklığı, fiziksel geometrisi, ısı iletkenlik özellikleri, özgül ısı gibi birçok parameter de etkili olmaktadır [21].

Mikrodalgaların polaritesi (kutupsallık) her değiştiğinde (+) ve (-) yüklerle yüklü su molekülleri bir ileri bir geri saniyede 4,9 milyar kez titreşirler. Yükler, elektrik alanının varlığında alan içerisinde dizilirler. Elektromanyetik dalga bir molekülün yanından geçerken, molekül aşağı yukarı salınan bir elektrik alanı etkisinde kalır. Eğer bir elektromanyetik dalganın elektrik alanı polar moleküldeki atomların arasındaki bağın uzunluğu boyunca salınırsa, bağ boyunca atomları itme ve çekme eğilimi gösterir. Bunun sonucunda bir titreşim ortaya çıkar. Eğer elektromanyetik dalganın elektrik alanı bağ uzunluğuna dik kuvvetler uygularsa, bu durumda molekül dönmeye başlayacaktır. Bu yüksek hızdaki titreşmeden dolayı birbirine sürtünen su molekülleri ısı enerjisini açığa çıkarırlar. Bu ısı ile yiyecek pişmiş olur. İçinde daha fazla su molekülü olan yiyecekler daha hızlı pişerler. Mikrodalga fırınlarda ortam ve yiyecek kabı değil sadece yiyecek ısınır ve pişer. Mikrodalga ısıtmada küçük örneklerin ısıtılması sırasında eşmerleşme olmaması problemi nedeniyle, bazı fırınlara eşmerleşme elementleri eklenmiştir [22].

Mikrodalga ısıtma teknolojisi, çok sık kullanımına rağmen, iç dinamiği tam olarak anlaşılmamış, ürün kalitesinde çeşitli dezavantajlar barındıran; ancak konvansiyonel

yöntemlere göre sahip olduğu avantajları göz ardı edilemeyecek, daha dikkatli incelemesiyle geliştirilmesi mümkün bir alternatif pişirme yöntemidir.

Tablo 2.1’de mikrodalga ısıtma teknolojisinin genel olarak sahip olduğu avantajlar dezavantajlar gösterilmiştir [15].

Tablo 2.1: Mikrodalga ısıtma teknolojisinin avantaj ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
İçten, volumetric ısıtma	Yüksek oranda nem transferi Gevrek ürünlerde, nemli yumuşak dış yüzey
Seçici ısıtma (nemli bölgeler)	Gıda özelliklerine bağlı
Kurutmada self-levelling* özelliği	Dielektrik, geometr, v.b.
Daha uniform bir nem dağılımı	Pahalı (Elektrik enerjisi)
Daha hızlı ısıtma	Pişirmeden çok tekrar ısıtmada iyi sonuç
Besin değeri daha yüksek	Esmerleşme, kabuk oluşumu yok
Hızlı ısıtma sonucu	Soğuk dış ortam yüzünden
Özellikle sebzelerde, kendi suyuyla daha taze pişirme	
Hızlı mikrobiyolojik öldürücülük	Non-uniform sıcaklık dağılımı
Enerji verimliliği	Mikrobiyolojik risk
Dış ortamda ısınma yok	
Gıdalarda yanma sonucu oluşan kanserojenik maddeler yok	Odaklanma etkisi sonucu oval şekillerde sıcak noktalar
Küçük, kullanışlı ekipman	Minimum sıcaklığın nerede olacağı belli değil
Etkin proses kontrol	Modellenmesi zor
	Güvenlik kriterleri

*Self Levelling: Dielektrik kayıp faktörü, nem içeriğiyle azaldığı için gıdaların mikrodalga veya RF (radio frequency) ile kurutulmasında, gıda kurudukça, absorblanan elektromanyetik enerji azalır. Bu önemli avantaja Self Levelling adı verilir.

2.3.1.2 Mikrodalga ile pişirmenin gıdaların besleyici değeri üzerine etkileri

Mikrodalga fırında pişirilen gıdalar, genellikle geleneksel yöntemlerle pişirilenlerle aynı ya da daha düşük nem içeriğine sahiptirler, protein içerikleri ise geleneksel yöntemlerle pişirilenlere göre daha yüksektir. Mikrodalga fırında pişirme sonucunda esmerleşme reaksiyonları nedeniyle meydana gelen lizinin (Kemik ve dişlerin sağlamlığı için gerekli olan kalsiyum emilimine yardımcı olan aminoasit.) kullanılabilirliğindeki azalma minimuma indirilmektedir [23].

Mikrodalga fırında pişirme, gıdaların mineral içerikleri üzerine önemli bir etkiye sahip değildir. Genellikle her iki yöntemle pişirilen gıdaların mineral içeriklerinde benzer kayıplar gözlenmiştir [24].

Mikrodalga fırında pişirilen gıdaların tiamin (Suda eriyen B1 vitamini), riboflavin (B2 vitamini) ve niasin (B3 vitamini) içerikleri geleneksel yöntemlerle pişirilenlerle aynı ya da daha yüksek olduğu saptanmıştır. Mikrodalga fırında pişirilen tavuk ve hindi göğüs etlerinin piridoksin (B6 vitamini) içeriğinin geleneksel yöntemle pişirilenlere göre oldukça yüksek, domuz kasının piridoksin (B6 vitamini) içeriğinin ise daha düşük olduğu, mikrodalga fırında pişirilen gıdalarda, geleneksel yöntemlere göre askorbik asidin (C vitamini) daha fazla korunduğu belirtilmiştir.

Vitaminlerin korunması açısından; mikrodalga fırınlar, geleneksel yöntemlere göre daha üstündür. Mikrodalga fırınlarda kısa pişme süresi nedeniyle özellikle C vitamini, riboflavin ve piridoksin için korunma değerleri elde edilmiştir [23].

Mikrodalga fırında pişme zamanının kısa olması ve herhangi bir ısıtma elemanı ile temas olmadığı için pratik olarak Mutajen maddeler meydana gelmemektedir. Ancak mikrodalga fırında pişen gıdalar daha çok kreatinin (Kaslara enerji veren amino asit türevi) içerebilmektedir [25].

Çalışmanın sonuçlarına bakıldığında, mikrodalga fırınların çoğu besin öğelerinin korunumu açısından elektrikli fırına göre üstün olduğu, duyuşal yönden de bir dezavantaj yaratmadığı söylenebilir. Mikrodalga fırında pişen gıdalarda mutajenik maddelerin meydana gelmediğinin belirtilmesi ve kısa pişme süresi de göz önünde bulundurularak mikrodalga fırınların evlerde ve toplu beslenme kurumlarında pişirme ve yeniden ısıtma amacıyla kullanımı önerilebilir [26].

2.3.2. Radyo frekanslı ısıtma

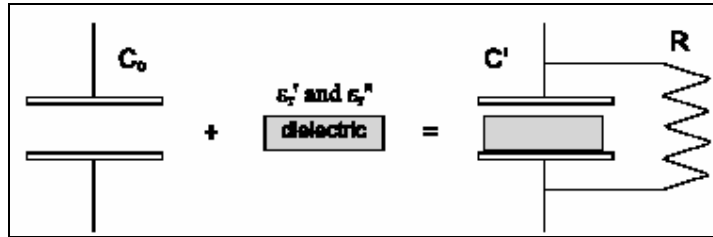
Radyo frekanslı (RF) veya yüksek frekanslı ısıtma, daha iyi bir tanımla RF dielektrik ısıtma, çok sayıda alanda başarıyla uygulanan bir termal proses teknolojisidir. RF teknolojisinin en sık kullanıldığı alanlar plastik, tekstil, kağıt&ambalaj, ahşap ve gıda endüstrileridir. RF ısıtma teknolojisi de mikrodalga ve ohmik ısıtma gibi, ısının hacim içinde oluşumuyla gerçekleşen bir elektro ısıtma teknolojisidir.

Gıda endüstrisinde RF ısıtma özellikle endüstriyel proseslerde kullanılır. Et endüstrisinde dondurulmuş etlerin defrostlanması, hububat sektöründe hamurlu gıdaların sürekli proseslerde pişirilmesi ve kurutulması RF ısıtma teknolojisinin kullanım alanlarına örnek olarak gösterilebilir.

RF teknolojisi de dielektrik ısıtma konusu altında, elektromanyetik temeller çerçevesinde geliştirilmiş bir teknolojidir. Bu sebeple RF anlatılırken çoğunlukla mikrodalga teknolojiyle RF teknolojisinin farklılıklarından söz edilecektir [27].

2.3.2.1 RF ısıtmanın temel özellikleri

RF teknolojisi ile gıdaların pişirilmesi, mikrodalgayla pişirmeye aynı teorik temele (gıda hacmi içerisinde elektrik enerjisinin doğrudan ısıya çevrilmesi) dayanır. Elektrik enerjisi, kapasitör gibi davranan RF dalga üreticisinin plakaları arasında uygulanan yüksek frekanslı elektrik alanı tarafından sağlanır. Gıdalar ise kapasitör plakaları arasında yer alan dielektrik malzeme gibi davranırlar (Şekil 2.2). Özetle, mikrodalgalardan farklı olarak RF teknolojisinde, enerji depolayan bir kapasitör oluşturulur. Bu kapasitördeki dielektrik malzeme gıdadır ve elektrik enerjisini ısıya çevirir [27].



Şekil 2.2 : Dielektriğin kapasitör üzerindeki etkisi

RF ISM bant aralıkları Tablo 2.2’de verilmiştir. RF elektromanyetik spektrumda en büyük dalgaboyu ve en küçük frekansa sahip aralıkta bulunmaktadır . Örnek olarak, 27.12 MHz frekanstaki RF’nin dalgaboyu 11 m iken, 2450 MHz frekanstaki mikrodalganın dalgaboyu 12 cm’dir. Dalgaboyunun yüksek oluşu RF’nin mikrodalga üzerinde özellikle endüstriyel gıda proses uygulamalarında bir çok avantajı olmasına sebep olmuştur.

Tablo 2.2: RF ısıtma teknolojisi için belirtilmiş ISM frekans aralıkları

Frekans (MHz)	Frekans Toleransı
13.56	$\pm 0.05\%$
27.12	$\pm 0.6\%$
40.68	$\pm 0.05\%$

RF ısıtmada da enerji oluşumu mikrodalga ısıtmada da kullanılan aynı bağlantılarla belirlenir. RF ısıtma modellemesi hakkında literatürde çalışma olmadığı halde, mikrodalga ısıtma modellemesi gibi gıda içi enerji oluşum teriminin enerji denkleminde eklenmesiyle modellenmesi gerektiği düşünülmektedir [27].

2.3.2.2 RF ısıtma uygulamaları

RF ısıtma gıda endüstrisinde uzun yıllardır kullanılan bir teknolojidir. Bisküvi ve hububatların son pişirme işlemleri ve RF ile gıda kurutulması endüstride, RF teknolojisinin en çok kullanıldığı uygulamalardır. Son zamanlarda RF ile buz çözme, pastörizasyon ve sterilizasyon işlemleri de uygulanmaya başlamıştır. Ancak RF teknolojisinin kullanıldığı ev tipi (domestik) bir uygulama yoktur [28].

2.3.2.3 RF teknolojisinin avantajları

RF'nin konvansiyonel, konvektif pişirme yöntemlerine göre avantajları, küçük ve kullanışlı olmak dışında mikrodalga teknolojisinin sahip olduğu avantajlarla aynıdır (Tablo 2.1). RF teknolojisinin diğer alternatif hacimsel teknolojilere göre (mikrodalga, ohmik pişirme) avantajları aşağıda verilmiştir [27]:

- Gıda kalitesinin yükseltilmesi
- Yüzeyi yavaş ısıtma
- Kısa üretim hatları
- Enerji verimliliğinin artırılması
- Gelişmiş kontrol

- Gıda Prosesinde RF ısıtmanın mikrodalga ve ohmik ısıtma gibi, alternatif volumetrik teknolojilere göre de avantajları bulunmaktadır.

2.3.2.4 RF teknolojisinin dezavantajları

Alışılmış ısıtma teknolojisi ile ohmik ısıtma karşılaştırıldığında RF ısıtmanın dezavantajları deneysel ve işlemsel masrafları anlatmaktadır. RF ısıtma ile Mikrodalga ısıtma karşılaştırıldığında RF ısıtmanın düşük güç yoğunluktan meydana gelmektedir [27].

- Deneysel ve işlemsel masraf
- Artırılmış güç yoğunluğu

2.3.3. Ohmik ısıtma

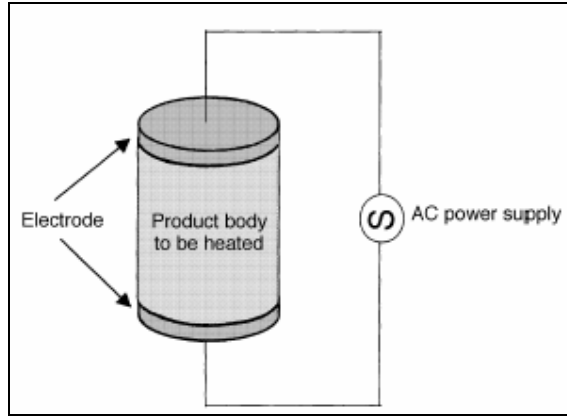
Ondokuzuncu yüzyılda ilk patentleri alınmış olsa da ohmik ısıtma, başka bir deyişle “rezistans ısıtma” ya da “elektro ısıtma”, diğer yöntemlere göre daha yeni bir teknoloji sayılır. Ohmik ısıtmada gıdadan içinden akım geçirilir. Gıdanın elektriği çok iyi iletmemesi ve rezistans gibi davranmasından dolayı, verilen elektrik enerjisi gıda içinde ısı enerjisine dönüştürülür .

Ohmik ısıtma da radyo frekanslı ısıtma gibi endüstriyel proseslerde kullanılan bir teknolojidir. Ohmic ısıtma, endüstride sıvı veya sıvı içinde parçacık halindeki katı gıdaların sterilizasyonunda da kullanılır. HTST (High Temperature Short Time) ve UHT (Ultra High Temperature) sterilizasyon prosesleri buna örnek olarak gösterilebilir [29].

2.3.3.1 Ohmik ısıtmanın temelleri

Ohmik ısıtmanın prensibi en basit şekilde Şekil 2.3 'de gösterilmiştir. Ohmik ısıtma, elektrik akımına karşı direnç gösteren sıvı-katı parçacık karışımı bir gıdanın içinden akım geçirilmesiyle yapılır. Geçen akıma direnç gösteren gıda karışımında hacimsel ısı oluşumu gözlenir. Alternatif akım, gıda kütlelerinin bulunduğu alanın iki ucundaki elektrotlar tarafından sağlanır. Isı oluşumu, elektrik alan şiddeti ve elektrik

iletkenliğiyle doğru orantılıdır. Elektrik alan şiddeti, elektrotlar arası boşluk veya uygulanan voltajla ayarlanabilir [30, 31].



Şekil 2.3 : Ohmic ısıtma prensibi

2.3.3.2 Ohmik ısıtma teknolojisinin avantaj ve dezavantajları

Ohmik ısıtmanın avantajları şu şekilde sıralanabilir [31]:

- Mikrodalga ve RF'nin nüfuz derinliği sınırlamasından bağımsız bir şekilde içten-hacimsel ısıtma sağlanır. Böylece büyük sıcaklık gradyanları oluşmadan çok daha düzgün bir sıcaklık dağılımı oluşur.
- Alışılmış yöntemlerle ulaşılmaz sıcaklıklara çok hızlı bir şekilde ulaşılır (1°C/s).
- Isı transfer katsayıları, ısınma için sınırlandırıcı parametreler değildir.
- Gıda yüzeylerinde yanma, sıcak nokta gözlenmez.
- Enerji verimi oldukça yüksektir (%90).

Ohmik ısıtmanın dezavantajları ise şunlardır [31,32]:

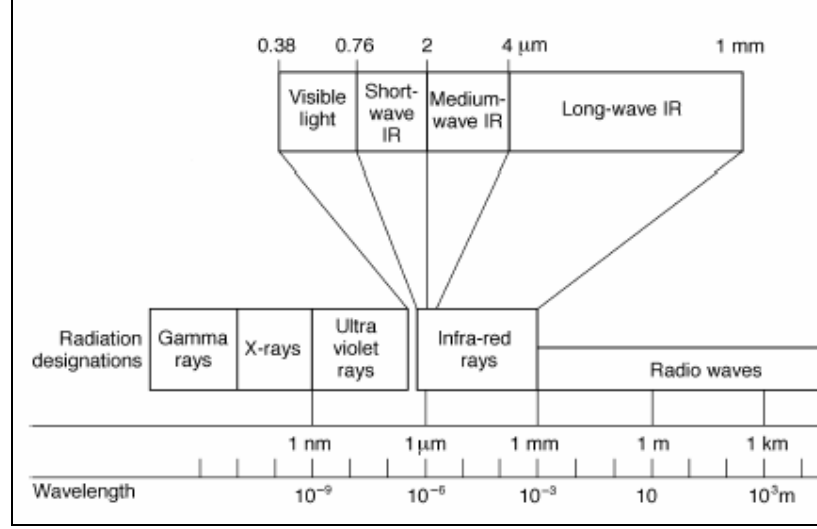
- Gıdanın elektrik özelliklerindeki heterojenlik pişme kalitesini etkiler. Ayrıca gıdalarda elektrik direncinin sıcaklıkla azalması, sıcaklık yükseldikçe verimin düşmesine sebep olur.

- Gıda içinde yüksek elektrik iletkenlikli (metal) veya yalıtkan (kemik, yağ, buz v.s.) bölgeler bulunması, bu bölgelerin hiç ısınmayacağı anlamına gelmektedir.
- Gıda yüzeyinde esmerleşme reaksiyonları etkin olarak gözlenmez.
- Sıvı matrisle elektrodların iyi bir temas halinde olması gereklidir.
- Gıdanın özgün özelliklerine bağlı bir tasarım gereksinimi vardır.
- Sıcaklık ve elektrik alanın beraber çözümünü gerektiren, modellenmesi zor bir prosestir.
- Endüstriyel kullanıma uygundur. Ev tipi bir kullanım henüz gerçekleşmemiştir.

2.3.4. Infrared (Kızılötesi) ısıtma

Infrared veya diğer bir deyişle ısı radyasyonu, 1800'lerde astronomi bilimiyle uğraşan Sir William Herschel tarafından bulunmuştur. 1847 yılında A.H.L. Fizeau ve J.B.L. Foucault; infrared ışınının görünür ışıkla benzer özellikleri olduğunu, infrared ışınının da ışık gibi madde tarafından emildiğini ve yansıtıldığını ortaya koymuşlardır. Günümüzde infrared ışımının başlıca kullanıldığı yerler; tıp, analitik kimya, endüstrileri olarak özetlenebilir [29].

İnfrared dalga boyuna göre, elektromanyetik spektrumda üç bölüme ayrılır (Şekil 2.4): uzun dalga boyu (4 μm -1 mm), orta dalga boyu (2-4 μm) ve kısa dalga boyu (0.7-2 μm). Kısa dalga boyları 1000°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, uzun dalga boyları 400°C'nin altındaki sıcaklıklarda ve orta dalga boyları bu iki sıcaklık değeri arasında ortaya çıkarlar [33].



Şekil 2.4: Elektromanyetik spektrumda detaylandırılmış infrared bölgesi

Gıdalardaki uygulamalara bakıldığında, uzun dalga boylu infrared ısıtmanın ev tipi ve endüstriyel fırın ekipmanlarında sıkça kullanıldığı görülmektedir. Aslında, uzun dalga boylu infrared ısıtma, ışımaya ısı transferinin temelini oluşturur. Ancak, kısa dalga boylu infrared ısıtmanın gıda ısıtılmasında kullanılması yeni bir konudur. Gıda proseslerindeki bir çok yenilik gibi, farklı bir endüstri kolundaki teknoloji gıdaların ısıtılmasında alternatif bir yöntem olarak karşımıza çıkmıştır [34].

2.3.4.1 Teoriler

Infrared ışımasının temel özellikleri arasında yüksek ısı transfer kapasitesi, ürün içine direk ısı penetrasyonu, hızlı proses kontrolü ve çevredeki havanın ısınmaması yer almaktadır. Bu özellikler infrared ışımayı ısıtma amaçlı enerji kullanımında ideal kaynak olduğunu göstermektedir. Penetrasyon karakteristiğine bakıldığında yüzey ve kütle arasında ısıtma ideal dengeliyi sağlamakta bu da sonuç olarak optimal ışımayı gerçekleştirmektedir.

(Ginzburg 1969, Hallstrom 1988) Yaptıkları çalışmalarda optimal ısıtma sonuçlarını elde etmede aşağıdaki faktörlerin kontrolünün önemli olduğunu belirtmişlerdir [33].

- Radyatör sıcaklığı

- Radyatör verimliliği
- Infrared yansımaları-absorbsiyon özellikleri
- Infrared penetrasyon özellikleri

2.3.4.2 Özellikler

Isı Transferi

Elektromanyetik ışıma bölgesinde $75 \cdot 10^{-6}$ – $100,000 \cdot 10^{-6}$ cm (0,000075-0,1cm) aralığı infrared spektrumu kapsamaktadır. Infrared ışımanın frekansı görünür ışıktan küçük, radyo dalgalarından büyüktür. Infrared isim olarak “kırmızının altı” veya düşük frekans (uzun dalga boyu) görülebilir spektrumun sonu anlamındadır. Infrared ışıma sıcaklığı 10 K üzerinde olan maddeler için termal özelliktedir. Işıma soğurulduğunda enerjisini malzemeleri ısıtmak için vermektedir [29].

Isı transfer oranı:

- Isıyı yayan ve soğuran malzemenin yüzey sıcaklığı
- Her iki malzemenin de yüzey özellikleri
- Her iki malzemenin şekli önemlidir.

Eşitlik 2.1’de Stefan-Boltzmann yasası kullanılarak ideal bir radyatörden (black body) yayılan ısının miktarı

$$Q = \sigma A T^4 \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de

Q, ısı emisyon oranı ($J s^{-1}$)

σ , Stefan Boltzmann sabiti $5,7 \cdot 10^{-8} J s^{-1} m^{-2} K^{-4}$

A, alan m^2

T, absolute sıcaklık K

olarak gösterilmektedir.

Optik Özellikler/IR Yansıması

Infrared dalgalar bir maddeye çarptığında yansıtılır r , iletilir t veya soğurulur (Şekil 2.5). Gri cisim tarafından soğurulan ışınım miktarı α absorbtivity olarak adlandırılır ve sayısal olarak da emisiviteye eşittir. Soğurulmayan ışınım yansıtılır bu da reflectivity (yansıtıcılık) $1-\alpha$ olarak adlandırılır. Soğurulan enerji ve ısınma derecesi sayısal olarak 0'dan tam soğurulmaya kadar değişmektedir. Bu da farklı boyutlarda ışınımı soğuran gıdanın bileşimine bağlıdır ve kaynağın sıcaklığı infrared ışınımın dalga boyunu belirlemektedir. Yüksek sıcaklıklar daha kısa dalga boyu üretirken denatrasyon derinlikleri daha büyük olmaktadır. Bu nedenle gıdada net ısı transferi oranı yayımlama oranının soğurma oranından farkına eşittir (Eşitlik 2.2).

$$Q = \epsilon \sigma a (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.2)$$

Denklem 2.2'de

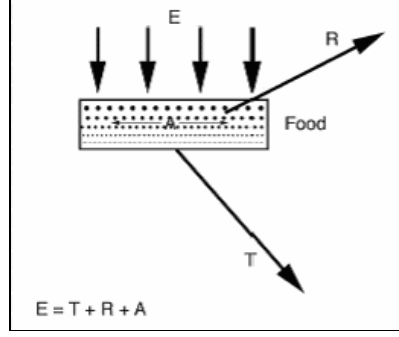
T_1 , ışınım yayıcının sıcaklığı (K)

T_2 , soğurucunun sıcaklığı (K)

olarak gösterilmektedir.

Soğurulan ışınlar ısıya dönüşmekte ve maddenin sıcaklığı yükselmektedir. Dalgalar maddenin içine girdiğinde moleküllerin titreşimleri ve dönme hareketleri değişmektedir. İki ana titreşim 'gerilme' ve 'bükülme' şeklinde oluşmaktadır. Gerilme atomlar arasındaki mesafenin artması veya azalması ve bükülme ise atomların hareketi anlamına gelmektedir.

Infrared ışık bir moleküle çarptığında enerji soğurulur ve titreşim hareketi değişir (Şekil 2.5) [33].



Şekil 2.5 : Yansıyan, absorblanan veya iletilen toplam enerji

Yapılan patent araştırması sonucunda, Infrared ile ısıtmanın pişirmedeki etkisini tanımlayan patent dokümanı aşağıda verilmiştir:

1999 yılında, QUADLUX INC firması tarafından alınan patent (WO9930086) dokümanında; pişirme işlemini gerçekleştiren ışık dalgalı fırında kullanılan halojen lambalar tanımlanmaktadır. Bu lambalar, pişecek olan yemeğin üst ve altına yerleştirilmiştir ve pişirme döngüsünün belirli kısımlarında ışığı süzerek, elektromanyetik tayfın içinden seçilmiş aralıklardaki ışığın enerjisini verirler.

Yemek pişirmeye veya ısıtmaya yarayan fırınlar yüzlerce yıldır tanınmaktadır ve kullanılmaktadır. Fırın çeşitleri temel olarak dört pişirme çeşidi ile sınıflandırılabilir; iletim ile pişirme, konveksiyon ile pişirme, infrared ışınla ile pişirme ve mikrodalga ışınması ile pişirme.

Pişirme ve fırında pişirme arasında ince farklılıklar vardır. Pişirmede sadece yemeğin ısınması gerçekleşir. Fakat ekmekek, kek, kabuk gibi ürünlerin veya diğer hamur işi ürünlerinin fırında pişirilmesi esnasında ürünün ısıtılmasının yanında, daha önceden belirlenen bir yöntem ile suyun hamurdan çıkışı sağlanarak kimyasal reaksiyondan geçer. Suyun hamurdan çıkışı ile ürün tekrar değişime uğramayacağı son haline gelir ve son olarak da dış yüzeyi kızartır. Fırında pişirme işlemini bir tarife uygun olarak gerçekleştirmek çok önemlidir. Fırında pişirme süresini kısaltmak amacı ile sıcaklığın artırılması ürünün zarar görmesine veya bozulmasına neden olur.

Genelde problemler kullanıcının yiyecekleri kısa sürede, yüksek kalitede pişirmek istemelerinden dolayı ortaya çıkar. İletim ve konveksiyon sayesinde istenilen kalite

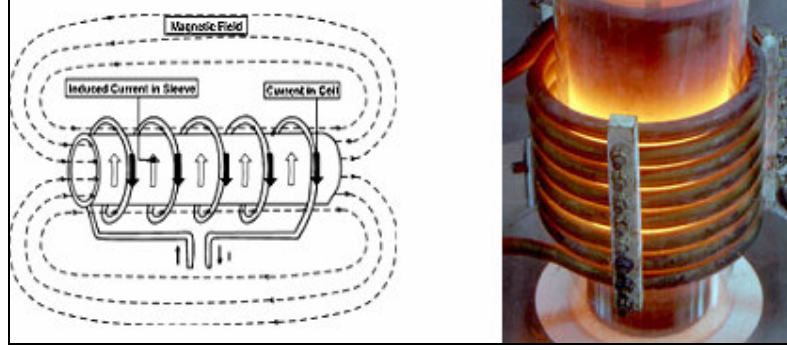
elde edilir fakat nitelikleri gereği, bu iki metod da yavaş enerji transferine sahip metodlardır. İnfrared ışınma, daha hızlı ısıtma oranları sağlayabilir fakat bu ışınma ile yiyeceklerin sadece üst yüzeyi ısınır ve iç kısımlara ısı enerjisi gönderimi, çok daha yavaş bir iletim ile gerçekleşir.

Mikrodalga ışınması ile yiyecekler derinlemesine çok hızlı ısınır fakat pişirme esnasında, yüzeye yakın bölgelerdeki su kaybı nedeniyle, yüzey istenildiği gibi kızarmadan pişirme sona erer. Bu nedenle, mikrodalga fırınlarda ekmek gibi ürünler iyi kalitede pişirilemez.

Işınma ile pişirme metodları, ısımanın yiyecek molekülleriyle etkileşim içinde olması ile sınıflandırılabilirler. Örneğin, pişirmede en uzun dalgalılarına sahip olan mikrodalgalar ile başlayarak; ısınma, yayılan enerjinin bipolar su moleküllerinin dönmesini sağlamasıyla gerçekleşir. Su molekülleri arasındaki birleşiklik nedeniyle, bu dönme hareketiyle elde edilen enerji, ısı enerjisine dönüşür ve böylece yemek ısınır [35].

2.3.5. İndüksiyon ısıtma

Herhangi bir iletken malzeme bir AA devresinin yanına getirildiğinde, kısmen de olsa ısınabilir. İndüksiyonla ısıtma prensibinde alternatif akımın geçeceği bobin ısıtılacak parçanın etrafını sarmakta , fakat parçaya temas etmemektedir. Bobin içinden geçen alternatif akımın yarattığı akı, (manyetik alan) içindeki veya yakınındaki her metal parçadan devresini tamamlamaktadır. Akımın yön ve değerindeki değişiklik, akıda da aynı değişikliği yaratır. Akıdaki değişiklik, parça içinde bir gerilim doğurur. Bu gerilim , parça içinden büyük değerde fukolt akımı dolaştırır. Parça direncinden geçen bu akım parça içinde ısı yaratır. Isıyı indüksiyon akımı meydana getirdiğinden, bu işleme indüksiyon ısıtma denir [36].



Şekil 2.6 : İndüksiyon ısıtma yöntemi

Isıtılacak parça ise kısa devre edilmiş bir spirlik bir sekonder gibidir. Bobin genellikle içinden dolaştırılan su ile soğutulur. Bu metotla çelik bir parça normal bir elektrikli fırından 50 kere daha çabuk ve homojen olarak tavlanabilir.

Manyetik olan ve olmayan parçalarda fukolt akımları hemen hemen aynı miktarda ısı meydana getirir. Manyetik malzemelerde ilave olarak histeresiz olayından dolayı da ısı meydana gelir. Fakat 723 °C' den sonra (Curie noktası) malzemenin manyetik etkisi dolayısıyla histeresiz kaybı yok olur.

Küçük parçaların tavlanmasında ve yüzey sertleştirme işlemlerinde daha yüksek frekans kullanılır. Bobinden geçen akımın yarattığı akı, bobin iç yüzeyine yakın kısımlarda en büyük değerdedir. Parçada indüklenen akım, bu yüzden parçanın yüzeyine yakın yerlerde yoğunlaşır.

Makine kranklarının sertleştirilmesinde parça, yüzeyinin 1-2 mm altına kadar 900 °C 'nin üstünde ısıtılır. Bu durumdaki parça ani soğutulursa, sürtünen üst yüzeyler arzulanan sertliğe kavuşmuş olur. Parçanın yüzeyden uzak olan kısımları çok ısınmadığı için, su verme işleminden yumuşak kalır. Böylece yüzeyi sert, yani aşınmaya dayanıklı, içi yumuşak yani kırılmaya dayanıklı bir parça elde edilmiş olur. Bu işlemde dikkat edilecek nokta, parça 1-2 saniyede arzulanan derecede ısıtılmalı su iletimi ve kaybı olmadan hemen soğutulmalıdır.

Kullanılacak AA frekansı ise 2000-5000 Hz olmalıdır. İndüksiyon ısıtmada frekans seçimi ve güç tayini için birçok formül kullanılır. Fakat bu değerlerin tayininde

tecrübe ve testler esas teşkil eder. Arzulanan frekans, ısıtılacak olan iletken malzemenin cinsine bağlı değildir.

Çalışma frekansına ; ısıtılacak parçanın büyüklüğü , şekli ısınacak kısmın derinliği tesir eder. Örneğin: 2000 Hz de ısınan kısmın derinliği 1,9 mm 'den daha az olamaz. 10-100 kHz lik frekanslarda ısı derinliği 0,4-0,9 mm arasındadır. Endüksiyon fırınlarda güç, ısıtılacak yüzey ile bağıntılıdır. Genellikle 1 cm² kesit için, yüzey ısıtmada 1-10 KW 'lık ısı gerekir [36, 37].

İndüksiyonla ısıtmanın özelliklerini belli başlı şu noktalarda özetleyebiliriz:

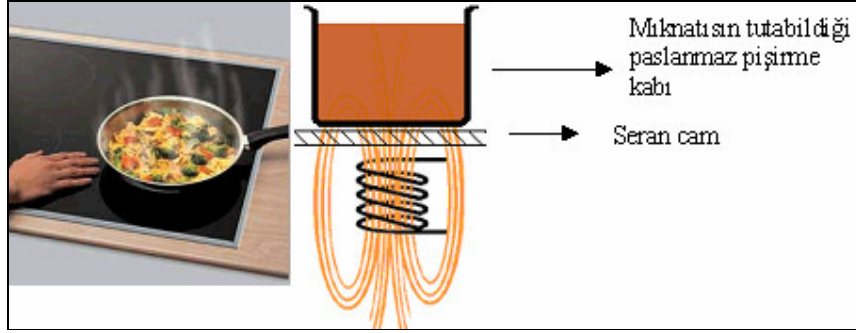
1. Belirli bir malzeme için ısı derinliği, frekansın karekökü ile ters orantılıdır. Frekansın çoğalması, parça üzerinde daha ince bir tabakanın ısıtılmasını sağlamış olur.
2. Belirli akı yoğunluğu, frekans ve direnç için birim hacme giren ısı, geçirgenliğinin (μ) karekökü ile orantılıdır. Manyetik malzemeler, manyetik olmayanlardan daha çabuk ısınırlar.
3. Belirli akı yoğunluğu ve ısı derinliği için birim hacme giren sıcaklık, dirençle değişir. Yüksek dirençli malzemeler daha çabuk ısıtılabilir.
4. Belirli bir malzeme ve frekans için birim hacme giren sıcaklık akı yoğunluğunun karesi ile orantılıdır. Verilen sıcaklık, sarım sayıları ile veya bobin akımı ile veya her ikisiyle birden kontrol edilir.

Yüksek frekansla çalışmanın diğer bir avantajı da, bobinle ısıtılacak parça arasında daha büyük hava ağırlığı bırakılabilmesidir. Yüksek frekansla bobine daha büyük gerilim uygulanır. Bu yüzden emniyet bakımından bobinle ısıtılacak parça arasında yeterli bir hava aralığı bırakmak gerekir. Yüksek frekansla çalışmada bu durum sakıncasız olarak gerçekleştirilmiş olur [38].

2.3.5.1 İndüksiyon ile pişirme

İndüksiyon, pişirme için ısı üretiminin hızlı ve yüksek verimli metodudur. İndüksiyon özelliğinde yemeği pişirmek için gerekli olan enerji direkt olarak pişirme kabının içerisine akıyor, bu da hem enerji tasarrufu sağlıyor, hem de zaman

kazandırıyor [36]. Şekil 2-7' de ısınmayan seran cam yüzeyi sayesinde emniyetli olan induksiyonlu ocaklar el yakmıyor ve kolay temizlenebiliyor. Sadece, mıknatısın tutabildiği paslanmaz pişirme kabı kullanılarak bu ocaklar kullanıcıya yeni bir teknolojik pişirme sunmaktadır.

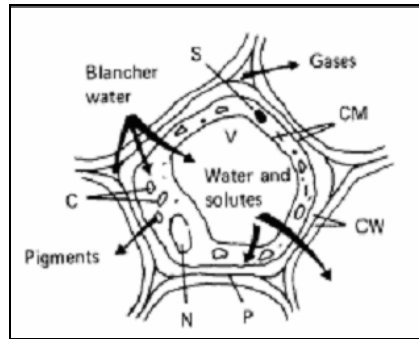


Şekil 2.7 : İndüksiyonlu ocak

2.3.6. Buhar & su ile ısıtma

Buhar ile ısıtma teknolojisinde kullanılan **buharda pişirme** metodu ısının doğal konveksiyonunun kullanıldığı nemli pişirme prosesidir. Suyun veya buharın havada hareket etmesi, yiyeceklerin şiddete maruz kalmasını engellemektedir. Yumuşak bir ısıya sahip olan buhar, gıda maddelerinin hücre dokusunu zedelemekten ve koku bileşimine zarar vermeden yumuşak bir şekilde malzemenin içine nüfuz ederek katmanlara ulaşır ve yiyeceğin besin değerini en yüksek oranda korumaktadır [39].

Buharda pişirilen yemeklerin diğer pişirme yöntemlerinin aksine vitamin ve mineral içeriklerini tamamen korunurlar.



Şekil 2.8 : Gıdada gerçekleşen olaylar

Şekil 2.8’de; S nişasta jelleşmesi, CM sitoplazmadaki membranların değişimi, CW hücre duvarlarının değişimi, P pektin denaturasyonu, N hücre çekirdeğindeki & sitoplazmadaki protein denaturasyonu, C kloroplast & kromoplastların bozulması anlamına gelmektedir. Buhar ile ısıtma teknolojisinin gıda üzerindeki etkileri besin değeri (, doku ve renk & lezzet şeklinde açıklanabilir. Besin değeri, yiyeceğin besin değerinin en yüksek oranda korunduğu yöntemdir. Buharlı pişirmede doku yumuşak bir yapı şeklindedir, renk ise parlaktır. Sebzelerin renkleri buharlı pişirmede açılır. Maillard Reaksiyonu oluşumu çok etkin değıldir [40].

2.3.6.1 Buhar ile ısıtma teknolojisinin özellikleri

- Buhar besinleri kurumaktan ve buna bağılı zararlardan korur.
- Yiyecekler nemli ve sulu kalır.
- Bu yöntem sadece sebzeler için değıil, hamurlar, sufleler, tatlılar, balıklar ve deniz mahsulleri için de geçerlidir.
- Besinler kararmaz ve kabuklanmaz, itinaıyla buğulanır, kızarmazlar.
- Besinlerin özgün tatlarını almanızı sağılar.
- Basınç altında hızlı ve kolay pişirme yöntemidir [41].

2.3.7. Sıcak hava ile ısıtma

2.3.7.1 Impingement teknolojisi

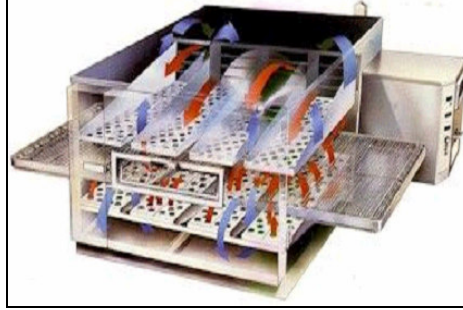
Jet impingement teknolojisi; elektronik soğıutmada, sıcak metal plakalarının ve gaz türbin ağızlarının soğıutulmasında, yüksek performanslı düşük ağırlıklı ısı değışimlerinde ve kurutmada kullanılır. Yiyecek endüstrisinde; jet impingement teknolojisi , yüksek ısı transfer katsayısı ile kaliteden dolayı hızlı ve iyi prosesler için fırında pişirme ve dondurma işlemlerinde kullanılmaktadır. Jet impingement fırınları; pizza, kraker, kurabiye ve tahıl ürünlerini pişirmek ve kızartmak için kullanılır [44].

2.3.7.2 Hava jetleri

Jetler ısı ve kütle transferini artırmak için bir çok endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Hava jetleri, yüksek sıcaklıkta çalışan gaz türbinlerinde, kağıt, tekstil ve cam sanayisinde, metallerin ısıl işlemlerinde, elektriksel ve elektronik devrelerde sıkça kullanılmaktadır [45].

2.3.7.3 Air jet impingement fırın

Air jet impingement fırın teknolojisi düşük sıcaklıklarda pişirmede, fırında pişirmede, kurutmada konvansiyonel fırınlara göre daha hızlıdır. 15 yıldır patentleşen teknoloji; endüstriyel ve yiyecek servis uygulamalarında yeni teknolojik gelişme sağlamaktadır. Air jet impingement teknolojisinde, ürünün üstünde ve altında sıcak hava “jetler” kullanılmaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 : Impingement fırın

Sıcak havanın bu jetleri, ürünün çevresindeki nemin ve havanın “sınır tabakaları” larının içine nüfuz etmektedir. Ürün içerisine ısı transferi verimli şekilde yapılmaktadır (Şekil 2.10)



Şekil 2.10 : Sıcak hava jetlerinin ürüne teması

Pizza, et, sebze, unlu gıdaları vb. yiyecekleri; hava sıcaklık, hız, nem kontrolüyle hızlı ve verimli bir şekilde pişirilebilen impingement fırınlar; deck fırınlardan (çoklu raf bileşenleri ile aynı anda pizza vb. pişirildiği fırın) farklı olarak, basınç altında sıcak hava kullanırlar. Konvansiyonel fırınlarda sıcak hava kullanılarak, havayı tek yönde üflerler ve deck fırınlara göre daha hızlı pişirme sağlarlar [45].

2.3.7.4 Özellikleri ve yararları

- Konvansiyonel fırına göre pişirmede, fırında pişirmede, ve kurutmada hızlıdır.
- Düşük sıcaklıklarda ürün prosesleri
- Uniform ve kaliteli üretim
- Konvansiyonel fırına göre daha kısa pişirme zamanı ve az kat yüzey gerektirir.
- Yüksek akış verimliliği sağlar.

Air jet impingement sistem, ürünlerin geniş çeşitli proseslerinde kullanılır. Örneğin çeşitli fırında pişirilen ürünlerde; turtalar, pide ekmekler, pizzalar, ekmekler, ayçörekleri, peynirli kekler, patates cipsleri, vb. kullanılır [46].

KAYNAKLAR

- [1] **Belitz H.D., Grozch W.**, 1999. Food Chemistry, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- [2] **Obuz E., Powell T.H., Dikeman M.E.**, 2002. Simulation of cooking cylindrical beef roast, *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, **35**, 637-644.
- [3] **Chen H., Powel T.H., Dikeman M.E.**, 1999. Modeling coupled heat and mass transfer for convection cooking of chicken patties, *Journal of Food Engineering*, **42**, 139-146
- [4] **Barham P.**, 2001. The Science of Cooking, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- [5] **Welti-Chanes J., Velez-Ruiz J.F., Barbosa-Canovas G.V.**, 2003. Transport Phenomena in Food Processing, CRC Press LLC, Florida.
- [6] **Gekas V.**, 1992. Transport Phenomena of Foods and Biological Materials, CRC Press, Florida.
- [7] **Valentas K.J., Rotstein E., Singh R.P.**, 1997. Handbook of Food Engineering Practice, CRC Press LLC, Florida.
- [8] **Parliament T.H., Morello M.J., McGorin R.J.**, 1994. Thermally Generated Flavors- Maillard, Microwave and Extrusion Processes, *American Chemical Society Publishers*, Washington.
- [9] **Califano A.N., Bertola N.C., Bevilacqua A.E., Zaritzky N.E.**, 1997. Effect of processing conditions on the hardness of cooked beef, *Journal of Food Engineering*, **34**, 41-54.
- [10] **Data A.K., Anantheswaran R.C.**, 2001. Handbook of Microwave Technology for Food Applications, Marcer Dekar Inc, New York.
- [11] **Nicolai B.M., Verboven P., Scheerlick N.**, 2001. Modelling and Simulation of Thermal Processes, *Thermal technologies in food processing*, Florida.
- [12] **McGee H.**, 2003. On Food and Cooking, NY Free Press, New York.
- [13] **Kinton R., Ceserani V., Foskett D.**, 1995. Practical Cookery, *Hodder and Stoughton Inc*, London.
- [14] **Crackneli H.L., Kaufmann R.J.**, 1992. Professional Cookery, *Hodder and Stoughton Inc*, London.

- [15] **Metaxas A.C., Meredith R.J.**, 1982. Industrial Microwave Heating, Archtech House, London.
- [16] **Data A.K., Ni H.**, 2002. Infrared and hot-air-assisted microwave heating of foods for control of surface moisture, *Journal of Food Engineering*, **51**, 355-364.
- [17] **Thostenson E.T., Chou T.**, 1999. Microwave processing fundamentals and applications, *Applied Science and Manufacturing*, **30**, 1055-1071.
- [18] **Zhou L., Puir V.M., Anantheswarn R.C.**, 1995. Finite element modeling of heat and mass transfer in food materials during microwave heating, *Journal of Food Engineering*, **25**, 509-529.
- [19] **Richardson P.**, 2001. Microwave Processing, *Thermal technologies in food processing*, TJ International Limited, London.
- [20] **Swain M.W.L., Russel L., Clarke R.N., Swain M.J.**, 2004. The development of food simulants for microwave oven testing, *International Journal of Food Science and Technology*, **39**, 623-630.
- [21] **James C., Swain M.V., James M.J.**, 2002. Development of methodology for assessing the heating performance of domestic microwave ovens, *International Journal of Food Science and Technology*, **37**, 879-892.
- [22] **Bows J.R., Patrick M.L., Nott K.P., Hall L.P.**, 2001. Three-dimensional MRI mapping of minimum temperatures achieved in microwave and conventional food processing, *International Journal of Food Science and Technology*, **36**, 243-252.
- [23] **Karakaya S., Kavas A.**, 1991. Mikrodalga ile pişirmenin gıdaların besleyici değeri üzerine etkileri I, *E.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergisi*, **9**, 2.
- [24] **Karakaya S., Kavas A.**, 1991. Mikrodalga ile pişirmenin gıdaların besleyici değeri üzerine etkileri II: Mineraller ve Vitaminler, *E.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergisi*, **9**, 2.
- [25] **Karakaya S., Kavas A.**, 1992. Et ve patatesin bazı besin değerleri üzerine mikrodalga pişirmenin etkileri, *Gıda Mühendisliği Kongresi*, Ege Üniversitesi, İzmir, 26-28 Kasım, s. 34-41.
- [26] **Karakaya S., Kavas A.**, 1993. Food Chemistry Microbiology Technology, *Chem. Mikrobiol Technol. Lebensm*, **15**, 30-34.
- [27] **Richardson P.**, 2001. Radio frequency heating, *Thermal technologies in food processing*, TJ International Limited, London.
- [28] **Laycocka L., Piyasenab P.**, 2003. Radio frequency cooking of ground comminuted and meat products, *Meat Science*, **42**, 326-329.

- [29] **Fellows P.J.**, 2000. Dielectric ohmic infrared heating, *Food Processing Technology Principles and Practice*, **96**, 743-748.
- [30] **Şensoy I.**, 2003. Ohmic And Moderate Electric Field Treatment Of Foods, Ohio Press, Ohio.
- [31] **Richardson P.**, 2001. Ohmic heating, *Thermal Technologies in food processing*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- [32] **Ozkan N., Ho I., Farid M.**, 2000. Combined ohmic and plate heating of hamburger patties: quality of cooed patties, *Journal of Food Engineering*, **34**, 120-128.
- [33] **Richardson P.**, 2001. Infrared heating, *Thermal Technologies in food processing*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany
- [34] **Richardson P.**, 2001. Instant and High-Heat Infusion, *Thermal Technologies in food processing*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- [35] **Reznik D.**, 1997. Electra-heating food prod., esp. Liq. Pasteurization or sterilization-by applying alternative current to food as it passes through electroheating zone defined between pairs of electrodes spaced from barrier contacting food, *Patent Report Food Control*, **8**, 211-217.
- [36] **Kawaguchi H., Entkizono M., Todoka T.**, 2005. Thermal and magnetic field analysis of induction heating problems, *Journal of Materials Processing Technology*, **161**, 193-298.
- [37] **Richardson P.**, 2001. Combined High Pressure Thermal Treatment of Foods, *Thermal Technologies in food processing*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany
- [38] **Tavakkoli H., Wilke H.**, 2004. Numerical study of induction heating and heat transfer in a real Czochralski system, *Journal of Crystal Growth*, **275**, 85-89.
- [39] **Kato K.**, 1997. Combination type heating cooker combining ateam and gas burner used in fast food center has couple of cooking cabinets provided on top of heating cabinet each forming heating chamber which stores gas burner leading to steamer in heating cabinet, *Patent Report Food Control*, **8**, 117.
- [40] **Horribon J., Kondon A., Ryder L.**, 2002. Interior and surface colour development during wheat grain steaming, *Journal of Food Engineering*, **57**, 33-34.
- [41] **Welti-Chanes J., Velez-Ruiz F., Barbosa-Canovas V.**, 2002. Thermal Processing of Particulate Foods by Steam Injection, *Transport Phenomena in Food Processing*, CRC Press, London.

- [42] **İbicek T., Akar B., Tolay M.,** 2005. Pişirmenin Modellenmesi ve Alternatif Pişirme Yöntemleri Patent Raporu, Arçelik Ar-Ge Raporu, İstanbul.
- [43] **İbicek T., Akar B., Tolay M.,** 2005. Alternatif Pişirme Yöntemlerinin İncelenmesi Raporu, Arçelik Ar-Ge Raporu, İstanbul.
- [44] **Welti-Chanes J., Velez-Ruiz F., Barbosa-Canovas V.,** 2002. Heat Transfer Coefficient for Model Cookies in a Turbulent Multiple Jet Impingement System, *Transport Phenomena in Food Processing*, CRC Press, London.
- [45] **Xue J., Wlaker E.,** 2003. Humidity change and its effect on baking in an electrically heated air jet impingement oven, *Food Research International*, **36**, 561-169.
- [46] **Murphy Y., Osaili T., Beard L., Marcy A., Duncan K.,** 2004. Application of statistical process control, sampling, and validation for producing *Listeria monocytogenes* free chicken leg quarters processed in steam followed by impingement cooking, *Food Microbiology*, **22**, 47-52.

ÖZGEÇMİŞ

Tülay İbicek, İ.T.Ü. Fizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrencisi olup, "Endüstride Uygulama Destekli Tez Programı" kapsamında Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Direktörlüğü'nde çalışmalarını tamamlamıştır.