

## RADYO FREKANS SİSTEMİ VE GIDA SANAYİNDEKİ UYGULAMALARI

Hülya Çakmak\*1, Şebnem Tavman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir

Geliş tarihi / *Received*: 13.07.2011

Düzeltilerek Geliş tarihi / *Received in revised form*: 10.09.2011

Kabul tarihi / *Accepted*: 22.09.2011

### Özet

Radio frekans işlemi, hızlı ve tekdüze ısınma gözlenmesi, yüksek enerji etkinliği ve mikrodalgaya göre daha yüksek nüfuz derinliğine sahip olması gibi avantajları sebebiyle yeni ısı uygulamaları arasında yer almaktadır. Donmuş gıdaların çözündürülmesi, hazır gıdaların ambalajda sterilizasyonu, işlenmiş et ürünlerinin pişirilmesi, fırın ürünlerinin son kurutması ve sebzelerin haşlanması gibi uygulamalarda kullanılabildiği gibi radyo frekans tanımlama (RFID) sistemiyle, gıda güvenliğinin sağlanabilmesi ve izlenebilirliğinde de kullanılmaktadır. Diğer dielektrik ısıtma yöntemlerinde olduğu gibi bu yöntemde de işlem uygulanmadan önce, seçilen gıda ürünlerinin dielektrik özelliklerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Dielektrik özellikler, dielektrik ısıtma sırasında maddenin elektromanyetik enerjiyle ilişkisini göstermektedir. Dielektrik özellikler, frekans, sıcaklık, nem içeriği ve diğer gıda bileşenleri gibi birçok faktörden etkilenmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Radio frekans, dielektrik özellikler, radyo frekans ısıtma

## RADIO FREQUENCY SYSTEM AND ITS APPLICATIONS IN FOOD INDUSTRY

### Abstract

Radio frequency process is a novel heating method which has great advantages as providing rapid and uniform heating, high heat penetration into food and having high energy efficiency compared to microwave heating. Radio frequency can be used in thawing of frozen foods, sterilization of ready-to-eat packaged foods, cooking of processed meats, post bake drying of bakery products and blanching of vegetables. Radio frequency identification system (RFID) is used for food safety and traceability applications. Like other dielectric methods, knowledge of dielectric properties of the food material is required. Dielectric properties have been considered as the main features contributing to the interactions between electromagnetic energy and the material during dielectrical heating. Dielectric properties are affected by various factors such as frequency, temperature, moisture content and also by food components.

**Keywords:** Radio frequency, dielectric properties, radio frequency heating

\*Yazışmalardan sorumlu yazar / *Corresponding author*;

✉ hulya.cakmak@ege.edu.tr

☎ (+90) 232 311 3044

☎ (+90) 232 342 7592

## GİRİŞ

Radyo dalgaları, dalga boyu ve frekans ile nitelenmektedir. Dalga boyu; bir elektromanyetik dalga döngüsü tarafından kapsanan uzaklığı anlatırken frekans, verilen bir noktadan bir saniye içerisinde geçen elektromanyetik dalga sayısını vermektedir (1). Radyo frekansları elektromanyetik spektrumun 1-300 MHz arası dalga boyunu kapsayan bir elektromanyetik dalga çeşididir (2). Geniş bir bant aralığı bulunmasına karşın sanayi tarafından kullanılabilen dalga boyları FCC (Federal İletişim Komisyonu) tarafından endüstriyel, bilimsel ve medikal uygulamalar (ISM) için sınırlandırılmıştır. Bu amaçla kullanılan frekanslar Çizelge 1'de görülmektedir. Gıdalarda uygulanan endüstriyel uygulamalar ise, gıdaların pastörizasyon veya sterilizasyonu (3-7), sebzelerin haşlanması, fırın ürünlerinin fırınlama sonrası son kurutması, donmuş ürünlerin çözdürülmesi (8, 9) meyve ve sebzelerde pest kontrolü (10-13) ve enzim inaktivasyonu (14) olarak bilinmektedir. Bunların yanı sıra ambalajlanmış ürünün kontrolünü sağlamak için radyo frekans tanımlama sistemleri (RFID) geliştirilmiştir.

Çizelge 1. RF ısıtmada kullanılan uluslararası ISM frekans bantları (20)

Frekans (MHz)	Dalga Boyu (m)
13.56 (±%0.05)	22
27.12 (±%0.60)	11
40.68 (±%0.05)	7.4

Konvansiyonel gıda ısıtma yöntemlerinde ısı enerjisi dışarıda üretilip gıdaya konveksiyon, kondüksiyon veya radyasyon yoluyla aktarılmaktadır. Partikül içeren gıdalar da -özellikle büyük partikül içerenler için- süspansiyon sıvısının konvansiyonel yöntemle ısıtılmasında (partiküllerin merkezinde tam olarak sterilizasyon için yeterli sıcaklık oluşumu) aşırı ısı uygulanması gerekmekte, bu da partiküllerin dış kısmında bozulmalara neden olmaktadır (15). Bu yüzden hem yeterli mikrobiyel inaktivasyonu sağlayacak hem de gıdanın genel kalitesini koruyarak hızlı ve tekdüze ısınma gerçekleştirecek ısıtma teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Radyo frekans ısıtma modeli, gıdanın hızlı ve tekdüze ısıtılmasını sağlayacak potansiyele sahip olup gıda güvenliğini koruyarak yüksek kalitede

gıda ürünleri elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Bu nedenle viskoz ve/veya ısıya duyarlı sıvı gıdalarda, farmasötikler ile nutrasötikler ve fonksiyonel gıda ürünlerinde kullanılabilen alternatif bir ısıtma yöntemidir (16). Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA)'ne göre mikrodalga frekansları da dâhil olmak üzere radyo frekans radyasyonu alttaki koşullar uygulandığında gıdanın güvenli olarak ısıtılmasında kullanılabilir (17). Bunlar;

-Radyasyon kaynağı, FCC (Federal İletişim Komisyonu) tarafından kararlaştırılan özel frekanslarla radyo frekans üreten elektronik ekipmandan oluşmaktadır.

-Gıdanın içinde ısı üretiminde kullanılan veya kullanılması düşünülen radyasyon, işlemde etkili olmalıdır.

Radyo dalgalarıyla ısıtma temel olarak iki ana mekanizmadan oluşmaktadır. Bunlar; dielektrik ve iyonik mekanizma. Gıdalarda bulunan su, dielektrik ısıtmada en önemli bileşendir. Suyun dipolar karakterine bağlı olarak su molekülleri, elektrik alanındaki elektromanyetik radyasyonu takip etmekte bu da yüksek frekanslarda salınma benzer hareketler yaratmaktadır. Su moleküllerinin bu salınımı da ısı üretmektedir.

İkinci ana mekanizma ise gıdanın içinde bulunan iyonların, salınma neden olan elektrik alanda kaçışmasıyla ısı üretilmesidir (18). Değişen elektrik alanda maddenin içindeki moleküllerin sürekli sıralanması ve yer değiştirmesiyle oluşan sürtünme ısı oluşumuna yol açmaktadır (19).

Radyo frekansları içinde bulunan düşük frekanslarda, iyonik dipolarizasyonun ısıtmada baskın mekanizma olduğu, mikrodalga frekanslarda ise hem iyonik dipolarizasyon hem de dipol yer değiştirmenin baskın olduğu kabul edilmektedir (2).

Radyo frekans ısıtma sistemi genel olarak iki ana bileşenden meydana gelmektedir, bunlar; üreteç ve aplikatördür (20). Üreteç kısmında radyo frekans gücü üretilmekte, aplikatör kısmında ise gıda yerleştirilip ısıtılmaktadır. Üreteçler, ısıtılacak madde ile radyo frekans gücünün nasıl birleşeceğine bağlı olarak, serbest çalışan üreteçler (konvansiyonel) ve 50 Ω sistemi şeklinde ikiye ayrılmaktadır (21). Serbest çalışan üreteçler, endüstride kullanılan radyo frekans sistemlerinin %99'unu oluşturmaktadır (20).

## DİELEKTRİK ÖZELLİKLER

Gıda endüstrisinde gelişen kapasitif (radyo frekans) dielektrik ısıtma uygulamalarında gıda maddelerinin radyo frekans aralığındaki dielektrik özelliklerinin kesin olarak bilinmesi zorunludur (15). Böylelikle uygulanacak optimum frekans veya frekans aralığı belirlenebilmektedir.

Gıda maddeleri genellikle zayıf iletkenlerdir (20). Bir elektromanyetik dalgaya maruz bırakıldıklarında elektrik enerjisini depolama ve dağıtma kapasitesine sahiptirler. Dielektrik özellikler, dielektrik sabiti ( $\epsilon'$ ) ve dielektrik kayıp faktörü ( $\epsilon''$ ) olarak gerçek ve sanal kısımlardan oluşmakta olup bağlı dielektrik sabiti aşağıdaki formülde verilmiştir (22).

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}' - j\mathcal{E}'' \quad (1)$$

$j = \sqrt{-1}$  olarak tanımlanmaktadır. Bu parametreler gıdanın kompozisyonu, yoğunluğu, frekans ve sıcaklığın birer fonksiyonudur (23, 24). Ancak elektromanyetik enerjiyle ısıtma için asıl önemli bileşen gıdalarda bulunan sudur (25).

Çizelge 2'de beyaz ekmeğe ilişkin dielektrik özellikler, radyo frekans (27.12 MHz) ve mikrodalga frekans (915 MHz) için belirtilmiştir. Radyo frekansta aynı sıcaklık için, nem içeriği düşüktüçe, dielektrik sabiti ve dielektrik kayıp faktörü düşmektedir. Aynı nem içeriğinde ise sıcaklık arttıkça, dielektrik sabiti ve dielektrik kayıp faktörü artmaktadır. Bir başka çalışmada ise iki farklı elma türü (Golden Delicious, Red Delicious) ve portakal için sıcaklık artışıyla dielektrik sabiti azalmakta, kayıp faktörü ise artış göstermektedir (13). Yapraklı sebzelerin tazeliği ile dielektrik özellikleri arasındaki ilişkinin incelendiği bir diğer

çalışmada ise, yüksek nem içerikli yapraklı sebzelerin depolama sırasında hızlı nem kaybı ve yoğun solunuma bağlı olarak dielektrik sabitlerinde düşme gözlenmiştir (26). 27 MHz radyo frekansta sabit sıcaklıkta, sütün konsantrasyon artışıyla dielektrik kayıp faktörü artarken, dielektrik sabiti için belirgin bir eğilim gözlenmemiştir (27). Yumurta akı çözeltisi için, asidik çözeltelerde dielektrik özellikler yüksek olduğu için nötr ve bazik olanlara nazaran daha hızlı ısınma gözlendiği saptanmıştır (28).

İşlem değişkenlerinin ve kimyasal kompozisyonun fonksiyonu olan dielektrik özellikleri modellemek için birçok denemeler yapılmıştır. Bu denemeler tek bir gıda maddesinin modellenmesi olduğu gibi, farklı gıda türlerinin bulunduğu kapsamlı verileri de içermektedir (29). Peynir için, dielektrik sabiti ve dielektrik kayıp faktörünün değişimini kullanarak nem ve inorganik tuz içeriğini tahminleyen modeller oluşturulmuştur (30). Bu modellerin, dielektrik ısıtma ve kalite özelliklerinin belirlenmesi konusunda kullanılma potansiyeli olduğu görülmektedir. Benzer bir çalışmada sirke için ölçülen gerçek dielektrik özellikleri, model oluşturularak tahminleme üzerine yapılmış olup 1-20 GHz arasında yapılan ölçümler değerlendirilmiştir (31). Çalışma sonucunda sirkenin belirtilen frekanslarda oluşturulan modeli için suyun yanında en önemli bileşenin asetik asit içeriği olduğu görülmüştür.

Teoride elektrik kondüksiyon ve çeşitli polarizasyon mekanizmaları (dipol, elektronik, iyonik ve Maxwell-Wagner) dielektrik ısıtmanın gerçekleştiği frekans aralıklarında dielektrik kayıp faktörünü

Çizelge 2. Beyaz ekmeğin radyo frekans ve mikrodalga frekanslarda dielektrik özellikleri (34)

Nem İçeriği (%)	Sıcaklık (°C)	Dielektrik Sabiti ( $\epsilon'$ )		Dielektrik Kayıp Faktörü ( $\epsilon''$ )	
		Frekans		Frekans	
		27.12 MHz	915 MHz	27.12 MHz	915 MHz
38.6	25	2.83	2.08	4.95	0.69
	55	3.15	2.17	8.00	0.83
	85	3.55	2.26	13.26	1.15
37.1	25	2.68	2.03	3.90	0.59
	55	3.02	2.11	6.74	0.78
	85	3.50	2.23	12.55	1.13
34.6	25	2.35	1.81	2.32	0.47
	55	2.80	1.94	5.09	0.67
	85	3.45	2.13	11.98	1.07

oluşturmaktadır (20). Nemli gıdalar için 200 MHz ve altı düşük frekanslarda iyonik kondüksiyon önemli bir role sahipken, 915 ve 2450 MHz gibi mikrodalga frekanslarda hem iyonik kondüksiyon hem de dipol rotasyon etkili olmaktadır (23). Dipol rotasyon, polar moleküllerin elektrik alanda sıralanmak için hareket etmesiyle ilgilidir. Moleküllerin salınımlarıyla oluşan birçok çarpışma hareketi enerji oluşturmada, bu da ısı artışına yol açmaktadır (32). Dipol rotasyonla gıdaya aktarılan güç, gıdanın içindeki voltaj değişimi, elektriksel alanın frekansı ve gıdanın kayıp faktörüne bağlı olmaktadır. Bu değişkenler arasındaki ilişki kayıp faktörünün ısı ve frekansla değişimi gerçeğiyle karıştırılmaktadır (20). İyonik kondüksiyonda, yüklenmiş partiküller (iyonlar) sürekli olarak karşıt yüklerle yüklenmiş plakalara doğru hareket etmektedir. Polarite saniyede milyonlarca kere değiştiği için bu iyonlar sürekli hareket etmekte, aynen bilardo topları gibi diğer partiküllerle çarpışmaktadır. Bu çarpışmalar sürtünme oluşturmada ve oluşan ısı gıdayı ısıtmaktadır. İyonik kondüksiyonla gıdaya aktarılan güç, gıdanın içindeki voltaj değişimine ve gıdanın iletkenliğine bağlıdır. İyonik kondüksiyonda frekansın güce hiçbir etkisi bulunmamaktadır.

Radyo frekans ısıtma uygulamasında dielektrik özelliklerin yanı sıra gıdanın geometrisinin de etkili olabileceği düşünülerek, tekdüze ısınmanın hangi gıda şeklinde daha etkin gerçekleştiği belirlenmek istenmiştir (33). Kübik şeklin, gıda için hızlı ve daha düzenli ısınma oluşumu gösterdiği ayrıca güç emiliminin yüksek olduğu belirlenmiştir. Silindirik şekilli gıdalar için ise, radyo frekans uygulaması sırasında dikey yön değişimi yapılması tavsiye edilmiştir.

Dielektrik özelliklerin tam olarak bilinmesiyle, radyo frekans ısıtma sistemi için gerekli optimum kompozisyon, yapılandırılmalar (frekans, işlem süresi vb.) ve güç dağıtım sistemleri belirlenip, gıdaların pastörizasyon, sterilizasyon ve çözdürülmesi için etkin uygulamalar gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır (15).

### Nüfuz (Penetrasyon) Derinliği

Nüfuz derinliği ( $d_p$ ), iletilen elektromanyetik dalganın, gıda yüzeyinden içine doğru işleyen gücün  $1/e'$  ye (Euler sayısı,  $e = 2.718$ ) veya %37'ye düştüğü derinliği belirtmektedir (20, 29, 34). Nüfuz derinliği 2 no'lu eşitlikte verilmiştir.

$$d_p = \frac{c}{2\pi f \sqrt{2\epsilon' \left[ \sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'}\right)^2} - 1 \right]}} \quad (2)$$

burada  $c$  boşlukta ışık hızını ( $3 \times 10^8$  m/s),  $f$  frekansı (Hz) göstermektedir. Gıdalara uygulanan radyo frekans enerjisi, mikrodalga enerjisinin 10 katı kadar daha yüksek nüfuz derinliğine sahip olabilmektedir (20). Daha derine nüfuz edebilme, daha düşük frekanslarda gerçekleşmekte, daha yüksek frekanslar ise yüzeyde daha fazla ısınmaya neden olmaktadır (34). Örneğin mangoya uygulanan 27.12 MHz radyo frekansın nüfuz derinliği, 1800 MHz mikrodalga uygulamasından altı kat yüksek bulunmuştur (35). Tatlı patates püresine uygulanan 915 MHz mikrodalga uygulaması için nüfuz derinliği, 70 °C'de 15.7-22.2 mm, 100 °C'de 11.6-16.6 mm, 130 °C'de 8.6-13.2 mm arasında bulunmuştur (29). Çizelge 3'te farklı gıdalar için nüfuz derinlikleri verilmiştir. Yağsız ette radyo frekans uygulamasının, sıcaklık -10 °C'ye düştüğünde nüfuz derinliği 1 metreyi aşmaktadır.

Çizelge 3. Farklı gıdalarda nüfuz derinlikleri (20)

Ürün	Frekans (MHz)	Sıcaklık (°C)	Nem İçeriği (%)	$d_p$ (m)
Hamur	27.12	20	30	0.97
		20	60	0.23
Yağsız Et	35.0	10		0.07
		0		0.08
		-10		1.09
Morina Balığı	35.0	10		0.06
		0		0.08
		-10		0.57

Radyo frekans ısıtma işlemi ürünü hedef aldığı yani çevreleyen havayı ısıtmadığı için ürünün iç kısmı yüzeyden daha çabuk ısınmaktadır (36). Ayrıca radyo dalgalarının kendine has özelliği sayesinde, paketleme malzemesinin (örneğin plastik, pamuk ve diğer kompozit karışımlar) içine önemli enerji kaybı olmadan nüfuz edebilme özelliği bulunmaktadır (19). Radyo frekans uygulamaları, nemi gıda içinden dışına hareket ettirme eğiliminde olup ürün içerisinde nemi dengelemekte, böylelikle aşırı ısınma ve ürün yüzeyinde kuruma engellenmektedir.

**RADYO FREKANS UYGULANAN GIDALAR**

Radyo frekans tanımlama sistemi (RFID), radyo frekanslarını kullanarak durağan ya da hareket halinde bulunan canlılar ve nesnelere tekil veya çoğul halde tanımlamakta kullanılmaktadır (37). RFID tarım ve gıda endüstrisi uygulamalarında; RFID etiketleri ile tarladan alınan ürünlerin satış noktasına ulaşmaya kadar geçirdiği aşamalar ve bekleme süreleri sırasında oluşacak bozulmalar takip edilmektedir. Bu sistemle tedarik zinciri kontrol edilebilmekte, depolama sırasında palet ve kasaların yeri bulunabilmekte, son kullanma tarihleri kontrol edilebilmekte ve ürünün stoka ne zaman ulaşacağı takip edilebilmektedir (38). Ayrıca tedarik zincirinde gıda güvenliği yönetmelikleri ve izlenebilirlik uygulamalarına uygunluk gibi önemli avantajları bulunmaktadır.

Depolama ömrünü uzatmak, hasat sonrası pest kontrolü gibi amaçlarla taze meyve ve sebzelere ve bitki tohumlarına radyo frekans uygulaması yapılmaktadır. Taze ve tüketime hazır, vakum paketlenmiş havuçların 5-6 °C' de depolama ömrünü arttırmak için paralel plakalı radyo frekans aplikatörü kullanılarak 27.12 MHz radyo frekans uygulaması yapılmıştır (39). Tek başına radyo frekans uygulamasının, en az işlem gören tüketime hazır taze havuçların depolanmasını iyileştirme ve gıda güvenliğini sağlamada yeterli olmadığı, ancak uygun paketleme ve yeterli soğutma ile desteklendiğinde uygun bir işlem olabileceği düşünülmektedir.

Portakal, elma, greyfurt, şeftali ve avokado meyvelerinin suyla doldurulmuş konteyner içinde 27.12 MHz radyo frekans ısıtma ile pest kontrolünde kullanıldığı çalışmada ise, dielektrik özelliklerin deneysel ve matematiksel olarak belirlenmiştir (40). Homojen ve ısınma gücü sudan yüksek olan meyveler için, suyun içinde dönmesi ve hareket etmesinden sonra bile radyo frekans ısıtması, çekirdeğe doğru odaklanmaktadır. Kalın kabuklu meyvelerde, -örneğin portakal ve greyfurt- meyve etinin ve kabuğunun farklı dielektrik ve fiziksel özelliklere sahip olması sebebiyle yüzeyin hemen altında ısınma gerçekleşebileceği düşünülmektedir. Bir başka çalışmada, şeftali ve nektarinde hasat sonrası *Monilinia* spp.'nin neden olduğu kahverengi nokta hastalığının giderilmesi için, 27.12 MHz radyo frekans uygulaması gerçekleştirilmiştir (12). Şeftalilerde 22.5 dakikalık işlemin etkili olduğu ancak meyvelerin oluşan ısıdan hasar

gördüğü, 15 dakikalık işlem sonunda ise meyvelerin hasar görmediği ancak radyo frekans etkinliğinin daha düşük olduğu bildirilmiştir. Yapılan optimizasyonlar sonucunda 18 dakikalık işlem süresi ve radyo frekansın üst elektrodu ile meyve arasındaki uzaklığın 17 mm olmasıyla şeftalilerde hasat sonrası kahverengi nokta hastalığının kontrolünde alternatif bir uygulama olabileceği gösterilmiştir. Çiğ bademin hasat sonrası kimyasal dezenfektan uygulamalarına alternatif olarak radyo frekans ile pest kontrolünün incelendiği bir çalışmada, diğerlerine benzer olarak 27 MHz frekans seçilmiştir (11). 6-8 °C/ dk radyo frekans ısıtma hızı ile sıcaklık bademde 63 °C sıcaklığa ulaştıktan sonra, bu sıcaklıkta 2 dakikalık sıcak hava uygulamasını takiben soğutulmasının kabuklu ve kabuksuz bademler için tekdüze ısınmayı sağladığı görülmüştür. Ayrıca badem kalitesinin, (peroksit değeri, yağ asitleri, badem içi rengi) bu işlemten etkilenmediği saptanmıştır. Wang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada kabuklu cevizde elma kurdu larvalarının gelişimini önlemek amacıyla metil bromit fumigasyonu yerine 27 MHz radyo frekansın etkin ve hızlı bir karantina uygulaması olduğu bildirilmiştir (10).

Meyve ve sebzelerin haşlanması amacıyla radyo frekans uygulaması yeni bir yöntem değildir (15). Radyo frekansıyla bezelyelerin haşlanması incelendiği bir çalışmada ürünün 77 °C' ye ısıtılmasıyla katalazın inaktive olduğu, ürünün 88 °C' ye ısıtılmasıyla haşlanmanın tamamlandığı, su ve buharla haşlamaya göre daha yüksek askorbik asit içeriğine sahip olduğu görülmüştür (41). Hindiba ve ıspanak için farklı haşlama yöntemlerinin denendiği bir çalışmada (42), mikrodalga, buhar enjekte edilen mikrodalga, kızılötesi, buharla, suyla ve 27 MHz radyo frekans uygulamasıyla haşlama yapılmış, radyo frekans uygulanan örneklerin renklerinin daha iyi korunduğu tespit edilmiştir. Ispanakta C vitamini içeriği, mikrodalga, buhar ve buhar enjekte edilen mikrodalga uygulamalarında daha yüksek bulunmuştur.

Haşlamada radyo frekans uygulaması avantajlı bir yöntem olarak görülse de, yapılan duyu analizler sonucu lezzet yönünden diğer yöntemlere göre daha düşük puanlar aldığı saptanmıştır.

Radyo frekanslarının bir diğer önemli kullanım alanı da sterilizasyon ve pastörizasyon işlemleridir. Paketli gıdaların mikrobiyel güvenliğinin incelendiği bir çalışmada fosfat çözeltisi ve patates püresine

yapay olarak inokule edilen *Clostridium sporogenes* bakterilerinin 27.12 MHz radyo frekans ile ısı direnci değerlendirilmiştir (3). Patates püresinin en soğuk noktasının 121 °C' ye getirilmesi 25 dakika sürerken, konvansiyonel otoklav işlemiyle patatesin düşük ısı iletkenliği sebebiyle 90 dakika işlem uygulanması gerekmektedir. Aynı bakteri, askeri polimerik kaplarda bulunan omlete inokule edilerek sterilizasyon etkinliği konvansiyonel otoklav yöntemiyle karşılaştırılmıştır (4). Radyo frekans ısıtmada işlem süresi, yaklaşık 2 kg kapasiteli polimerik kaplar için konvansiyonel yöntemin 1/3'ü kadar sürmekte olduğu bulunmuştur. Çalışma sonucunda radyo frekans enerjisiyle, askeri veya sivil kullanımlar için güvenli, raf ömrü uzun sterilize omlet üretimi gerçekleştirilebildiği belirlenmiştir.

Elma suyuna (5) uygulanan radyo frekans elektrik alanıyla birleştirilmiş UV-lamba uygulaması ile portakal suyuna (6) uygulanan radyo frekans ısıtmanın, yapay olarak inoküle edilen *E. coli* bakterisinin inaktivasyonu için başarılı bir yöntem olduğu gözlenmiştir. Ayrıca portakal suyuna uygulanan işlem sonunda askorbik asitte herhangi bir azalma olmamış, enzimatik esmerleşme tespit edilmemiştir.

Kurutma amacıyla radyo frekans uygulaması uzun yıllardan beri kullanılmakta olup genellikle bisküvi, kraker ve kurabiye gibi fırın ürünlerinin çatlamasını önlemek için pişirilmesinden sonra uygulanan bir işlemdir. Türkiye'de de bu amaçla radyo frekans uygulaması yapan birkaç firma bulunmaktadır. Kuruma hızı, renk, tat, besin değeri, enzim inaktivasyonu, mikrobiyel güvenlik ve taze görünüm gibi avantajları bulunan radyo frekans kurutma sistemi, ürün kalitesi ve işlem maliyetleri açısından kuruma sisteminin optimizasyonunu sağlamak için halen gelişmekte olan bir yöntemdir (43). Bu amaçla literatürde kuru gıda ürünlerinin 27 MHz paralel plakalı radyo frekans sisteminde ürün boyutu, şekli, radyo frekans elektrotları arasındaki uzaklık, ürünün dielektrik özellikleri ve ortam özelliklerinin değişiminin incelendiği çalışmalar bulunmaktadır (44).

Et ürünlerine radyo frekans uygulaması yaygın olarak uygulanan bir sistem olup donmuş etlerin çözdürülmesi, temperleme, et ürünlerinin pişirilmesi ve pastörizasyon veya sterilizasyonda kullanılmaktadır. Yağsız et karışımlarının

hazırlanması ve yüksek güç uygulamasıyla oldukça etkili radyo frekans temperleme yapıldığı bildirilmektedir (9). Konvansiyonel yöntemle (sıcak hava) çözdürülen etlerde, radyo frekansla çözdürülenlere göre önemli düzeyde yüksek damlama kaybı olduğu, damlayan süzöntüdeki mikro besin öğelerinin miktarının konvansiyonel yöntemde daha fazla olduğu gözlenmiştir (8). Radyo frekans yöntemiyle pişirilen jambonda, sertlik değeri ve pişme verimi daha yüksek, su tutma kapasitesi ise daha düşük bulunmuştur (7). Ayrıca pişme süresinin buharla pişirilen örneklerle nazaran düşük olduğu gözlenmiştir. Parçalanmış ve çekilmiş et ürünlerinin radyo frekansla pişirmeye daha uygun olduğu saptanmıştır (2). Ayrıca duyuusal özelliklerin pişirme yönteminden etkilendiği ve bazı ürünlerde iyileştiği belirtilmektedir (7, 15).

#### **RADYO FREKANS UYGULAMASININ AVANTAJLARI**

-Düşük frekans seviyesine bağlı olarak radyo frekansları mikrodalgaya göre daha fazla nüfuz derinliğine sahip olmakta bu da daha büyük boyutlardaki gıdalarda uygulanabilme olanağını arttırmaktadır (45).

-Radyo frekans uygulaması ohmik ısıtmadan daha üstün bir yöntem olup, gıdanın ambalajlanmış olmasından veya ürünü çevreleyen hava veya su bariyeri bulunmasından etkilenmeyip sadece ürünü ısıtmaktadır (15).

-Yüksek sıcaklıklara daha kısa sürelerde ulaştığı için ürünün renk, besin değeri ve duyuusal kalitesi daha iyi korunmaktadır (4, 7-9, 11).

-Mikrodalga ve radyo frekans ısıtma sistemleri hemen açılıp kapatılabildiği için daha etkin enerji kullanımı gerçekleşmekte, diğer yöntemlerde olduğu gibi ısınma veya soğuma için bekleme süresi olmamaktadır (15, 18).

Radyo frekans sistemlerinin bütün bu avantajlarının yanı sıra birkaç olumsuz yönü de bulunmaktadır. Bunlar; uygulanan ısıtma işleminin doğrulanmasında yaşanan zorluklar ve ekipman ve işletim maliyetinin fazla olmasıdır. Ayrıca radyo frekans sistemlerinin kurulumu, mikrodalga sistemlerine göre daha kolay olmasına rağmen mikrodalgayla eşit güç üreten radyo frekans sistemlerinin güç üniteleri daha büyük boyutlarda olmaktadır (46).

**SONUÇ**

Hızlı ve homojen, ısınma sağlaması ile radyo frekans sitemleri güvenli, yüksek kalitede gıda üretilmesine yardımcı olmaktadır. Ancak radyo frekansın etkin kullanımının gerçekleştirilebilmesi için işlemin uygulanacağı gıdanın dielektrik özelliklerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu özellikler saptanarak gıda işlemine uygun ekipman üretimi ve enerjinin etkin kullanımı gibi önemli unsurlar belirlenebilecektir. Radyo frekans işlemi sırasında sıcaklık değişimlerinin görümlenebilmesi, kaydedilebilmesi gerekirse kontrol edilebilmesi bu işlemin daha başarılı uygulanabilmesini sağlayacaktır.

**KAYNAKLAR**

1. Anon 2011. <http://www.hps.org/hpspublications/articles/rfradiation.html> (Accessed 14.05.2011)
2. Marra F, Zhang L, Lyng JG. 2009. Radio Frequency Treatment of Foods: Review of Recent Advances. *J Food Eng* 91: 497-508.
3. Luechapattaporn K, Wang Y, Wang J, Al-Holy M, Kang DH, Tang J, Hallberg LM. 2004. Microbial Safety in Radio-frequency Processing of Packaged Foods. *J Food Sci* 69: 201-206.
4. Luechapattaporn K, Wang Y, Wang J, Tang J, Hallberg LM, Dunne CP. 2005. Sterilization of Scrambled Eggs in Military Polymeric Trays by Radio Frequency Energy. *J Food Sc* 70: 288-294.
5. Ukuku DO, Geveke DJ. 2010. A Combined treatment of UV-light and Radio frequency Electric Field for the Inactivation of *Escherichia coli* K-12 in Apple Juice. *International J Food Microbiol* 138: 50-55.
6. Geveke DJ, Brunkhorst C, Fan X. 2007. Radio Frequency Electric Fields Processing of Orange Juice. *Innovative Food Sci Emerg Technol* 8: 549-554.
7. McKenna BM, Lyng J, Brunton N, Shirsat N. 2005. Advances in Radio Frequency and Ohmic Heating of Meats. *J Food Eng* 77: 215-229.
8. Farag KW, Duggan E, Morgan DJ, Cronin DA, Lyng JG. 2009. A Comparison of Conventional and Radio Frequency Defrosting of Lean Beef Meats: Effects on Water Binding Characteristics. *Meat Sci* 83: 278-284.
9. Farag KW, Duggan E, Morgan DJ, Cronin DA, Lyng JG. 2010. Temperature Changes and Power Consumption During Radio Frequency Tempering of Beef Lean / Fat Formulations. *Food Bioprocess Technol* 3: 732-740.
10. Wang S, Ikediala JN, Tang J, Hansen JD, Mitcham E, Mao R, Swanson B. 2001. Radio Frequency Treatments to Control Codling Moth in in-shell Walnuts. *Postharvest Biol Technol* 22: 29-38.
11. Gao M, Tang J, Wang Y, Powers J, Wang S. 2010. Almond Quality as Influenced by Radio Frequency Heat Treatments. *Postharvest Biol Technol* 58: 225-231.
12. Casals C, Vinas I, Landl A, Picouet P, Torres R, Usall J. 2010. Application of Radio Frequency Heating to Control Brown Rot on Peaches and Nectarines. *Postharvest Biol Technol* 58: 218-224.
13. Wang S, Tang J, Johnson JA, Mitcham E, Hansen JD, Hallman G, Drake SR, Wang Y. 2003. Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as Related to Radio Frequency and Microwave Treatments. *Biosyst Eng* 85(2): 201-212.
14. Manzocco L, Anese M, and Nicoli C. 2008. Radiofrequency Inactivation of Oxidative Food Enzymes in Model Systems and Apple Derivatives. *Food Res Int* 41: 1044-1049.
15. Zhao Y, Flugstad B, Kolbe E, Park JW, Wells JH. 2000. Using Capacitive (Radio Frequency) Dielectric Heating in Food Processing and Preservation- A Review. *J Food Process Eng* 23: 25-55.
16. Piyasena P, Dussault C. 2003. Continuous Radio-frequency Heating of a Model Viscous Solution: Influence of Active Current, Flow Rate, and Salt Content on Temperature Rise. *Can Biosyst Eng* 45(3): 27-34.
17. FDA. 2010. Irradiation in the Production, Processing and Handling of Food. Sec. 179.30, 21CFR179.30, USA.
18. Datta AK, Davidson PM. 2000. Microwave and Radio Frequency Processing. *J Food Saf* 65: 32-41.
19. Lagunas-Solar MC, Zeng NX, Essert TK, Truong TD, Pina C, Cullor JS, Smith WL, Larrain R. 2005. Disinfection of Fishmeal with Radiofrequency Heating for Improved Quality and Energy Efficiency. *J Sci Food and Agric* 85: 2273-2280.

20. Tang J, Wang Y, Chan TVCT. 2005. Radio-frequency Heating in Food Processing, *Novel Food Processing Technologies*, Barbarosa-Canovas GV(chief ed), CRC Press, Boca Raton, 692 p.
21. Tang J (ed), Mitcham E, Wang S, Lurie S. 2007. *Heat Treatments for Postharvest Pest Control*, CAB International, Oxfordshire, UK, 349 p.
22. Sumnu G, Sahin S. 2005. *Emerging Technologies for Food Processing*, Sun DW (chief ed), Elsevier, California, USA, pp. 419-438.
23. Rynnänen S. 1995. The Electromagnetic Properties of Food Materials: A review of the Basic Principles. *J Food Eng* 26: 409-429.
24. Coronel P, Simunovic J, Sandeep KP, Kumar P. 2008. Dielectric Properties of Pumpable Food Materials at 915 MHz. *Int J Food Prop* 11: 508-518.
25. Ahmed J, Ramaswamy HS, Raghavan GSV. 2008. Dielectric Properties of Soybean Protein Isolate Dispersions as a Function of Concentration, Temperature and pH. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* 41: 71-81.
26. Wen, Q, Ye J, Xue W, Huang A, Hugura Y, Suzuki K. 2007. Corelation Between Dielectric Properties and Freshness of Leaf Vegetables. *J Food Process Preservation* 31: 736-750.
27. Guo W, Zhu X, Liu H, Yue R, Wang S. 2010. Effects of Milk Concentration and Freshness on Microwave Dielectric Properties. *J Food Eng* 99: 344-350.
28. Ahmed J, Ramaswamy HS, Alli I, Raghavan GSV. 2007. Protein Denaturation, Rheology, and Gelatinization Characteristics of Radio-Frequency Heated Egg White Dispersions. *Int J Food Properties* 10: 145-161.
29. Brinley TA, Truong VD, Coronel P, Simunovic J, Sandeep KP. 2008. Dielectric Properties of Sweet Potato Purees at 915 MHz as Affected by Temperature and Chemical Composition. *Int J Food Properties* 11: 158-172.
30. Everard CD, Fagan CC, O'Donnell CP, O'Callaghan DJ, Lyng JG. 2006. Dielectric Properties of Process Cheese from 0.3 to 3 GHz. *J Food Eng* 75: 415-422.
31. Bohigas X, Tejada J. 2009. Dielectric Properties of Acetic Acid and Vinegar in the Microwave Frequencies Range 1-20 GHz. *J Food Eng* 94: 46-51.
32. Letellier M, Budzinski H. 1999. Microwave Assisted Extraction of Organic Compounds. *Analisis* 27: 259-271.
33. Romano V, Marra F, 2008. A Numerical Analysis of Radio Frequency Heating of Regular Shaped Foodstuff. *J Food Eng* 84: 449-457.
34. Sosa-Morales ME, Valerio-Junco L, Lopez-Malo A, Garcia, HS. 2010. Dielectric Properties of Foods: Reported Data in the 21st Century and Their Potential Applications. *LWT-Food Science and Technology* 43: 1169-1179.
35. Sosa-Morales ME, Tiwari G, Wang S, Tang J, Garcia HS, Lopez- Malo A. 2009. Dielectric Heating as a Potential Post-harvest Treatment of Disinfesting Mangoes, Part 1: Relation Between Dielectric Properties and Ripening. *Biosys Eng* 103: 297-303.
36. Orsat V, Raghavan GSV. 2005, *Emerging Technologies for Food Processing*, Sun DW (chief ed), Elsevier, California, USA, pp. 445-468.
37. Kavas-Yıldız A. 2007. Radyo Frekans Tanımlama Sistemleri. *Elektrik Mühendisliği* 430: 74-80.
38. Jones P, Clarke-Hill C, Comfort D. 2005. Radio Frequency Identification and Food Retailing in the UK. *Br Food J* 107(6): 356-360.
39. Orsat V, Gariépy Y, Raghavan GSV, Lyew D. 2001. Radio-frequency Treatment for Ready-to-eat Fresh Carrots. *Food Res Int* 34: 527-536.
40. Birla SL, Wang S, Tang J, Tiwari G. 2008. Characterization of Radio Frequency Heating of Fresh Fruits Influenced by Dielectric Properties. *Journal of Food Engineering* 89: 390-398.
41. Moyer JC, Stotz E. 1947. The Blanching of Vegetables by Electronics. *Food Technol* 1: 252-257.
42. Ponne CT, Baysal T, Yuksel D. 1994. Blanching Leafy Vegetables with Electromagnetic Energy. *J Food Sci* 59(5): 1041-1059.
43. Nijhuis HH, Torringa HM, Muresan S, Yuksel D, Leguijt C, Kloek W. 1998. Approaches to Improving the Quality of Dried Fruit and Vegetables. *Trends in Food Sci Technol* 9: 13-20.
44. Tiwari G, Wang S, Tang J, Birla SL. 2011. Analysis of Radio Frequency (RF) Power Distribution in Dry Food Materials. *J Food Eng* 104: 548-556.
45. Ramaswamy H, Tang J. 2008. Microwave and Radio Frequency Heating. *Food Sci Technol Int* 14(5): 423-427.
46. Tucker GS. 2008. *Food Biodeterioration and Preservation*, Blackwell Publishing, UK, 255 p.