

## Süt ve Ürünlerinde Mikrodalga Uygulamaları

Tamer Turgut ✉

Atatürk Üniversitesi, Erzurum Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Programı, 25240, Yakutiye, Erzurum

Geliş Tarihi (Received): 20.10.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 13.12.2016

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): tturgut@atauni.edu.tr (T. Turgut)

☎ 0 442 231 27 05 📠 0 442 231 25 03

### ÖZ

Mikrodalga ısıtma materyalin hızlı, ekonomik ve kolayca ısıtılmasına uygun yeni bir teknolojidir. Mikrodalga ısıtma gıdaların pişirilmesi, kurutulması, pastörizasyonu ve muhafazası gibi gıda proseslerinde yaygın kullanım alanı bulmuştur. Mikrodalga ile gıdaların ısıtılmasında, mikrodalgalar malzemenin iç kısımlarına kadar ilerledikleri için hacimsel bir ısınma gerçekleşmez. Bir materyalin mikrodalga ile ısıtılması, uygulanan elektrik alan şiddetinin bir sonucu olarak dipolar bileşenlerin hareketi veya iyonik bileşenlerin hareket mekanizması ile gerçekleşmektedir. Bu çalışma süt ve ürünlerinde mikrodalga ısıtma uygulamaları hakkında bilgi vermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikrodalga ısıtma, Dielektrik ısıtma, Gıda işleme, Süt ve ürünleri, Elektrik alan

### Microwave Applications in Dairy Products

#### ABSTRACT

Microwave heating is a suitable way to heat materials and it is considered to be fast and easy to use as a novel technology. Microwave heating has been widely used in food processing such as cooking, drying, pasteurization and preservation of food materials. Through the ability of microwaves to penetrate inside the materials, microwaves provide volumetric heating in food heating. Heating of a material with microwave is based on either a result of dipolar movement of molecules or ionic mechanism due to applied electric field intensity. This review presents information on microwave applications in dairy products.

**Keywords:** Microwave heating, Dielectric heating, Food processing, Dairy products, Electric field

#### GİRİŞ

Gıdalara uygulanan ısı işlemlerin amacı, gıda güvenilirliğini tehlikeye atmadan ve besin değerindeki en az kayıpla gıda ürünlerin raf ömrünü artırmaktır. Teknolojideki gelişmeler, insanların beslenme konusunda bilinçlenmesi ve yeni ürünlere olan talepler sonuç olarak gıda işleme teknolojilerinin de gelişmesini sağlamıştır. Son zamanlarda yaygın olarak kullanılan ısı işlem

teknolojilerden birisi de mikrodalga ısıtma uygulamalarıdır [1, 2].

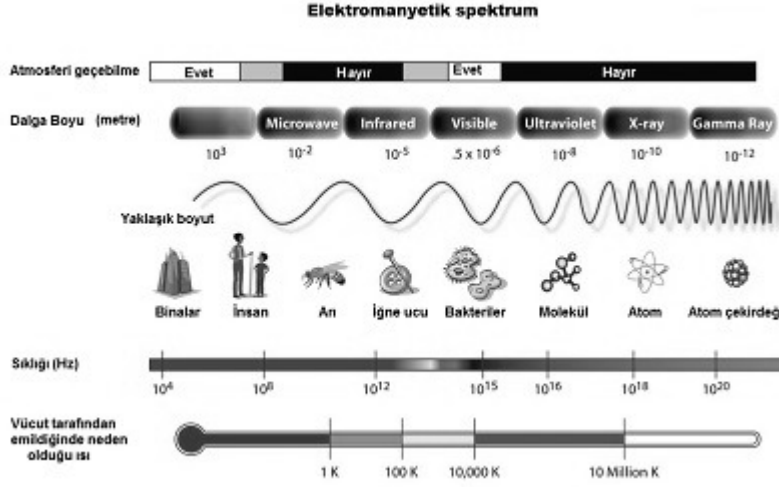
Mikrodalga teknolojisinin gelişimi II. Dünya Savaşı sırasında radar cihazlarının sabit frekansta mikrodalga üretebilmesi için yapılan magnetron tasarımı çalışmaları ile başlamıştır [3]. Mikrodalga uygulamalarının günümüze kadar gelişimi ve yaygınlaşması uzun zaman almıştır. Ancak mikrodalga fırınların geliştirilmesi ve üretim

maliyetinin düşmesi sonucu ticari olarak üretilebilmiş ve satışı yaygınlaşmıştır. ABD ve Avrupa da yıllık 10 milyon adet mikrodalga fırın satışı mikrodalga ısıtmanın günümüzde ne kadar fazla yaygınlaştığının bir göstergesidir [4].

Gıda endüstrisi mikrodalga enerjisinin en çok kullanıldığı alandır. Mikrodalga enerjisi, belirli frekanslarda dielektrik etkileşimle ısıya dönüşerek gıda sanayinde buz çözme,

temperleme, kurutma, dondurarak kurutma, pastörizasyon, sterilizasyon, pişirme ve ısıtma işlemlerinde başarıyla kullanılmaktadır [5, 6].

Mikrodalgalar Şekil 1'de görüldüğü gibi elektromanyetik spektrumda genel olarak 1 mm ile 1 m dalga boyuna sahip, 300 MHz to 300 GHz frekans aralığında bulunan ve bir magnetron tarafından oluşturulan yüksek frekanslı iyonize edici olmayan elektromanyetik dalgalardır [7- 10].



Şekil 1. Elektromanyetik spektrum [4].

Mikrodalgalar elektromanyetik spektrumda kızılötesi ışınlar ile radyo dalgaları arasında yer almaktadır. Bu frekans aralığındaki enerji sadece moleküler dönme hareketine sebep olmakta, moleküler yapıyı etkilememektedir. Yani mikrodalga enerjisi X-ray ışınları, ultraviyole ve kızılötesi ışınlardan daha düşük frekansa sahip olduğundan kimyasal bağları kıramayıp, sadece döndürebilen dalgalardır. Madde-mikrodalga etkileşmesinde enerji değeri yaklaşık 1 J/mol seviyesinde olup Brown hareketinden daha azdır [3, 8]. Genel olarak evde kullanılan mikrodalga fırınlarda 2450 MHz frekansı, endüstriyel proseslerde ise 915 MHz ya da 2450 MHz kullanılmaktadır [1, 5-7].

Alternatif bir ısıtma yöntemi olarak mikrodalga ısıtma konvansiyonel yöntemlere göre birçok avantaja sahiptir. Mikrodalga ile ısıtma işlemi sırasında, enerji gıdanın iç kısımlarına kadar nüfuz edebildiği için hacimsel bir ısıtma gerçekleşir. Bu durum ise ısı transferinin hızlı ve ısıtma süresinin kısa olmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda ısı artışı kontrollü bir şekilde yükselir. Mikrodalga fırınlar enerjiyi doğrudan aktardığından ısıtmada yüksek enerji verimine sahiptirler. Kullanılan ortamda kirlenme olmaz ve sistem daha sağlıklı ve temiz kullanılabilir [9].

Bu derlemenin amacı mikrodalga ısıtma uygulamasının süt ve ürünlerinde kullanımı üzerine yapılan mevcut çalışmalar ve son gelişmeler hakkında bilgi vermek ve gelecekte yapılacak araştırmalar için yön göstermektir.

## MİKRODALGA ISITMANIN PRENSİBİ

### Temel Kavramlar

Mikrodalgalar tek başlarına ısı meydana getiremezler. Mikrodalga ısıtmaya gıdanın enerji absorbe edebilme etkinliği yani dielektrik özelliği sebep olur. Mikrodalgaların iki bileşeni vardır. Bunlar elektrik alan ve manyetik alandır [3, 6, 10]. Elektrik alan şiddeti (E) mikrodalga enerjisi güç yoğunluğunun ( $W/m^3$ ) ve dielektrik kayıp faktörünün bir fonksiyonudur [4]. Mikrodalga enerjinin ısıya dönüşmesi dipol rotasyonu ve iyonik polarizasyon (kutuplaşma) mekanizmalarıyla gerçekleşir [1, 5]. Mikrodalga ısıtma sırasında dipolar etkileşimler meydana gelir, dielektrik özelliği sahip polar bileşenler elektriksel alanda sürekli yön değiştirmeye elektrik alan ile aynı düzleme girmeye yani oryantasyon polarizasyonuna uğrar. Yüksek frekanslı bir elektriksel alanda bu oryantasyon frekansı bağlı olarak saniyede milyarlarca kez tekrarlanır ve sonuçta molekül içi sürtünme sonucu hacimsel ısınma gerçekleşir [1,11,12]. Gıdalar başta su olmak üzere çeşitli polar moleküller içermektedir. Bu moleküller gıda içerisinde gelişigüzel bir şekilde bulunurlar. Elektrik alanı uygulandığında gıda içerisindeki elektriksel olarak asimetrik ve polar moleküller frekansa bağlı olarak polaritesi hızla değişen elektrik alan nedeniyle dönme eğilimi gösterirler. Ortamda su veya nemin bulunması dipolar doğası gereği dielektrik ısınmaya neden olmaktadır. Örneğin 2450 MHz de çalışan mikrodalga fırınlarda elektrik alanının yönü saniyede 2.45

milyar kez değişmektedir. Hızla değişen elektrik alanının polaritesine uyum sağlamak için dönen polar moleküllerin, birbirleri ile ve ortamdaki diğer moleküllerle sürtünmelerinden dolayı ısı açığa çıkmaktadır [11, 12]. 915 MHz ve 2450 MHz frekansındaki elektromanyetik dalgalar su ve diğer polar moleküllü gıda maddeleri tarafından absorbe edilip ısıya dönüştürülebilir. Bu sebeple evlerdeki mikrodalga fırınlar 2450 MHz frekansta çalışmaktadır [4, 6].

### Dielektrik Özellikler

Bir materyalin mikrodalga enerjisini ısıya dönüştürme potansiyeli onun dielektrik özelliklerinin bilinmesiyle belirlenebilir. Dielektrik özelliklerin gerçek kısmı, dielektrik sabiti ( $\epsilon'$ ) olarak adlandırılır. Bu büyüklük elektrik enerjisinin ne kadarının absorbe edilip ne kadarının yansıtılacağını gösterir, sanal kısım ise dielektrik kayıp faktörü ( $\epsilon''$ ) olarak adlandırılır ve elektrik enerjisini ısıya dönüştürebilme kapasitesini gösterir. Materyallerin dielektrik özellikleri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\epsilon' = \epsilon' - j\epsilon''$$

Bu formülde ( $\epsilon'$ ) dielektrik sabitini, ( $\epsilon''$ ) dielektrik kayıp faktörünü ve  $j$  ise  $\sqrt{-1}$  değerini simgelemektedir [1, 5, 9].

Dielektrik özellik devredeki kondansatör ve direnç gibi düşünülebilir. Dielektrik sabiti, gıdanın kondansatör özelliğini yani materyalin elektrik enerjisinin ne kadarını depolayabileceğini gösterir. Dielektrik kayıp faktörü ise gıdanın direnç özelliğini yani gelen enerjisinin ne kadarının ısıya dönüştürüleceğini gösterir [11]. Mikrodalga enerjisinin bir materyali aşarken uğradığı enerji kaybı yani o materyalin dipol dönmesi ve iyonik hareket nedeniyle oluşan kayıpları gıda için ne kadar yüksekse o gıda mikrodalga etkisiyle o kadar çabuk ısınmaktadır [4].

Dielektrik kayıp faktörünün dielektrik sabitine oranı ise, dağıtım (dissipation) faktörü ( $\tan\delta$ ) olarak gösterilir. Bu değer verilen mikrodalga enerjisinin gıda içinde ısı olarak tükenmesiyle kaybolma miktarını vermektedir. Bir gıdayı mikrodalga ile ısıtma işlemi, gıdanın dissipation faktörüne büyük oranda bağlıdır. Bu nedenle yüksek kayıp faktörlü bir malzeme mikrodalga enerjisi ile kolaylıkla ısıtılabilir. Kayıp faktörü cismin gelen enerjiyi dağıtabilme kabiliyetinin ifadesidir ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\tan \delta = \epsilon''/\epsilon'$$

Dielektrik özellikler asıl olarak mikrodalga frekansı, çalışma sıcaklığı ve gıdanın absorblama özelliklerinden etkilenmektedir [1,6].

### Dielektrik Özellikleri Etkileyen Faktörler

Gıdaların dielektrik özellikleri asıl olarak gıdanın kimyasal bileşimi, ikinci planda ise fiziksel yapısı tarafından

etkilenir. Genel olarak gıdalar çeşitli organik maddeler, su, şeker ve tuzların karışımından oluşmuştur. Dielektrik kayıplar belirli frekanslarda tuzun varlığında artmaktadır. Şeker çözeltilerinin dielektrik sabiti ise sıcaklığa ve şeker konsantrasyonuna bağlı olarak artmaktadır. Şeker çözeltilerinin dielektrik kayıp faktörü şekerin polar olmayan yapısı nedeniyle konsantrasyona bağlı olarak azalmakta, sıcaklığa bağlı olarak artmaktadır. Suyun dielektrik özellikleri ise serbest veya bağlı formda olmasına göre değişmektedir. Elektrik alan varlığında serbest haldeki suyun oryantasyon polarizasyonu bağlı formdaki sudan daha fazladır. 915 ve 2450 MHz frekanslarda su içeriği düşük gıdaların dielektrik özellikleri sıcaklığa bağlıyken yüksek oranda su içeren gıdalarda sıcaklık daha az etkili olmaktadır. Gıdaların dielektrik özellikleri yine parçacık büyüklüğü, tekstür ve gıdanın yoğunluğu ile değişmektedir [9]. Ekmek, un, meyve ve sebze gibi gıdaların dielektrik özellikleri su içeriklerine bağlıdır. Katı ve sıvı yağların dielektrik sabitleri ve kayıp faktörü düşük olmasına rağmen, özellikle kayıp faktöründe sıcaklıkla beraber bir artış görülmektedir [1].

Mikrodalga ile ısıtma işlemi üzerine, mikrodalga frekansı, gıdanın su içeriği, yoğunluğu, kütlesi, dielektrik sabiti ve iyon yükü etkilidir. Mikrodalga ile ısınmayı bu faktörler dışında, ısı iletkenlik özellikleri ve özgül ısı gibi parametreler de etkiler [10-12]. Mikrodalgalar gıdaların dipolar veya iyonik yapısı nedeniyle absorbe edilir. Dipolar yapı 1 GHz frekansın üzerindeki frekanslarda önemliyken, iyonik yapı daha ziyade 1 GHz frekansın altındaki frekanslarda etkilidir.[1]. Elektromanyetik dalganın, gıdaya nüfus etme miktarı dalganın frekansına da bağlıdır. Mikrodalga frekansı azaldıkça gıdaya nüfus etme miktarı artmaktadır. Örneğin 2450 MHz'deki mikrodalgalar saf suya 2.3 cm etki ederken 915 MHz'deki mikrodalgalar saf suya 20 cm'ye kadar tesir etmektedir [11].

### SÜT VE ÜRÜNLERİNDE MİKRODALGA ISITMANIN KULLANIMI

Gıdaların işlenmesinde mikrodalga enerjisinin yaygın olarak kullanıldığı altı ana uygulama bulunmaktadır: pastörizasyon, sterilizasyon, temperleme (tavlama), dehidrasyon, ağartma ve pişirme prosesleridir [6]. Mikrodalgalar ayrıca günümüzde, dondurulmuş gıdaların çözündürülmesinde, ön pişirme, paketli gıdaların pastörizasyonu ve unlu mamüllerin kurutulması vb. gibi kullanım alanlarına da sahiptir. Genel olarak mikrodalga uygulamaları buhar, sıcak hava ve infrared ısıtma ile birleştirilerek yapılmaktadır [4]. Mikrodalga uygulamasının süt ve ürünlerinde kullanımı ile yapılan çalışmalar tamamen sütün pastörizasyonu ve sterilizasyonu üzerine yoğunlaşmıştır.

Thompson ve Thompson [13], standart ev tipi 2450 MHz mikrodalga fırında çiğ keçi sütünün toplam bakteri sayısının, sütün duygusal özelliklerine zarar vermeden etkili bir şekilde 6 logaritma birim kadar azaltılabildiğini ve

bu sütün raf ömrünün 7 güne kadar kalite özelliklerini saklayarak uzadığını bildirmişlerdir.

Dehghan ve ark. [14], tarafından yapılan bir çalışmada inek sütü mikrodalga MW (2450 MHz ve 540 Watt) ve klasik HTST (Alfa-Laval) metodu ile pastörize edilerek bazı süt bileşenleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Süt örnekleri MW ve HTST metoduyla 85°C'de 15 saniye ısıtılma tabii tutulmuş ve hemen buz banyosunda soğutulmuştur. Süt örneklerinin MW ve HTST ile yeterli pastörize oldukları fosfataz testi ve koliform analiziyle belirlenmiştir. Her iki pastörizasyon metodunda sütlerin protein ve yağ oranları çiğ süttten farklı çıkmamıştır ( $p < 0.05$ ). Araştırmacılar altı serbest aminoasit (aspartik asit, glutamik asit, glisin, histidin, arginin ve lizin) miktarı üzerine her iki pastörizasyon metodunun etkisini araştırıp sonuçta glutamik asit, glisin ve arginin miktarı bakımından pastörizasyon metotları arasında bir farklılık olmadığını, aspartik asit miktarının çiğ sütle ve MW metoduyla karşılaştırıldığında HTST metodunda önemli derecede azaldığını, lizin miktarının ise çiğ süttteki miktarıyla karşılaştırıldığında MW metodunda azaldığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar aynı zamanda süt örneklerinin asitlik değerleri üzerinde iki pastörizasyon metodunun bir etkisini olmadığını bildirmişlerdir. Araştırmada yine proteinlerin çözünürlükleri üzerine pastörizasyon metotlarının etkisi önemsiz bulunmuştur. Proteinlerin çözünürlükleri çiğ süte göre doğal olarak azalmış fakat bu azalma önemsiz bulunmuştur. Sonuç olarak ısı uygulaması bakımından iki metot arasında hiç bir farklılık görülmediğini bu nedenle mikrodalga ısıtmanın güvenle HTST metodu yerine kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Villamiel ve ark. [15], mikrodalga ısıtma ve klasik ısıtma uygulamasının sütte laktöz izomerasyonu, serum proteinleri denatürasyonu ve Maillard reaksiyonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırmada 2450 MHz frekanslı, 600 Watt gücündeki mikrodalga fırın kullanılmıştır. Süt örneklerinde 70°C'de 10, 20 ve 30 dakika ısıtılma işlemi uygulaması serum proteinlerinde mikrodalga ısıtmada, geleneksel ısıtmaya göre daha fazla denatureye sebep olduğu belirtilmiştir. Hem mikrodalga hemde geleneksel ısıtma metodunda yüksek sıcaklıklarda (100, 110 ve 120°C'de 10, 20 ve 30 dakika) ısıtılma işlemi tüm serum proteinlerinin denatürasyona sebep olmuştur. 70°C'de 30 dakikalık ısıtılma işlemi her iki ısıtma metodunda laktuloz miktarında artışa sebep olmuş fakat miktarı 5mg/100 mL aşmamıştır. Ancak 100-120°C'de uygulanan ısıtma sırasında laktuloz miktarındaki artış mikrodalga ısıtma metodunda daha fazla olduğu belirtilmiştir. Aynı sıcaklıkta furozin oluşumunun yine benzer özellikler göstermiş ve mikrodalga ısıtma metodunda artışın daha fazla olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar, bu üç parametre bakımından süt örneklerinde bulunan değişmelerin bir farklılık oluşturmadığını ancak mikrodalga uygulamasının değişmeler üzerine hızlandırıcı etki yaptığını ifade etmişlerdir.

Valero ve ark. [16], çiğ sütü mikrodalga (2450 MHz ve 532 W) ve geleneksel yöntemle ısıtılma işlemi uygulayıp (80±1 ve 92±1°C'de 15 saniye) 15 gün depolanmışlardır (4.5±0.5°C). Süt örnekleri pH, duyu özellikler, uçucu bileşikler ve farklı monosakkaritler bakımından analiz edilmiştir. Mikrodalga ve geleneksel ısıtma uygulamasında oluşan laktuloz miktarı izin verilen seviyeyi (50mg/L) aşmamıştır. Araştırmada, süt örneklerinin pH değerleri üzerine her iki ısıtılma metodunun bir etkisinin bulunamamıştır. Bu sonuçlar bakımından sonuçlar Dehghan ve ark. [14] tarafından yapılan çalışmayla uyum içerisindedir. Süt örneklerinin duyu değerlendirilmesi açısından her iki ısıtılma metodunun bir farklılık göstermediği örneklerinin benzer puanlar aldığı bildirilmiştir. Süt örneklerinde 15 gün sonunda, 92±1°C'de 15 saniye mikrodalga ısıtma uygulanan örnek hariç aroma kaybının oluşumu bildirilmiştir. Bu sonuç Villamiel ve ark. [17], tarafından yapılan, 80°C mikrodalga ısıtma metoduyla pastörize edilen sütlerin raf ömrünün klasik ısıtma ile üretilen sütlerden daha uzun olduğunu bildiren çalışmayla uyum göstermektedir. Mikrodalga ve geleneksel ısıtma uygulanan süt örneklerindeki galaktoz, glukoz ve miyoinositol miktarları birbirine benzer bulunmuştur. Araştırmacılar bu iki ısıtılma uygulamasının birbirinden farklı sonuçlar doğurmadığını, sonuçların benzer olduğunu, mikrodalga ısıtmanın ayrıca sütün tat ve aromasına olumsuz etkide bulunmadığını bildirmişlerdir.

Kindle ve ark. [18], mikrodalga ısıtmanın çeşitli patojen bakteriler üzerine öldürücü etkisini araştırmışlardır. 2450 MHz ve 600W gücündeki mikrodalgaların hazır bebek mama formülasyonlarına ilave edilen *Pseudomonas aeruginosa*, *E. coli*, *Enterobacter sakazakii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, *Mycobacterium terrae* ve çocuk felci virüsü üzerine öldürücü etkisini araştırdıkları çalışmalarında, 85-100 saniyelik mikrodalga uygulamasının bebek maması örneklerin sıcaklığını 82-93°C'ye kadar yükseltip ve çoğu vejetatif hücreyi öldürdüğünü, *P. aeruginosa* ve *E. coli*'nin tamamen yok olduğunu, canlı kalabilenlerin sayılarının ise en az 5000 kat azaldığını ve sayının  $10^5$  kob/mL seviyesinden 20 kob/mL seviyesine düştüğünü sonuçta mikrodalga ısıtmanın bebek mamalarının ısıtılması için uygun olduğunu bildirmişlerdir.

Clare ve ark. [19], mikrodalgalar kullanılarak ısıtılma işlemi görmüş sütlerin duyu, mikrobiyolojik ve biyokimyasal özelliklerini konvansiyonel indirekt ısıtılma yöntemleri kullanılarak üretilen UHT sütlerle karşılaştırmışlardır. Sütler aseptik olarak ambalajlanmış ve oda sıcaklığında 12 ay depolanmıştır. Her 3 ayda bir örnekler alınmış ve örneklerde mikrobiyolojik analizler, reaktif sülfidril miktarı, enzim analizi, viskozite, renk değişimi ve duyu analizler yapılmıştır. Araştırmacılar plazmin aktivitesinin her iki ısıtmada da negatif olduğunu, reaktif sülfidril grubu bakımından arada fark bulunmadığını, viskozite değerlerinin tamamen birbirinin aynısı olduğunu ve duyu özellikler bakımından mikrodalgalarla ısıtılmış sütlerin daha üstün duyu özelliklere sahip olduğunu

bulmuşlardır. Sonuç olarak mikrodalga ısıtma tekniğinin uzun bir raf ömrüne sahip olan aseptik süt ürünlerinin verilmesinde kullanışlı bir alternatif olacağını bildirmişlerdir.

Huang ve ark [20], mikrodalga ısıtmanın ambalaj materyalinden gıdaya plasticizer (plastikleştirici) maddelerin migrasyonu üzerine etkisinin olup olmadığını klasik ısıtma metoduyla karşılaştırarak araştırmışlardır. Çalışmada plastikleştirici olarak Triacetin (AR, Mw 218.20), içeren nişasta ester film kullanılmıştır. Hazırlanan nişasta ester filmler (2x0.7 cm<sup>2</sup>) 7 mL tam yağlı ve yağsız süt içerisine daldırılıp mikrodalga fırında 30°C'de 15, 20, 25, 30 ve 35 dakika ısıtma maruz bırakılmıştır. Filmler daha sonra yıkanıp analize alınmış ve plastikleştirici maddenin süt filmi yüzeyinden içeri doğru 0.5 µm mesafede migrasyon miktarı belirlenmiştir. Araştırmacılar mikrodalga ısıtma uygulamasıyla plastikleştirici maddenin film yüzeydeki miktarının azaldığını bildirmişlerdir. Bu sonuç Triacetinin film içerisine geçtiğini göstermektedir. Mikrodalga uygulaması moleküllerin hareketliliğini artırıp aktivasyon enerjisini azaltmaktadır. Sütün tam yağlı veya yağsız olması düşük sıcaklıklarda migrasyon için önemli bulunmamış, ancak mikrodalga ısıtma süresine bağlı olarak sıcaklık arttıkça tam yağlı sütte migrasyonun daha fazla olduğunu bulunmuştur. Araştırmacılar film yüzeyindeki plastikleştirici miktarının, film içerisine geçen kısımdan daha fazla olduğunu da belirtmişlerdir. Bu durum ilk olarak nişasta ester film ile sütün etkileşim yaptığını ve gözenekler arası boşluğu doldurduğunu göstermektedir. Mikrodalga uygulaması muhtemelen film yüzeyinden süte geçişi kolaylaştırmaktadır. Sonuç olarak araştırmacılar mikrodalga ısıtmanın nişasta ester film içeren ambalaj materyalinde çoklu yapı değişikliklerine sebep olduğunu ve bu değişikliklerin plastikleştirici maddelerin gıdaya geçişini artırdığını bildirmişlerdir. Ancak Gökmenoğlu ve ark. [21], pişirme yöntemlerinin plastikleştirici maddelerin gıdaya geçişini etkilediğini, mikrodalga fırınların plastik içerisindeki gıdaların pişirilmesinde kullanıldığında çok daha az geçişe neden olduğunu bildirip mikrodalga fırınların kullanımını önermişlerdir.

Uluko ve ark. [22], süt protein konsantrasyonlarının antioksidan kapasitelerinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, süt proteinlerini mikrodalga ısıtma, ultrasound muamele ve konvansiyonel ısıtma uygulaması sonrası enzimatik olarak hidroliz etmişlerdir. Mikrodalga ve normal ısıtma uygulaması 10 dakika süreyle yapılmış, ultrasound muamelesi ise 800 W gücünde and 20 kHz frekansta aynı süreyle uygulanmıştır. Sonuçta tüm uygulamaların radikal oluşumunu benzer oranda baskıladığını bildirmişler ancak ultrasound uygulamasını bu amaçla tavsiye etmişlerdir.

Turgut [8], set tipi yoğurt üretiminde mikrodalga ısıtmanın yoğurt bakterilerinin canlı kalması ve yoğurdun bazı özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır. Araştırmada, klasik yoğurt fermantasyonundan sonra yoğurt jeli mikrodalga ile tekrar ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve 4±1°C'de 28 gün

depolanmıştır. Çalışmada, 2450 MHz frekans ve 720 Watt gücündeki mikrodalga fırında 10, 20 ve 30 saniye süreyle mikrodalga ısıtma uygulanmıştır. Yoğurtlardaki ortalama *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* sayısının, kontrol, 10, 20 ve 30 saniye süreyle mikrodalga ısıtmaya tabi tutulan yoğurtlarda sırasıyla 8.585, 8.378, 8.099 ve 7.015 log kob/g olduğu, *Streptococcus thermophilus* sayılarının ise sırasıyla 8.744, 8.597, 8.474 ve 8.219 log kob/g olduğu bildirilmiştir. Çalışmada mikrodalga uygulamasının yoğurtların pH ve titre edilebilir asitlik (%) değerleri üzerinde önemli derecede etkili (p<0.05) olduğu bulunmuştur. Yoğurtların pH değerlerinin kontrol, 10, 20 ve 30 saniye süreyle mikrodalga ısıtılan yoğurtlarda sırasıyla 4.07, 4.03, 4.19 ve 4.29 olarak belirtilmiştir. Araştırmacı, mikrodalga ısıtma kullanılarak yoğurdun bu şekilde raf ömrünün uzatılabileceğini bildirmiştir. Mikrodalga uygulaması sonrası yoğurtların spesifik mikroorganizma sayısı bakımından Türk Gıda Kodeksi'nde belirtilen sayılara tüm depolama boyunca da uygun olduğu (10<sup>7</sup> kob/g) görülmektedir.

Dimitrov ve ark. [23], Kaşkaval peyniri üretiminde mikrodalga ısıtmanın peynirlerin mikrobiyolojik ve proteolitik özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Çiğ inek sütünü mikrodalga ile ısıtıp (62-67°C) starter kültür karışımıyla (*Lactobacillus delbr.* ssp. *bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* and *Lactobacillus helveticus*) olgunlaştırdıktan sonra pıhtılaştırmışlardır (34-35°C). Pıhtıyı ufalayıp, 2450 MHz ve 800 Watt gücündeki mikrodalgalar ile pıhtı sıcaklığı 72-74°C olacak şekilde tekrar ısıtmış ve kuru tuzlama (%2) yapıp olgunlaşmaya (8-10°C) bırakmışlardır. Kontrol grubu peynirler ise aynı sıcaklık derecelerinde klasik ısıtma yöntemleri uygulanarak ısıtılıp, olgunlaştırılmış ve pıhtılaştırılmıştır. Pıhtı işleme yapılmış tuzlama işlemi salamura (%14 NaCl) içerisinde haşlanarak (72-74°C) yapılmıştır. Peynirler PVC ile ambalajlanıp vakum paketleme yapılmış ve 45 gün olgunlaşmaya bırakılmıştır. Araştırmacılar olgunlaşmanın 5, 15, 30 ve 45. günlerinde peynirlerin mikrobiyolojik analizini ve olgunlaşmanın proteolitik profilini araştırmışlardır. Mikrodalga uygulanarak ısıtılan sütlerle yapılan peynirlerde olgunlaşmadan sorumlu starter kültürlerin daha fazla çoğaldığını mikrodalga uygulanarak üretilen Kaşkaval peynirinde laktobasil ve streptokokların sayısının sırasıyla 2.7x10<sup>6</sup> kob/g ve 2.2x10<sup>8</sup> kob/g olduğunu, buna karşılık klasik ısıtma yöntemiyle üretilen peynirlerde ise bu sayıların 5.2x10<sup>4</sup> kob/g ve 9.8x10<sup>4</sup> kob/g olduğunu bulmuşlardır. Araştırmacılar, mikrodalga uygulamasının pıhtının ısıtılması sırasında laktobasil ve streptokokların sayısını azalttığını klasik yöntemde ise sıcak salamura içinde haşlama aşamasının bakteri sayısının sayının azalmasında daha fazla etkili olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar mikrodalga kullanılarak üretilen peynirlerde olgunlaşma profilininin, kontrol grubundan daha iyi olduğunu serbest aminoasit miktarının mikrodalga peynirlerde 490.1±2.10 mg/100g, klasik olarak üretilen peynirlerde ise 216.5±2.00 mg/100g olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmada bulunan sonuçlardan

mikrodalga ısıtmanın aktif ve hızlı bir proteoliz sürecine sebep olduğu ve mikrodalga ısıtma uygulamasının peynirlerin olgunlaşmasında olumlu etkide bulunduğu anlaşılmaktadır.

Dimitror ve ark. [24], Kaşkaval peyniri üretiminde mikrodalga ısıtmanın, olgunlaşma sırasındaki yağ asidi profili ve duysal özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada inek sütüne iki farklı yöntemle ısıtma işlemi uygulanmıştır. Kontrol grubunda süt klasik ısıtma yöntemiyle ısıtılmış (62-67°C), modifiye metot da ise mikrodalga ısıtma uygulanmıştır (2450MHz, 800W, 62-67°C). Kontrol grubunda pıhtı 72-74°C'de %14 tuzlu salamurada tuzlanmış, mikrodalga metodunda ise pıhtı mikrodalga ile ısıtılıp kuru tuzlama yapılmıştır. Peynirlerin stabilizasyonu için üç gün sonunda vakum ambalajlama yapılmış ve 45 gün olgunlaşmaya bırakılmıştır. Olgunlaşmanın 5, 15, 30 ve 45. günlerinde peynirlerin yağ asidi profilleri incelenmiş, olgunlaşma sonunda ise peynirler duysal yönden değerlendirilmiştir. Mikrodalga ısıtma ile üretilen Kaşkaval peynirlerin, klasik metotlarla üretilen peynire göre daha iyi duysal profil gösterdiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar olgunlaşma süresince palmitik yağ asidi (C16:0) miktarının çok az değiştiğini ancak mikrodalga metoduyla üretilen peynirlerde daha düşük bulunduğunu bildirmişlerdir. Peynir örneklerinde olgunlaşmanın başındaki palmitik yağ asidi miktarı, mikrodalga ve kontrol grubunda sırasıyla 33.18±0.11 g/100g ve 37.07±0.14 g/100g olarak, olgunlaşmanın sonunda ise 33.78±0.10 g/100g ve 38.57±0.12 g/100g olarak bulunmuştur. Mikrodalga kullanılan üretilen peynirlerdeki tekli doymamış oleik yağ asidi tüm olgunlaşma süresince kontrol grubuna göre daha fazla miktarda bulunmuştur. Olgunlaşma periyodu sonunda oleik asit miktarı mikrodalga ve kontrol grubunda sırasıyla 30.22±0.05 g/100g ve 25.23±0.12 g/100g olduğu bildirilmiştir. Linoleik asit miktarı her iki grupta da birbirine yakın bulunmuştur. Depolama süresince en fazla doymuş yağ asidi miktarı klasik metotla üretilen peynirde bulunmuştur. Araştırmacılar kontrol grubunda yeterli sıcaklığa ulaşmak için daha uzun süre gerektiğini, mikrodalga metodunda ise hızlı bir ısınma gerçekleştiği için bu sonuçların alınabileceğini bildirmişlerdir. Bu durum doymamış yağ asitlerinin sıcaklığa karşı stabiliteilerinin az olmasıyla açıklanabilir. Isıl işlemlerin uzaması doymuş yağ asidi miktarının artmasına sebep olmaktadır. Klasik üretim sırasında ısınma uzun sürede gerçekleşmekte ve bu sonucu doğrulamaktadır.

## SONUÇ

Mikrodalga ısıtma metodu ilk keşfedildiği tarihten günümüze kadar sürekli gelişme göstermiştir. Mikrodalga ısıtma uygulamasının klasik ısıtma işlemlere göre enerji ve zaman tasarrufu sağlaması mikrodalga uygulamaların önemini arttırmaktadır. Isıtma işleminin çok kısa sürede gerçekleşmesi, günümüzde hayatın hızlanması sonucu insanların bu hıza ayak uydurabilme zorunluluğu ile mikrodalga enerjisinin ısıtmadaki hızı uyum

göstermektedir. Mikrodalga tek başına veya istenen sonuca ulaşabilmek için diğer ısı aktarım sistemleriyle birleştirilerek kullanılabilir. Süt ve ürünlerinde mikrodalga uygulamaları üzerine yapılan literatür taramasında yapılan çalışmaların genellikle sütün pastörizasyonu veya gıdadaki mikrobiyolojik değişimler üzerinde yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Süt ürünlerinde mikrodalga uygulamasının tek başına veya diğer ısıtma proseslerle kombine edilmesine dayalı çalışmalar süt teknolojisinde çok daha fazla potansiyele sahip olabilir. Mikrodalga ısıtmanın kullanıldığı prosesler vitamin ve besin kayıplarını azaltıp ve gıdanın biyolojik potansiyelini artırabilir. Mikrodalga teknolojisi kullanılarak geleneksel ısıtma ile elde edilemeyen yeni özellikteki birçok farklı ürünler elde edilebilir. Mikrodalga teknolojisi ayrıca donanım olarak yeni ürünlerin geliştirilmesini de gerekli kılmaktadır. Bu derleme bu konuda değişik kombinasyonların araştırılması gerektiğini ortaya çıkarmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., Basak, T., 2013. Microwave food processing – A review. *Food Research International* 52(1): 243-261.
- [2] Ahmed, J., Ramaswamy, H.S., 2007. Microwave Pasteurization and Sterilization of Foods. In: Rahman M. S (ed): Handbook of food preservation. CRC Publication, USA.
- [3] Özdemir, Z.Ö., Mustafaeva, Z., 2009. Mikrodalga enerjisi ve peptid sentezinde uygulanması. *Kimya ve Sanayi* 42(1): 24-27.
- [4] Büyükkoyuncu, D., 2012. Mikrodalga'nın hacim içerisinde dağılımının sıcaklık profiline etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [5] Konak, Ü.İ., Certel, M., Helhel, S., 2009. Gıda sanayisinde mikrodalga uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* 4(3): 20-31.
- [6] Neetoo, H., Chen, H., 2014. Alternative food processing technologies. In S. Clark, S. Jung, and B. Lamsal (Eds.), Food Processing: Principles and applications (2nd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- [7] Thostenson, E.T., Chou, T.W., 1999. Microwave processing: Fundamentals and applications. *Composites Part A* 30: 1055–1071.
- [8] Turgut, T., 2016. The effect of microwave heating on the some quality properties and shelf life of yoghurt. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 22(6): 809-814.
- [9] Salazar-Gonzalez, C., San Martin-Gonzalez, M.F., Lopez-Malo, A., Sosa-Morales, M.E., 2012. Recent studies related to microwave processing of fluid foods. *Food Bioprocess and Technology* 5: 31–46.
- [10] Gümüşderelioğlu, M., Kaynak, G., 2012. Mikrodalga ve uygulamaları. *Bilim ve Teknik Dergisi* 586: 38-42.

- [11] Uslu, M.K., Certel, M., 2006. Dielektrik ısıtma ve gıda işlemede kullanımı. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* 1(3): 61-69.
- [12] Leone, A., Tamborrino, A., Romaniello, R., Zagaria, R., Sabella, E., 2014. Specification and implementation of a continuous microwave-assisted system for paste malaxation in an olive oil extraction plant. *Biosystems Engineering* 125: 24-35.
- [13] Thompson, J.S., Thompson, A., 1990. In-home pasteurisation of raw goat's milk by microwave treatment. *International Journal of Food Microbiology* 10: 59-64.
- [14] Dehghan, A., Jamalian, J., Farahnaky, A., Mesbahi, G., Moosavi-Nasab, M., 2012. The effect of microwave pasteurization on some physical and chemical characteristics of milk. *International Journal of Food Engineering* 8(1): 1-12.
- [15] Villamiel, M., Corzo, N., Martinez-Castro, I., Olano, A., 1996. Chemical changes during microwave treatment of milk. *Food Chemistry* 56: 385-388.
- [16] Valero, E., Villamiel, M., Sanz, J., Martinez-Castro, I., 2000. Chemical and sensorial changes in milk pasteurised by microwave and conventional systems during cold storage. *Food Chemistry* 70: 77-81.
- [17] Villamiel, M., Lopez-Fandino, R., Olano, A., 1996. Microwave pasteurization of milk in a continuous flow unit: Shelf life of cow's milk. *Milchwissenschaft* 51: 674-677.
- [18] Kindle, G., Busse, A., Kampa, D., Meyer-Koenig, U., Daschner, F.D., 1996. Killing activity of microwaves in milk. *Journal of Hospital Infection* 33: 273-278.
- [19] Clare, D.A., Bang, W.S., Cartwright, G., Drake, M.A., Coronel, P., Simunovic, J., 2005. Comparison of sensory, microbiological, and biochemical parameters of microwave versus indirect UHT fluid skim milk during storage. *Journal of Dairy Science* 88(12): 4172-4182.
- [20] Huang, C., Zhu, J., Chen, L., Li, L., Li, X., 2014. Structural changes and plasticizer migration of starch-based food packaging material contacting with milk during microwave heating. *Food Control* 36: 55-62
- [21] Uluko, H., Zhang, S., Liu, L., Tsakama, M., Lu, J., Lv, J., 2015. Effects of thermal, microwave, and ultrasound pretreatments on antioxidative capacity of enzymatic milk protein concentrate hydrolysates. *Journal of Functional Foods* 18: 1138-1146.
- [22] Gökmenoğlu, G., Bayındırlı, A., Bayındırlı, L., 1995. Gıda maddeleri ile plastik ambalajların etkileşimi. *Gıda* 20(6): 383-386.
- [23] Dimitrov, D., Simov, Z., Dimitrov, Z., Ospanov, A., 2015. Improving of the microbiological and proteolytic profile of Kashkaval cheese by modification in heat treatments of cow's milk and Cheddared curd. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Science* 4(6): 546-549.
- [24] Dimitrov, D., Simov, Z., Vlaseva, R., Ospanov, A., 2015. Fatty acid and sensory profile in the process of ripening of Kashkaval cheese from cow's milk produced by microwave treatment. *Annals Food Science and Technology* 16(1): 45-51.
-