Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi
Cilt: 4, No: 3, 2009 (20-31)

Electronic Journal of Food Technologies
Vol: 4, No: 3, 2009 (20-31)

TEKNOLOJİK ARAŞTIRMALAR

www.teknolojikarastirmalar.com
e-ISSN:1306-7648

Derleme
(Review)

Gıda Sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları

Ülgen İlknur Konak*, Muharrem Certel*, Selçuk Helhel**

*Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Antalya/Türkiye
** Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya/Türkiye

konakulgen@akdeniz.edu.tr, certel@akdeniz.edu.tr, selcukhelhel@akdeniz.edu.tr

Özet

Mikrodalga kaynaklarının sanayide ve evde kullanımı son yıllarda çarpıcı bir şekilde artmaktadır. Bir materyalin mikrodalga ile ısıtılması, uygulanan elektrik alan şiddetinin bir sonucu olarak iyonik bileşenlerin hareketi ya da moleküllerin polarizasyon-depolarizasyon mekanizması ile gerçekleşmektedir. Hacimsel ısıtma, mikrodalga ile ısıtmanın en önemli özelliğidir. Mikrodalganın materyalin içine penetrasyonu ile sağlanan kısa başlangıç süresi ve iç ısınma, randımanı arttırmakta ve proses süresini kısaltmaktadır. Sağlanan bu özellikler mikrodalgayı ilgi çekici bir ısı enerjisi kaynağı yapmaktadır. Bu çalışmada, mikrodalga teknolojisinin temel prensiplerine ve mikrodalga ile ısıtmanın gıda proseslerindeki uygulamalarına ilişkin bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikrodalga, gıda prosesleri

Applications of Microwaves in the Food Industry

Abstract

The industrial and domestic use of microwave sources has increased dramatically over the past few decades. Heating of any material by microwave is based on either a result of movement of ionic components due to applied electric field intensity or polarization–depolarization mechanism of molecules. The most important characteristic of microwave heating is volumetric heating. Brief startup times and internal heating, due to penetration of microwaves, improve efficiency and reduce process times, making it an attractive source of thermal energy. In this study, the fundamentals of microwave technology and applications of microwave heating in food processes are reviewed.

Keywords: Microwave, food processes

1. GİRİŞ

Mikrodalga teknolojisi 2. Dünya Savaşı sırasında askeri ekipmanların üretimi ve dizaynı üzerine yapılan çalışmalarda keşfedilmiştir. Mikrodalga teknolojisinin kullanıldığı alanlar; gıda prosesleri (ısıtma, çözme, kalite kontrol), endüstriyel ürünlerin kurutulması (kağıt, odun), kimyasal reaksiyonların hızlandırılması

Bu makaleye atıf yapmak için
Konak, .İ.K.., Certel, M., Helhel, S. "Gıda Sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları". Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi 2009, 4(3) 20-31

How to cite this article
Konak, İ.K., Certel, M., Helhel, S. "Applications of Microwaves in the Food Industry" Electronic Journal of Food Technologies, 2009, 4(3) 20-31

(mikroreaksiyon kontrolü), endüstriyel ürünlerin eritilmesi (cam, lastik, sulu çamur), sinterleme (seramik, maden tozu), plazma üretimi, mineral prosesleri (kaya parçalama, ufalama), atık arıtma ve geri dönüşüm prosesleridir [1]. Gıda endüstrisi mikrodalga enerjisinin en çok kullanıldığı alandır. Bu enerji yemek pişirme, buz çözme, temperleme, kurutma, dondurarak kurutma, pastörizasyon, sterilizasyon, fırında pişirme ve ısıtma işlemlerinde kullanılmaktadır [2].

2. MİKRODALGA KAYNAKLARI ve TEMEL ÖZELLİKLERİ

Vakum tüpleri, yüksek güç ve frekanslardaki mikrodalgaların elde edildiği kaynaklardır. Mikrodalga ile ısıtma için kullanılan vakum tüpleri; magnetron, yürüyen dalga tüpleri (TWT) ve klystronu içermektedir [3]. Magnetron tüpü endüstride ve evde en yaygın kullanılan mikrodalga kaynağıdır. Magnetronun merkezinde anot tarafından çevrilmiş, elektron yayan bir katot bulunmaktadır [4].

Mikrodalgalar, 1 mm-1 m dalga boyu ve 300 MHz-300 GHz frekans aralığında bulunan, elektromanyetik spektrumun belirli bir kısmını kapsayan iyonize edici olmayan elektromanyetik dalgalardır [5]. Mikrodalgalar elektromanyetik spektrumda kızılötesi ışınlar ile radyo dalgaları arasında yer almaktadır [6]. Federal Komünikasyon Komitesi (FCC-ABD) tarafından Kuzey Amerika'da sadece 915, 2450, 5800 ve 24225 MHz frekanslarının kullanımına izin verilmiştir [7]. Genel olarak ev tipi mikrodalga fırınlarda 2.45 GHz frekansı, endüstriyel proseslerde 2.45 GHz ya da 915 MHz frekansları ve son iki frekans değeri ise sadece laboratuvarda ve araştırma projelerinde kullanılmaktadır [8,9]. Uluslararası Telekomünikasyon Birliği de elektromanyetik spektrumdaki belirli frekans bantlarının endüstriyel, bilimsel ve medikal amaçlarla kullanımında düzenlemeler yapmıştır [10].

2.1. Permitivite (ε) ve Kayıp Faktörü

Materyallerin dielektrik özellikleri permitivite ile ifade edilmektedir [7].

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\,\varepsilon''$$

Permitivitenin gerçek kısmına dielektrik sabiti (ε') ve sanal kısmına ise dielektrik kayıp faktörü (ε'') denilmektedir. Dielektrik sabiti (ε') materyalin oluşan enerjinin ne kadarını depolayabileceğini, dielektrik kayıp faktörü (ε'') materyalin oluşan enerjinin ne kadarını absorbe edip ısıya dönüştürebileceğini ve j 'de $\sqrt{-1}$ değerini ifade etmektedir [11].

Mikrodalga enerjisinin bir materyali aşarken uğradığı enerji kaybına, o materyalin 'kayıp faktörü' denilmektedir [12]. Kayıp faktörü yüksek olan gıdalar mikrodalga etkisiyle daha çabuk ısınmaktadır [6]. Kayıp faktör değeri; elektromanyetik dalgaların frekansına, materyalin sıcaklığına, fiziksel durumuna ve bileşimine bağlı olarak değişmektedir [13].

2.2. Mikrodalga ile Isıtma Teorisi

Mikrodalga proseslerinde iyonik kondüksiyon ve dipolar rotasyon olmak üzere iki ısıtma mekanizması vardır [2]. Bir malzemenin mikrodalga ile ısıtılması; ya uygulanan elektrik alan şiddetinin bir sonucu olarak iyonik bileşenlerin harekete geçmesi ile ya da uygulanan elektrik alanın genlik değişimine bağlı olarak moleküllerin önce polarize daha sonra depolarize olmaya çalışırken ortaya çıkardıkları salınım hareketinin bir sonucu olarak gerçekleşmektedir. Hacimsel ısıtma, mikrodalga ile ısıtmanın en önemli özelliğidir [14]. Hacimsel ısıtma, materyallerin mikrodalga enerjisini direkt olarak iç kısımlardan absorbe etmesi ve bu enerjiyi ısıya dönüştürmesi ile gerçekleşmektedir [15].

3. GIDALARIN MİKRODALGA İLE ISITILMASINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

3.1. Frekans

EM alanların gıdaya penetrasyon miktarı ~1/f ile orantılı olduğundan, kullanılan mikrodalga kaynağının frekansı muamele süresini etkilemektedir. Kullanılan kaynağın frekansı arttıkça, gıdaya penetrasyon miktarı azalmaktadır. Bu yüzden ısıtılacak gıdanın büyüklüğüne göre frekans seçimi önemlidir [16].

3.2. Mikrodalga Gücü ve Isıtma Hızı

Endüstride kullanılan birçok mikrodalga sistemi 5-100 kW arasında değişen mikrodalga gücünde çalışmaktadır. Sistemin gücü arttıkça, aynı miktardaki kütleyi ısıtma hızı da artmaktadır [16]. Bu duruma bağlı olarak gıdanın ısıtılma süresi azaltmaktadır [17].

3.3. Sıcaklık

Sıcaklık, gıdaların dielektrik özelliklerine etki etmektedir. Dielektrik kaybı materyale bağlı olarak sıcaklık ile birlikte artabilmekte veya azalabilmektedir [6]. Mikrodalga ile ısıtılan gıda maddelerinin başlangıç sıcaklığı kontrol edilmeli veya bilinmelidir. Böylece mikrodalganın gücü homojen bir son sıcaklık elde etmek için ayarlanabilmektedir [16]. Gıdaların başlangıç sıcaklığı ne kadar yüksek ise mikrodalga ile ısıtılmaları o kadar hızlıdır [18].

3.4. Gıdanın Kütlesi

Gıdanın kütlesi ile istenilen ısıtmanın gerçekleşmesi için gerekli olan mikrodalga gücü arasında direkt bir ilişki vardır [16]. Büyük cisimler genellikle küçük cisimlere göre daha fazla mikrodalga gücü absorbe edebilmektedir. Ancak büyük cisimlerin mikrodalga fırın içerisinde ısıtılması daha uzun sürede gerçekleşmektedir [19]. Eğer toplam kütle az ise kesikli bir sistem işlem için daha uygundur. Kütle arttıkça, bantlı sistemlerin kullanımı daha elverişli olmaktadır [16].

3.5. Su İçeriği

Su, mikrodalga enerjisinin gıdalar tarafından absorbe edilmesinde önemli bir etkendir. Gıda içerisinde bulunan su moleküllerinin fazla olması, polarize olacak içerik miktarının artması anlamına gelmekte; diğer bir ifade ile o gıdanın dielektrik kayıp faktörünün büyümesi olarak sonuçlanmaktadır. Dolayısıyla gıda daha iyi ısınacaktır [16].

3.6. Yoğunluk

Gıdanın yoğunluğu gıdanın dielektrik sabitini etkilemektedir. Havanın dielektrik sabiti birdir ve endüstride ısıtma için kullanılan frekanslarda tamamen geçirgendir. Bu yüzden gıdanın yapısında bulunan hava miktarı arttıkça, o gıdanın dielektrik sabiti düşmektedir. Bununla birlikte; materyalin yoğunluğu arttıkça, dielektrik sabiti de genellikle doğrusal olarak artmaktadır [16].

3.7. Fiziksel Geometri

Mikrodalga ile ısıtılacak gıdanın boyutu, uygulanan elektromanyetik dalga boyuna veya penetrasyon derinliğine göre fazla ise homojen bir ısıtma yapılamamaktadır. Ayrıca gıdanın şekli ne kadar düzgün olursa gıda o derece homojen ısınacaktır. Keskin köşe ve kenarlar daha fazla ısınacağı için bunların aşırı ısınmasından kaçınmak gerekmektedir [16]. Mikrodalgalar gıdaya her taraftan nüfuz ettikleri için gıdanın

şekli mikrodalga ile ısıtmada önemli bir etkiye sahiptir. Mikrodalga ile ısıtma için ideal şekil küredir. Küreden sonra en iyi şekil silindirdir [6].

3.8. Termal Özellikler

Isıtma işlemlerinde materyallerin spesifik ısı ve termal iletkenlik değerleri önemli parametrelerdir [17]. Spesifik ısı, ısıtma işlemini gerçekleştirmek için gerekli olan enerji miktarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Spesifik ısı değeri gıdanın nem içeriği ile yakından ilişkili olduğu için, bu değerin gıdaların mikrodalga ile ısıtma işlemi üzerine önemli etkileri vardır [6]. Termal iletkenlik, kütlesi fazla olan gıdaların ısıtılması sırasında penetrasyon derinliğinin ürünün homojen bir şekilde merkeze kadar ısınmasını sağlayacak kadar fazla olmadığı veya mikrodalga ile ısıtma süresinin uzun olduğu durumlarda önemli bir etkendir [16]. Her bir gıda bileşeninin termal iletkenlik değerlerinin bilinmesi o gıdanın en uygun şekilde ısıtılmasını sağlamaktadır [17].

3.9. Elektriksel İletkenlik

Elektriksel iletkenlik, materyalde elektrik akımının iyon ve elektronların yer değiştirmesi ile taşınması olayıdır. Mikrodalga sistemlerinde ısının üretilmesi için genellikle dipolar dönme mekanizması etkili olurken, özellikle gıda maddelerinin ısıtılmasında iyonik kondüksiyonun önemli bir rolü olduğu düşünülmektedir. Mikrodalga ile ısıtılan ürüne tuz ilave edilmesi ürünün ısıtma hızını arttırmaktadır. Çünkü tuz ilavesi penetrasyon derinliğine doğrudan etki etmekte ve yüzeyde aşırı ısınmaya neden olabilmektedir [16].

3.10. Dielektrik Özellikler

Gıdaların dielektrik özellikleri mikrodalga ile ısıtılmaları sırasında oldukça önemli bir etkendir. Bu önemli özellikleri dielektrik sabiti (ε') ve dielektrik kayıp faktörü (ε'') belirlemektedir. Dielektrik sabiti, gıdanın enerjinin ne kadarını depolayabileceğini, dielektrik kayıp faktörü ise gıdanın enerjinin ne kadarını ısıya dönüştürebileceğini göstermektedir. Bunların dışında, diğer bir özellik ise kayıp tanjant (tan δ) dır. Kayıp tanjant, materyalin dielektrik kayıp faktörünün dielektrik sabitine oranı (ε''/ ε') dır ve elektromanyetik alanda materyale sızan mikrodalga enerjisinin ısı olarak tüketilme miktarını ifade etmektedir [17]. Çoğu materyalin dielektrik özellikleri su içeriğine, uygulanan elektrik alanının frekansına, materyalin sıcaklığına, yoğunluğuna, kimyasal bileşimine ve fiziksel yapısına bağlı olarak değişmektedir [7]. Gıdaların temel bileşenleri olan su, yağ, karbonhidrat ve proteinlerin hepsi mikrodalga ile ısıtma üzerine doğrudan etkilidir [17].

4. MİKRODALGA İLE ISITMANIN AVANTAJLARI

Geleneksel ısıtma yöntemlerinde ısı gıdanın yüzeyinden iç kısmına doğru iletilmektedir. Bu yöntemler ile kıyaslandığı zaman, mikrodalga ile ısıtma sırasında ısı materyalin içinde üretildiği için ısıtma hızı yüksektir ve işlem süresi kısadır. Mikrodalga ile işlem gören gıdalarda vitamin ve mineral kayıplarının daha az olduğu belirtilmiştir. Diğer avantajları ise, ekipmanın az yer kaplaması, kolay temizlenmesi ve proses sırasında enerjiden tasarruf sağlamasıdır. Enerjiden sağlanan tasarruf mikrodalgaların ısıya dönüşüm verimi ile ilgilidir. Isı verimi geleneksel fırınlarda %7-14 arasında değişirken, mikrodalga fırınlarda %40'a kadar çıkabilmektedir [2, 20]. Ayrıca mikrodalgalar materyalleri içten ısıttığı için sıcaklık dağılımları daha homojen olmakta, yüzeyin aşırı ısınması önlenebilmekte ve ürün kalitesi üründe oluşabilecek yüzey sertleşmesi gibi bazı olayların engellenmesi ile gelişebilmektedir. Bunların yanı sıra mikrodalgaların bu dalgaları daha iyi absorbe eden materyaller tarafından seçici olarak emilmesi sayesinde gıdaların özellikle kurutma işlemi sırasında seçici ısıtması gerçekleşmektedir [16].

5. MİKRODALGA UYGULAMALARININ İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİSİ

Elektromanyetik dalgalar, iyonize edici olan ve iyonize edici olmayan radyasyon olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. İyonize radyasyon grubunda yer alan x-ışınları ve gama ışınları, uranyum ve radyum gibi radyoaktif bileşikleri meydana getirmektedir. İyonize edici olmayan, düşük frekans ve enerjideki mikrodalgaların ise zararlı ve kümülatif etkileri yoktur. Bu yüzden mikrodalgalar ile güvenli bir şekilde ısı üretilebilmekte ve gıdalar radyoaktif hale gelmemektedir [21]. Ancak mikrodalgaya maruz kalan insanlarda bir takım sağlık sorununun oluştuğu belirtilmiştir. İnsan vücudundaki doku ve organların yüksek oranda su içermesi nedeniyle mikrodalgayı absorbe eden bu yapıların sıcaklığı yükselmektedir. Ayrıca kan dolaşımının yavaş olduğu organlarda ısı hızlı bir şekilde dağılamadığı için bu organlar mikrodalgadan daha çok zarar görmektedir. Göz, sıcaklık artışına duyarlı organlardan biridir. Gözlerde, mikrodalga radyasyonu ile artan sıcaklığın lens proteinlerinin termal denatürasyonuna neden olması sonucunda katarakt oluşmaktadır. Deney hayvanları üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda ise; belirli güç, frekans ve sürede uygulanan mikrodalga radyasyonunun merkezi sinir sistemine etki ederek refleks kayıplarına neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca mikrodalga radyasyonuna maruz kalan insan lenfositlerinde kromozomal anormalliklerin oluştuğu belirlenmiştir [8]. Mikrodalgaların insan sağlığı açısından zararlı olabilecek bu etkilerinin önlenmesi amacıyla mikrodalga fırınların kullanımı ile ilgili olarak yasal düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenlemelere göre; fabrikalarda fırın yüzeyinden 5 cm uzaklıktaki sızıntı miktarının 1 mW/cm^2'yi, tüketici mikrodalga fırını evde ilk defa kullanıyorsa 5 mW/cm^2'yi ve fırının kullanım süresi boyunca 10 mW/cm^2'yi aşmaması gerekmektedir [20].

6. GIDA PROSESLERİNDE MİKRODALGA UYGULAMALARI

Laboratuvar koşullarında yapılan birçok araştırmada mikrodalgaların gıda proseslerinde kullanımı araştırılmış ve bu proseslerden birkaçı endüstriyel ölçekte başarılı olarak uygulanmıştır [7]. Gıda sanayisinde mikrodalganın uygulandığı prosesler Çizelge 1'de belirtilmiştir [6].

Çizelge 1. Gıda Proseslerinde Mikrodalga Uygulamaları

Uygulama	Frekans (MHz)	Güç (kW)	Ürün
Temperleme Kesikli Sürekli	915	30-70	Kırmızı et, balık eti, kümes hayvanları eti
Kurutma Vakumlu Dondurarak	915 / 2450	30-50	Makarna, soğan, çerez gıdalar, meyve suları
Ön ısıtma	915	50-240	Domuz pastırması, köfte, kümes hayvanları eti, sucuk, sosis, sardalye
Pastörizasyon / Sterilizasyon	2450	10-30	Taze makarna, hazır yemekler, poşet ambalajlı gıdalar, yarı katı gıdalar, süt, dilim ekmek
Fırında Pişirme	915	2-10	Ekmek, donat(donut) fermentasyonu

6.1. Temperleme ve Buz Çözme

Temperleme ve buz çözme işlemleri için kullanılan ticari kesikli ve sürekli mikrodalga sistemleri 1970'lerden beri üretilmektedir. Pek çok sistem gıdaların sadece temperleme işleminde başarılı olarak kullanıldığı için, günümüzde mevcut olan sistemler mikrodalga temperleme sistemleri olarak satılmaktadır [22].

Geleneksel buz çözme ve temperleme işlemleri, 5-15 dakika süren mikrodalga prosesi ile kıyaslandığı zaman, 24 saat veya daha kalın örneklerde daha uzun süren karmaşık ve zaman alıcı proseslerdir [23]. Temperleme işlemi, donmuş gıdaların sıcaklığının suyun donma noktasının altında olan daha yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtılmasıdır. Gıdalar bu sıcaklıkta hala sıkı yapıdadır ve kolaylıkla dilimlenebilir, küçük parçalar halinde kesilebilir [24]. Çözme işlemi ise, materyalin her yerinde sıcaklığın 0°C'ye kadar ulaştığı ve yapısında serbest buzun bulunmadığı zaman tamamlanmaktadır. Dondurulmuş et, balık, sebze, meyve, tereyağı ve meyve suyu konsantreleri birçok gıda üretim prosesi için yaygın olarak kullanılan hammaddelerdir [22]. Donmuş materyallerin çözülmesi gıda proseslerinde önemli bir işlemdir. Çözülme süresinin en aza indirilmesi üründe mikrobiyal gelişmeyi, kimyasal bozulmayı, damlama ve dehidrasyonun neden olduğu aşırı su kaybını azaltabilmektedir [25].

Donmuş ürünler geleneksel olarak hava, su ve vakum altında yoğunlaşan buhar yardımıyla çözülmektedir [22]. Geleneksel çözme işleminin birkaç dezavantajı vardır. Bunlar; çözme süresinin uzun oluşu, işlemde kullanılacak ekipmanlar için geniş alana ihtiyaç duyulması, işlem sırasında üründe bakterilerin gelişebilmesi, özellikle küçük parçalar halinde dondurulan ürünlerin çözülmesi sırasında damlama kaybının oluşması, üründe yüzey oksidasyonunun meydana gelmesi, renk değişimlerinin ortaya çıkması ve işlem sıvı içerisinde gerçekleştiği zaman fazla miktarda suyun tüketilmesidir [26].

Mikrodalga ile çözme işlemi geleneksel yöntemlere göre daha kısa sürede ve daha dar alana ihtiyaç duyularak gerçekleşmektedir. Ayrıca bu işlem ürünün aşırı su kaybını azaltmakta, mikrobiyolojik ve kimyasal olarak bozulmasını önlemektedir. Ancak ürünün belirli bölgelerinde meydana gelen aşırı ısınma gıdalara uygulanan bu işlemin kullanımını sınırlamaktadır. Bu yüzden mikrodalga ile çözme işlemi sırasında sıcaklığın homojen bir şekilde dağılımını sağlamak önemlidir. Donmuş ürünlerin mikrodalga ile çözülme hızı materyalin özelliklerine ve boyutlarına, elektromanyetik ışının büyüklüğüne ve frekansına bağlı olarak değişmektedir. Gıdaların sıcaklık ile değişen termal özellikleri, düzgün olmayan şekilleri ve heterojen yapıları çözme işlemini zorlaştırmaktadır [27].

Mikrodalga uygulamalarında genellikle 2450 MHz ya da 915 MHz frekanslarından biri kullanılmaktadır. Mikrodalga ile çözme işlemi için 915 MHz frekansının kullanılması daha uygundur. Çünkü 2450 MHz frekansında maksimum penetrasyon derinliği 10 cm iken, 915 MHz frekansında mikrodalga enerjisi ürünün 20 cm derinliğine kadar etki edebilmektedir [26]. Ürünlerin 2450 MHz frekansında mikrodalga enerjisi ile çözülmesi sırasında bu frekanstaki dalgaların düşük penetrasyonundan dolayı yüzeyde oluşacak aşırı ısınmayı engellemek için, işlem sırasında ürünün bulunduğu ortamda soğuk hava dolaşımı yapılmaktadır [24]. Bu amaçla -30°C'deki soğuk hava kullanılabileceği gibi sıvı nitrojen, Freon R12 gibi kriyojenik sıvılar veya bu maddelere benzer, ürünün yüzeyi boyunca uygulanan maddeler kullanılmaktadır [26].

6.2. Haşlama

Haşlama işlemi meyve ve sebzelerin endüstriyel prosesleri içinde yer alan önemli bir aşamadır. Bu işlem sebzelerin sıcak suya (88-99°C, en yaygın metot), asit ve/veya tuz içeren sıcak ve kaynayan çözeltilere daldırılması ile veya buhar ve mikrodalga uygulaması ile gerçekleştirilen termal bir prosestir. Haşlama işleminin; ürünü temizlemesi, ürünün başlangıç mikrobiyal yükünü azaltması, bitkisel dokularda bulunan havayı uzaklaştırması ve ürün işlenmeden önce ürüne bir ön ısıtma sağlaması gibi birçok faydası

bulunmaktadır. Ancak bu işlemin ürün kalitesinde kayıplara neden olması, çevresel etkisi ve enerji maliyetinin yüksek olması gibi bazı olumsuz yanları da bulunmaktadır. Ayrıca şeker, mineral ve vitamin gibi besin öğeleri su veya buhar ile yapılan haşlama işleminde çözünerek üründen uzaklaşabilmekte ve parçalanabilmektedir [28].

Taze buhar uygulaması veya kaynayan suya daldırma gibi geleneksel yöntemler haşlama işleminde hala yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen, son yıllarda yeni bir yöntem olarak mikrodalga ile haşlama işlemi de uygulanmaktadır. Bu işlem ile çok az veya hiç suya gerek duymaksızın ısı transferi etkili bir şekilde gerçekleşmektedir [29]. Mikrodalga ile haşlama işleminin birçok avantajı vardır. Bunlardan birisi; haşlama işlemi süresinin önemli ölçüde kısalmasıdır. Mikrodalga uygulamasının diğer bir avantajı ise; haşlama sırasında üründeki çözünebilir bileşiklerin çözünmesini oldukça azaltması ve bu bileşiklerin gıdanın yapısında daha çok tutulmasını sağlamasıdır. Mikrodalga ile haşlanan ürünlerin tekstürel özelliklerinin kabul edilebilir sınırlar içinde olması bu uygulamanın diğer bir avantajıdır. Ayrıca mikrodalga uygulamasının daha kısa sürede gerçekleşmesine bağlı olarak ürünün tat-aromasının üründe daha iyi tutulduğu belirtilmiştir [28].

Mikrodalga ile yapılan haşlama işleminin bu avantajlarına rağmen, bazı dezavantajlarından da bahsedilmesi gerekmektedir. Bunlar; özellikle ıspanak ve lahana gibi yapraklı sebzelerde ürün yüzeyinin kuruması, meyvelerde karamelizasyonun meydana gelmesi, ürünün boyutuna ve şekline bağlı olarak heterojen olarak ısınmasıdır [30]. Ayrıca mikrodalga proses ekipmanlarının maliyetinin yüksek oluşu bu uygulamanın ticari olarak kullanımını sınırlamaktadır [28].

6.3. Pastörizasyon ve Sterilizasyon

Mikrodalga ile yapılan sterilizasyon işlemi, geleneksel yöntemler ile yapılan sterilizasyon işlemine kıyasla ürünü 3 ile 5 kat daha hızlı ısıtabilmektedir. Bu kısa süre içinde ürünün sıcaklığı aşırı derecede yükselmediği için mikrodalga ile işlem gören ürünlerin geleneksel yöntemler ile işlem gören ürünlere göre daha iyi tat, tekstür ve görünüme sahip olduğu belirtilmiştir [31]. Pastörizasyon işleminde konvansiyonel ısı iletimi ile pastörizasyon sıcaklığına 30-45 dakikada ulaşılırken, mikrodalga ile sadece 3-5 dakikada ulaşılmaktadır. Bu kısa süreli ısıtma uygulamasından sonra ürünün rengi ve tat-aroması neredeyse değişmemiş olarak kalmaktadır. Bu yüzden mikrodalga teknolojisinin yararları içerisinde; ürün kalitesinin geliştirilmesi, ürünün raf ömrünün koruyucu maddeler kullanılmadan uzatılması, ürünün doğal görünüşünün, tazeliğinin ve tat-aromasının muhafaza edilmesi, ürünlerin uzun raf ömrüne sahip olmasından dolayı dağıtım maliyetlerinin düşük olması, enerji tasarrufunun sağlanması, magnetronların kullanım ömürlerinin uzun olmasından dolayı bakım masraflarının düşük olması, personel ihtiyacının fazla olmaması ve bu teknolojinin çevre dostu olması yer almaktadır [32].

Mikrodalga ile yapılan pastörizasyon ve sterilizasyon uygulamalarının avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunların başında; ürünlere uygulanan bu işlemlerin sürelerinin kısa olması nedeniyle ürünlerde mikroorganizmaların canlı kalabilmeleri yer almaktadır. Gıdalarda canlılığını sürdüren bakterilerin kontrol altına alınması için dört strateji tavsiye edilmektedir. Bunlar; gıdaların plastik film ile sarılması, gıdanın boyutunun mümkün olduğu kadar küçültülmesi, mikrodalga gücünün en aza indirilmesi ve işlem süresinin uzatılmasıdır [33].

Listeria monocytogenes, Staphylococcus aureus ve Salmonella spp. gibi gıda kaynaklı patojenler her yerde yaygın olarak bulundukları ve hastalığa neden oldukları için mikrodalga uygulamasına maruz kalan gıdaların güvenliği ile ilgili olarak yapılan birçok çalışmada odak noktası olmuşlardır [19]. Pucciarelli ve Benassi [34]'nin yaptıkları bir çalışmada Salmonella enteritidis inokule edilen taze tavuk etlerine uygulanan farklı 2 seviyedeki (yüksek ve orta) mikrodalga gücünün, bu mikroorganizmayı ne ölçüde yok ettiği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, 110 saniye yüksek seviyede mikrodalga gücüne maruz kalan 100 g örnekte bu mikroorganizmanın canlı kalmadığı tespit edilmiştir.

6.4. Kurutma

Gıda ürünlerine uygulanan kurutma işleminin temel hedefi, suyun gıdalarda meydana gelen mikrobiyal bozulmaların önlenebildiği seviyeye kadar gıdalardan uzaklaştırılmasıdır. Kurutulmuş gıda maddelerinin rağbet görmelerinin temel sebepleri, ürünlerin raf ömrünün daha uzun olması ve hacimlerinin önemli miktarda azalmasıdır [14]. Kurutma işlemi gıdaların muhafazası için yaygın olarak kullanılan etkili bir tekniktir. Ancak kurutma sırasında materyalde bir takım değişimler meydana gelmektedir [35].

Geleneksel kurutma işleminin, işlemin yüksek sıcaklıkta ve uzun sürede gerçekleşmesinden dolayı ürünün tat-aroma, renk ve besin içeriği gibi kalite özelliklerinde ciddi hasarlara neden olması ve kurutulan ürünün bulk yoğunluğunu ve rehidrasyon kapasitesini azaltması gibi bir takım dezavantajları bulunmaktadır [36]. Diğer bir dezavantajı ise; yüksek sıcaklıkta ve uzun sürede gerçekleşen işlem sonucunda gıdalardan uçucu bileşiklerin buharlaşması ve su buharıyla birlikte oluşan bu kayıpların kurutulmuş ürünün karakteristik tat-aromasında önemli kayıplara neden olmasıdır. Doku sertleşmesi de meyvelerin hızlı bir şekilde kurutulması sonucunda oluşan yaygın bir sorundur [37]. Geleneksel kurutmanın diğer bir dezavantajı; düşük enerji verimliliği ve kurutma süresinin azalan hız evresi boyunca uzun olmasıdır. Bu evrede gıda materyallerinin ısıl iletkenliği düşük olduğu için kurutma sırasında gıdaların iç tabakalarına doğru ısı iletimi sınırlı kalmaktadır. Kurutma işleminde var olan problemlerin elimine edilmesi, önemli kalite kayıplarının önlenmesi, hızlı ve etkili ısıl işlemlerin başarılı bir şekilde yapılması isteği mikrodalga ile kurutma işlemine olan ilginin artmasına neden olmuştur [38].

Son yıllarda mikrodalga ile kurutma, gıdaların ve tarım ürünlerinin geniş çeşit aralığında alternatif kurutma yöntemi olarak popülerliğini arttırmıştır. Günümüzde gıda endüstrisi özellikle makarnaların kurutma; bisküvilerin ise son pişirme aşamasında mikrodalga enerjisinin önemli bir kullanıcısıdır [14]. Mikrodalga ile kurutma işlemi ticari olarak ilk defa patates cipsinin son kurutma aşamasında kullanılmıştır. Ancak işlem sırasında farklı patates türlerinin kurutma sürelerinin ve son nem miktarlarının farklı olmasından dolayı mikrodalganın cips sanayisinde kullanımında başarı sağlanamamıştır. Mikrodalga ile kurutma işleminin makarna üretiminde kullanılması günümüzde başarılı bir şekilde yapılmaktadır. Bu proses üç aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar sırasıyla sıcak hava ile yapılan ön kurutma, mikrodalga ile kurutma ve dengeleme aşamalarıdır [20].

Mikrodalga ile kurutma, nem transferi için itici kuvveti sağlayan iç bölgedeki ve yüzeydeki su buharı basınçlarının farkı sayesinde gerçekleşmektedir [39]. Mikrodalga ile yapılan kurutma işleminin geleneksel kurutma yöntemleri ile kıyaslandığında, işlem sırasında zaman ve yer tasarrufu sağlaması, daha kaliteli ürünlerin elde edilmesi ve enerji sarfiyatını azaltması gibi avantajları vardır. Bu avantajlarının yanı sıra; sadece mikrodalga ile yapılan kurutma işleminin üründe homojen olmayan ısıtmaya neden olması ve ürünün tekstüründe hasarlara yol açması gibi bazı temel dezavantajları da mevcuttur. Ayrıca mikrodalganın ürüne penetrasyonunun sınırlı olması işlemin diğer bir dezavantajıdır. Mikrodalga ile yapılan kurutma işlemi diğer kurutma yöntemleri ile kombine edilerek, bu yöntemin tek başına uygulanması sırasında karşılaşılan sorunların üstesinden gelinmektedir [14].

6.5. Pişirme

Mikrodalga ile yapılan pişirme işlemi kırmızı et, kümes hayvanları eti, balık eti, unlu mamuller ve sebzelerin pişirilmesi sırasında uygulanmıştır [20]. Genel olarak mikrodalga uygulamaları buhar, sıcak hava ve kızılötesi ısıtma ile birleştirilerek yapılmaktadır [40]. Pişirme işleminde mikrodalganın kullanılması özellikle kümes hayvanları ve domuz etinin ön pişirme veya pişirme aşamaları için uygundur [20]. Bu işlemin; tüketilen enerji miktarının düşük olması, ürün büzülmesinin kontrol altında tutulması ve ürünün renk, görünüm ve tadında genel olarak bir iyileşmenin gözlenmesi bakımından avantajları bulunmaktadır [41].

Unlu mamullerin mikrodalga fırında pişirilmesi işleminin temel sorunu, üründe kabuk oluşumunu ve yüzey esmerleşmesini gerçekleştirmede yetersiz kalışıdır [26]. Bu sorunların yanı sıra; ürün yüksekliğinin az oluşu, yoğun ve yapışkan yapının elde edilmesi, iç yapının sert oluşu ve son üründe istenmeyen nem değişiminin gözlenmesini içeren kalite problemleri de açığa çıkmaktadır [42]. Bu olumsuz özelliklere bağlı olarak; mikrodalga ile pişirilen ürünler, tüketiciler tarafından genellikle sert içyapılı, kabuk ve istenilen cazip renk oluşmamış ürünler olarak değerlendirilmektedir. Mikrodalga ile pişirilen ürünlerin tekstürü kötü, aroması zayıf olduğundan ve rengi oluşmadığından bu ürünlerin kabul edilebilirliğinde ciddi sorun vardır [43].

Mikrodalga ile yapılan pişirme işleminde ısıtma süresinin kısa olması nedeniyle nişastanın hem jelatinizasyonu; hem de enzimatik olarak parçalanması yeterli ölçüde gerçekleşmemektedir. Ayrıca süreye bağlı olarak; gıdanın yüzeyinde karamelizasyon ve Maillard reaksiyonlarının meydana gelmesi için gereken sıcaklık artışı sağlanamamaktadır [44, 45]. Bu reaksiyonların meydana gelmemesi sonucunda ürünlerde istenilen tat-aroma ve renk bileşikleri ve/veya pigmentleri oluşmamakta; oluşan bazı tat-aroma bileşikleri de mikrodalga fırında pişirme veya ısıtma süresince ürünlerden uçarak kaybolmaktadır. Genel olarak geleneksel fırınlarda pişirilen keklerde oluşan aromalar, mikrodalga ile pişirilen keklerde oluşmamaktadır [46]. Mikrodalga fırında pişirilen ürünlerde kabuk oluşumunu ve yüzey esmerleşmesini sağlamak amacıyla ürünler geleneksel fırınlarda 200-300°C'de 4-5 dak süreyle tekrar pişirilmekte veya kızılötesi ısıtma uygulanmaktadır [26].

7. SONUÇ

Mikrodalga teknolojisinin evde ve sanayide kullanımı hızla artmaktadır. Ürünün kısa süre içerisinde tüketiciye ulaşması bu teknolojiye olan ilgilinin artmasındaki başlıca sebeplerden biridir. Mikrodalga enerjisinin geleneksel yöntemlere nazaran enerji ve zaman tasarrufu sağlaması bu konudaki uygulamaların önemini daha da arttırmaktadır. Mikrodalga ile yapılan ısıl işlemler sonucunda bazı sorunlarla karşılaşılmasına rağmen, genel olarak her çeşit ısıl işlem uygulamasında mikrodalga kullanımı mümkün olmaktadır.

8. KAYNAKLAR

1. Gwarek, W.K. and Celuch-Marcysiak, M. 2004. A review of microwave power applications in industry and research. Microwaves, Radar and Wireless Communications, MIKON-2004. 15th International Conference, 3, 843-848.

2. Oliveira, M.E.C. and Franca, A.S. 2002. Microwave heating of foodstuffs. J Food Eng, 53, 347-359.

3. Thostenson, E.T. and Chou, T.W. 1999. Microwave processing: Fundamentals and applications. Composites A, 30, 1055-1071.

4. Regier, M. and Schubert, H. 2005. Introducing microwave processing of food: principles and technologies. In: Microwave Processing of Foods, H. Schubert (Editor), Woodhead Publishing, pp. 12-20, Cambridge.

5. Banik, S., Bandyopadhyay, S. and Ganguly, S. 2003. Bioeffects of microwave-a brief review. Bioresource Technol, 87, 155-159.

6. Giese, J. 1992. Advances in Microwave Food Processing. Food Technol, 46 (9), 118-123.

7. Venkatesh, M.S. and Raghavan, G.S.V. 2004. An Overview of Microwave Processing and Dielectric Properties of Agri-food Materials. Biosyst Eng, 88 (1), 1-18.

8. Lambert, J.P. 1980. Biological Hazards of Microwave Radiation. J Food Protect, 43 (8), 625-628.

9. Dibben, D. 2001. Electromagnetics: Fundamental Aspects and Numerical Modeling. In: Handbook of Microwave Technology for Food Applications, A.K. Data and R.C. Anantheswaran (Editors), Marcel Dekker, pp. 1-30, New York.

10. Osepchuk, J.M. 2002. Microwave Power Applications. IEEE T Microw Theory, 50 (3), 975-985.

11. Wang, S., Tang, J., Johnson, J.A., Mitcham, E. J., Hansen, D., Hallman, G., Drake, S.R. and Wang, Y. 2003. Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as related to Radio Frequency and Microwave Treatments. Biosyst Eng, 85 (2), 201–212.

12. Cemeroğlu, B.(ed) 2005. Dondurulmuş Ürünlerin Çözülmesi. Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler, Başkent Klişe Matbaacılık, ss. 278-281, Türkiye.

13. Galema, S.A. 1997. Microwave chemistry. Chem Soc Rev, 26, 233-238.

14. Vadivambal, R. and Jayas, D.S. 2007. Changes in quality of microwave-treated agricultural products. Biosyst Eng, 98, 1-16.

.15. Gowen, A., Abu-Ghannam, N., Frias, J. and Oliveira, J. 2006. Optimisation of dehydration and rehydration properties of cooked chickpeas (Cicer arietinum L.) undergoing microwave-hot air combination drying. Trends Food Sci Tech, 17, 177–183.

16. Schiffmann, R.F. 1986. Food Product Development for Microwave Processing. Food Technol, 40 (6), 94-98.

17. George, R.M. and Burnett, S.A. 1991. General guidelines for microwaveable products. Food Control, 2 (1), 35-44.

18. Harrison, D.L. 1980. Microwave versus conventional cooking methods: Effects on food quality attributes. J Food Protect, 43 (8), 633-637.

19. Heddleson, R. A. and Doores, S. 1993. Factors Affecting Microwave Heating of Foods and Microwave Induced Destruction of Foodborne Pathogens. J Food Protect, 57 (11), 1025-1037.

20. Knutson, K.M., Marth, E.H. and Wagner, M.K. 1987. Microwave Heating of Food. Lebensm.-Wiss. u.-Technol., 20, 101-110.

21. Bih, J.Z. 2003. The Microwave Technology. 13th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology”, 15-21.

22. Swain, M. and James, S. 2005. Thawing and tempering using microwave processing. In: Microwave Processing of Foods, H. Schubert (Editor), Woodhead Publishing, pp. 174-190, Cambridge.

23. Ohlsson, T. and Bengtsson, N. 2001. Microwave Technology and Foods. Advances in Food and Nutrition Research, 43, 65-140.

24. Decareau, R.V. 1986. Microwave Food Processing Equipment Throughout the World. Food Technol, 40 (6), 99-105.

25. Taher, B.J. and Farid, M.M. 2001. Cyclic microwave thawing of frozen meat: experimental and theoretical investigation. Chem Eng Process, 40, 379-389.

26. Rosenberg, U. and Bögl, W. 1987. Microwave Thawing, Drying, and Baking in the Food Industry. Food Technol, 41, 85-91.

27. Li, B. and Sun, D. 2002. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods. J Food Eng, 54, 175-182.

28. Dorantes-Alvarez, L. ve Parada-Dorantes, L. 2005. Blanching using microwave processing. In: Microwave Processing of Foods, H. Schubert (Editor), Woodhead Publishing, pp. 153-172, Cambridge.

29. Lin, S. and Brewer, M.S. 2005. Effects of Blanching Method on the Quality Characteristics of Frozen Peas. J Food Quality, 28, 350–360.

30. Fito, P., Chiralt, A. and Martin, M.E. 2005. Current State of Microwave Applications to Food Precessing. In: Novel Food Processing Technology, G.V. Barbosa-Canovas, M.S. Tapia and M.P. Cano (Editors), CRC Press, pp. 525-538, Boca Raton.

31. Lau, M. H. 2000. Microwave Pasteurization and Sterilization of Food Products. Ph.D. Dissertation, Washington State University, Washington, 167 pp.

32. Schlegel, W. 1992. Commercial Pasteurization and Sterilization of Food Products Using Microwave Technology. Food Technol, 46 (12), 62-63.

33. Lin, W. and Sawyer, C. 1988. Bacterial Survival and Thermal Responses of Beef Loaf after Microwave Processing. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 23 (3), 183-194.

34. Pucciarelli, A.B. and Benassi, F.O. 2005. Inactivation of Salmonella Enteritidis on Raw Poultry Using Microwave Heating. Braz Arch Biol Techn, 48 (6), 939-945.

35. Smith, B.G, James, B.J. and Ho, C.A.L. 2007. Microstructural Characteristics of Dried Carrot Pieces and Real Time Observations during Their Exposure to Moisture. International Journal of Food Engineering, 3 (4), 1-14.

36. Lin, T. M., Durance, T. D. and Scaman, C. H. 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. Food Res Int, 31 (2), 111-117.

37. Yongsawatdigul, J. and Gunasekaran, S. 1996. Microwave-vacuum drying of cranberries, part 1: energy use and efficiency. J Food Process Pres, 20 (1), 121-143.

38. Wang, J., Xiong, Y., Yu, Y. 2004. Microwave drying characteristics of potato and the effect of different microwave powers on the dried quality of potato. Eur Food Res Technol, 219, 500–506.

39. Datta, A.K. 2001. Fundamentals of Heat and Moisture Transport for Microwaveable Food Product and Process Development. In: Handbook of Microwave Technology for Food Applications, A.K. Data and R.C. Anantheswaran (Editors), Marcel Dekker, pp. 114-172, New York.

40. Bengtsson, N.E. and Ohlsson, T. 1974. Microwave Heating in the Food Industry. P IEEE, 62 (1), 44-55.

41. Edgar, R. 1986. The Economics of Microwave Processing in the Food Industry. Food Technol, 40 (6), 106-112.

42. Bell, D.A. and Steinke, L.W. 1991. Evaluating structure and texture effects of metylcellulose gums in microwave baked cakes. Cereal Foods World, 36, 941-944.

43. Pan, B. and Castell-Perez, M.E. 1997. Textural and Viscoelastic Changes of Canned Biscuit Dough During Microwave and Conventional Baking. J Food Process Eng, 20, 383-399.

44. Datta, A.K. 1990. Heat and mass transfer in the microwave processing of food. Chem Eng Prog, 86, 47-53.

45. Sumnu, G. 2001. A review on microwave baking of foods. Int J Food Sci Tech, 36, 117-127.

46. Whorton, C. and Reineccıus, G. 1990. Current Developments in Microwave Flavors. Cereal Foods World, 35 (6), 553-559.