

Mikrodalgalar, Gıda Endüstrisinde Kullanım Alanları ve Mikroorganizmaların Üzerine Etkileri

Yrd. Doç. Dr. Bahrî ERCAN¹ — Prof. Dr. Jale ACAR² — Yrd. Doç. Dr. Oya AŞKIN²

H. Ü. Mühendislik Fak. Elektrik - Elektronik Müh. Bölümü — ANKARA

H. Ü. Mühendislik Fak. Gıda Mühendisliği Bölümü — ANKARA

ÖZET

Gıda maddelerinin konvensiyonel ısıtılmasında dışarıdan içeriye doğru sıcaklık farklılıkları belirir. Isı, bu farklılıkların etkisi ile dış kısımdan içe doğru kondüksiyon veya konveksiyonla taşınır. Gıdanın iç kısımlarının homojen bir şekilde ısınması ise yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalarla mümkün olur. Bu amaçla kullanılan mikrodalgalar, dalga ve parçacık özelliklerine sahip olup dalga boyları 0.5 - 50 cm ve frekansları 3×10^{10} - 6×10^8 Hz arasındadır. Gıda maddesinin ısıtılmasını sağlayan enerji fotonlar halinde yayılan mikrodalgalardan sağlanmaktadır. Mikrodalgalar gıda endüstrisinde, donmuş ürünlerin çözülmesi, hazır yemeklerin ısıtılması, bazan da gıdaların kurutulmaları veya mikroorganizmaların öldürülmeleri gibi çok çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar, mikrodalgaların mikroorganizmalar üzerindeki öldürücü etkilerinin farklı mekanizmaları olduğunu göstermektedir. Ancak mikrodalgaların bu termal ve termal olmayan etkileri konusundaki bilgiler henüz tam bir açıklık kazanmamıştır.

SUMMARY

When foods are conventionally heated, a temperature difference exists, ranging from outside to inside and the heat is transferred from outside to inside by means of conduction or convection. The food is heated uniformly only by using high-frequency electromagnetic waves, i. e. microwaves. Electromagnetic radiation has a dual nature, it is both wave-like particle like. The wave lengths of the microwaves lie between 0.5 - 50 cm and their frequency are 3×10^{10} - 6×10^8 Hz. The energy required to heat the food is received from the microwaves radiating as photons. Microwave heating is an important method for processing of foods, i.e. thawing, heating, dehydrating and reducing

microbial load-Microwaves are thought to exert different killing effects on microorganisms, but the question of thermal versus nonthermal effects of microwaves on microorganisms has not been settled.

GİRİŞ

Mikrodalgalar gıda endüstrisinde değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Bazı uygulamalarda amaç yalnızca ürünün yapısını bozmadan sıcaklığını artırmak olduğu halde (donmuş ürünlerin çözülmesi, hazır yemeklerin ısıtılması vb.) bazan da gıdaların kurutulmaları veya mikroorganizmaların öldürülmesi amacıyla ısı işlemlerinde de mikrodalgalardan yararlanılmaktadır (Reuter, 1980).

Mikrodalgalar gıda endüstrisinde yaklaşık 30 yıldan beri kullanılmakla beraber henüz yaygın olarak bu ışınlardan yararlanılmamaktadır. Mikrodalga uygulamasının olumlu yönü, ısıtılacak materyalin çok kısa zamanda ve homojen olarak ısıtılabilmesidir.

Mikrodalgaların Özellikleri

Elektromanyetik yayılma spektrumu; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar, görünür ışık, morötesi ışınlar, x-ışınları ve gamma ışınlarından oluşur. Gıdaların işlenmesi ve pişirilmesinde kullanılan mikrodalgalar da bu geniş spektrumun bir parçasıdır. Elektromanyetik yayılma hem dalga hem parçacık şeklindedir.

Bir elektriksel alan oluşturulmasıyla bir bölgeye enerji veriliyorsa, alanı oluşturan neden ortadan kaldırılınca bu ilk konumda elektriksel alan azalmaya başlar ve bir manyetik alan oluşur. Bu manyetik alanın değişmesi de çevrede yeni elektriksel alanların üretilmesine neden olur ve enerji taşıyan bir elektrik alan dalgası dışı doğru yayılır.

Peryodik elektromanyetik dalgalar için, dalga hızı, salınım frekansı ve dalgaboyu ara-

sında belli bir ilişki vardır. Elektromanyetik dalgaların boşluktaki hızı 2.997×10^8 m/sn'dir. Mikrodalgaların dalgaboyları 0.5-50 cm arasında olup frekansları 3×10^{10} Hz- 6×10^8 Hz arasındadır. Elektromanyetik dalgalar foton adı verilen belli enerji birimleri halinde emilir veya bırakılırlar. Bir fotonun taşıdığı enerji yayılmanın dalgaboyu veya frekansına bağlıdır.

Elektromanyetik yayılma, farklı maddeler içinde farklı hızlarda olur. Bunun sonucunda dalganın frekansı aynı kalır fakat dalgaboyu değişir. Genellikle, bir elektromanyetik dalganın hızı boşluğunkine göre bir maddenin içinde daha az olduğundan dalgaboyu kısalır.

Elektromanyetik yayılmanın yoğunluğu da iki şekilde açıklanır. Verilen, titreşen elektrik alan şiddetinin maksimum değeri E_{max} . (volt/metre) veya akı enerjisi I (watt/m²) veya (Joule/m²/sn) olabilir. Mikrodalga uygulamalarında genellikle kullanılan birim (miliwatt/cm²) dir.

Bütün elektromanyetik dalgalarda olduğu gibi mikrodalgaların da girişim etkileri vardır. Bunun nedeni, boşlukta verilen bir noktada belli bir zaman biriminde elektrik alan yoğunluğunun, o noktadan o anda geçen her dalganın elektrik alanlarının toplamı olmasıdır. Girişim kavramı, yine bir elektromanyetik yayılma olan ışık için de geçerlidir.

Mikrodalga yayılmada, ışıkta olduğu gibi yansıma, kırılma ve polarizasyon gözlenebilir.

Bir iletken, örneğin bir metal yüzey mikrodalgaların yansımaya yol açar. Değişik elektriksel özelliklere sahip maddeler arası yüzeylerde kısmen yansıma olur. Örneğin bir mikrodalga fırında mikrodalgalar havadan gıda maddesine veya aynı gıda maddesi içinde farklı bileşimde olan yüzeylerde kısmen yansıtacaktır.

Diğer elektromanyetik yayılmalarda olduğu gibi mikrodalgalar da kırılmaya uğrarlar. Bir mikrodalga demeti değişik elektriksel özelliğe sahip iki bölge arasındaki bir yüzeye dik olmayan bir konumda çarparsa dalganın yolalma yönü değişecektir.

Mikrodalgaların bir diğer özelliği de polarize olmasıdır. Dolayısıyla dalga hareketi dalganın hareket yönüne diktir.

Elektromanyetik yayılmanın esas kaynakları elektrik yüklerinin osilasyonudur. Mikrodal-

galar elektronik devrelerde elektroniklerin hızlandırılmaları ile elde edilirler. Elektronik devrelerde, elektrik enerjisinin elektromanyetik yayılmaya dönüşüm verimi yüksektir. Ayrıca bu devreler kolay kontrol edilebildiğinden ısıtma uygulamalarında mikrodalga kaynağı olarak kullanılırlar.

Endüstriyel tıbbi ve bilimsel kullanım için seçilen en uygun frekanslar ve bu mikrodalgaların dalgaboyları Tablo 1'de verilmiştir. (Curnutte, 1980).

Tablo 1. Endüstriyel, tıbbi ve bilimsel kullanım için kabul edilen mikrodalgaların frekans ve dalgaboyları.

Frekans bandı (MHz)	Merkezi dalgaboyu (cm)
915 ± 25	32.8
2450 ± 50	12.2
5800 ± 75	5.2
22125 ± 125	1.4

Mikrodalgalarla Isıtma

Konvensiyonel ısıtmada gıdanın dış yüzü fırın içindeki sıcak hava ile konveksiyon yoluyla ısıtılır. Farklı ısı kaynakları tarafından yayılan kızılötesi dalgalar gıda maddesi tarafından emilir ve böylece yüzeyde ince bir tabaka ısınır. Daha sonra ısı, ısıtılmış dış yüzeyden konduksiyon yoluyla gıdanın iç kısmına iletilir. Ancak gıda içinde ısı iletimi yüksek olmadığından bu yöntemle istenilen sıcaklıklara erişecek şekilde ısınma oldukça fazla zaman alır. Gıdaların mikrodalgalarla ısıtılmalarında gıdanın iç kısımlarında istenilen sıcaklıklara ulaşılması daha kısa sürede gerçekleşmektedir.

Mikrodalga enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü bu dalgaların bazı mikroskobik emme sistemi tarafından emilmesi ve daha sonra enerjinin emici madde moleküllerinin ısı titreşimlerine degradasyonu şeklindedir. Mikrodalgalar belirli miktarlarda, yani fotonlar halinde bırakılır veya emilirler ve bu nedenle birçok maddeler emilmeden geçirilebilirler.

Bir mikrodalga fotonunun taşıdığı enerji miktarı oldukça küçük olup yayılmanın frekansı ile doğru orantılıdır.

Bütün madde sistemlerinde, çekirdek, atomlar ve küçük veya büyük moleküllerin sa-

dece belli izin verilen enerji durumları vardır. enerji durumlarının doğa tarafından izin verilen en düşük olanı yerel durum olarak adlandırılır ve ısıtılmadıklarında çoğu maddeler bu durumda bulunurlar. Bir molekülün bir fotonu tutabilmesi için, fotonun enerjisinin, molekülün andaki enerji durumu ile diğer bir izin verilen enerji durumu arasındaki farka tam olarak uyması gerekir. Yayılma alanının molekül sistemine etkisi, molekül sistemin yüklü kısımları üzerine yayılmanın elektrik alanı tarafından oluşturulan kuvvet yoluyla gerçekleşir. Dalga bir molekülün yanından geçerken, molekül, aşağı ve yukarı salınan bir elektrik alanının etkisinde kalır. Eğer bir elektromanyetik dalganın elektrik alanı polar moleküldeki atomların arasındaki bağın uzunluğu boyunca salınırsa, dalga yanından geçerken, bağ boyunca atomları itme ve çekme eğilimi gösterir ve böylelikle bağ boyunca bir titreşim oluşturur. Eğer elektromanyetik dalganın elektrik alanı bağ uzunluğuna dik kuvvetler uygularsa, bu durumda molekül dönmeye başlayacaktır. Enerjinin moleküle geçebilmesi için fotonun frekans değerine karşılık gelen enerjisinin, polar molekülün izin verilen titreşim ve dönme enerjilerinin herhangi bir fark değerine uyması gerekir. Örneğin, bir polar molekül olan su, gıdaların bileşiminde önemli düzeylerde bulunmakta ve mikrodalgaların gıdalar tarafından emilmelerinde etkin rol oynamaktadır. Elektromanyetik dalgaların etkisinde kalan bir maddedeki su molekülleri gaz durumunda olduğu gibi birbirlerinden uzaktaysalar, bu durumda oldukça az sayıda izin verilen enerji farkları bulunacak ve böylece de yalnızca belli kesim frekansların fotonları emilecektir. Diğer frekanslardaki mikrodalgalar enerji kaybına uğramadan yayılacaklardır. Elektromanyetik yayılma spektrumunda farklı moleküller, farklı frekansları tutabilirler. Mikrodalga enerjisinin belirli bir moleküle geçirilmesi, kaynak frekansının maddenin tutabileceği frekanslardan birisi olması durumunda mümkündür. Bu bakımdan buharın sabit frekanslı bir mikrodalga kaynağı ile ısıtılması güçleşir. Su moleküllerinin buhara göre daha yoğun bulunduğu herhangi bir sıvıda moleküller birbirlerine daha yakın bulunacaklardır. Birbirine yakın olan su molekülleri, izin verilen enerji durumlarının daha geniş mikrodalga frekans bandlarını kap-

samasına neden olur. Böylece hemen her mikrodalga frekansı bazı izin verilen geçiş enerjilerine uyar ve hidrojen bağında yer alan yüklerle etkileşebilir ve tutulur.

Polar olmayan maddelerde mikrodalgaların tutulması ise aşağıdaki şekilde olmaktadır. Bu maddelerde elektrik yükleri simetrik olarak dağılmıştır. Böyle bir maddeye elektrik alanı uygulandığında, pozitif yükler alan yönünde bir kuvvetin, negatif yükler de alana ters yönde bir kuvvetin etkisinde kalırlar. Bu durum yüklerin orijinal simetrik konumlarından yer değiştirmelerine yol açar ve molekül polarize olur. Bu dolaşlı pozarizasyon, elektromanyetik dalga elektrik alanının moleküle etkileşmesine yol açar.

Elektromanyetik dalgalar homojen emici bir ortamdan geçerken enerji dalgadan alınır. Verilen bir bölgede enerjinin bırakılma hızı, o bölgedeki dalga yoğunluğu ve bir emme sabit sayısına bağlıdır. Bir elektromanyetik dalga etkisi ve maddenin emme katsayısıyla orantılıdır. Mikrodalga enerjisinin emilişi bir kez gerçekleştiğinde artık bu enerji emici kolektif molekül sisteminin saklı dönme ve titreşim enerjisi olur. Eğer bu enerji yayılacak olsaydı, maddenin sıcaklığı değişmeyecekti. Enerjinin ısı olarak görülmesi için, emici moleküllerin içinde iç titreşim olarak kalması yerine, her molekülün çevresine karşı yaptığı titreşime dönüşmesi gerekir. Enerjinin bu şekilde yeniden dağılımı, bir molekülün iç hareketlerinin komşuları üzerinde uyguladığı kuvvetleri aracılığı ile gerçekleşir. Bu etkiye «moleküler sürtünme» etkisi adı verilmektedir. Enerjinin ısıya dönüşmesi ile sistemin entropisi artar ve izole bir sistemde ters işlem gerçekleşmez. Böylece enerji elektromanyetik alandan alınır ve elektromanyetik dalga olarak tekrar yayılması engellenir. Buna dielektrik ısıtma da denilir.

Metaller gibi çok iyi elektriksel iletkenliklerdeki iletim elektronları elektromanyetik alanlara mikrodalga bölgesi frekansında tepki gösterirler. Maddenin direnci çok az veya hiç yoksa, elektronların hareketlerine verilen enerji yeniden yayılır. Direnci olan bir maddede ise elektronlar, diğer atomlara bağlı çekirdek ve elektronlarla çarpışarak anılan ısı enerjisine

dönüşecek titreşimlere başlatır ve elektron elektromanyetik alandan almış olduğu enerjinin tamamını tekrar yayamaz. Bu bakımdan iyi elektrikselsel iletkenler kötü elektromanyetik radyasyon emicileri veya iyi elektromanyetik radyasyon yansıtıcılarıdır. Bu özellik, elektromanyetik dalgaların yönlendiriciler ve mikrodalga fırınlarında kontrol edilmeleri açısından önemlidir (Curnutte, 1980).

Mikrodalga Isıtma Uygulamaları

Mikrodalgalarla ısıtma uygulamasında karşılaşılan en büyük sorun da bu ışınların metaller tarafından yansıtılmasıdır. Bu bakımdan ürünler ya paketlenmeden veya cam, kağıt, karton ve sentetik bir materyalle ambalajlandıktan sonra ısıtılmaktadır. Ürün paketlenmemiş ise sentetik, cam, porselen veya seramik bir kap içinde ısıtılmalıdır. Porselen ve seramik kaplar üzerinde metal veya metal oksit içeren renkli desenler bulunmamalıdır. Ancak son yıllarda bazı mikrodalga düzenlerinde uygun elektrotlar ve alanlar kullanılmak koşuluyla ağız açık metal kaplar da kullanılabilir (Reuter, 1980).

Mikrodalgalarla gıdaların ısıtılmalarında kullanılan düzenler kesikli veya sürekli (kesiksiz) çalışmaktadır. Kesikli çalışan düzenler genellikle evlerde ve restoranlarda kullanıldığı halde, endüstrideki uygulamalarda sürekli çalışan metal tunellerden yararlanır. Tunelin giriş ve çıkış kısımlarında çalışanların güvenliği açısından ışinsiz bölgeler bulunmaktadır.

Bir mikrodalga düzeni; yüksek frekans jeneratörü, elektrotlar ve aplikatörden oluşur. Gıda endüstrisinde kullanılan jeneratörlerin frekans kapasitesi 0,5- 600 KW'dır (Reuter, 1980).

Donmuş halde hammadde kullanılan bazı alanlarda, örneğin donmuş meyvenin marmelata işlenmesi gibi, hammaddenin işlenmeden önce çözünmesi gerekir. Hammadde, çoğu zaman ekonomik olması bakımından büyük bloklar halinde dondurulduğundan, 20-24°C'de vakum altında buhar kullanarak ve üzerine yine bu sıcaklıkta su püskürtülerek çözündürülmektedir. Ancak bu şekilde çözünmüş ürünün kalitesi bozulmakta, rekristalizasyon ile hücreler parçalanmakta, yüzey okside olmakta veya mikroorganizmaların neden oldukları bozulmalar söz konusu olabilmektedir. Diğer taraftan bu

koşullarda ürünün çözünme süresi blok büyüklüğüne göre 3-4 saatten 2-3 güne kadar uzamaktadır. Aynı işlem sürekli çalışan bir mikrodalga tunelde 10-30 dakikada tamamlanabilmektedir. Donmuş ürünün mikrodalgalarla çözünmesinde blok büyüklüğü fazla bir önem taşımamaktadır. Ancak büyük parçalar halinde donmuş ürünün çözünmesi sırasında yüzeyde oluşacak fazla ısınmayı önlemek için, çözünme sırasında tunel içinde sıcaklığı -30°C olan soğuk hava sirküle edilerek yüzey soğutulmaktadır (Reuter, 1980).

Aynı şekilde dondurularak muhafaza edilen veya taşınan büyük tereyağ blokları daha sonra paketleme aşamasında -20°C'den mikrodalga uygulaması ile +5° veya 10°C'ye kadar ısıtılmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklar tereyağın optimal kristalizasyonunu bozduğu için kullanılmamaktadır (Reuter, 1980; Mohr ve Hanne, 1981). Tereyağın çözünmesi sırasında blok halindeki donmuş ürün folye ve karton ambalaj içinde kaldığından bulaşmalar minimum düzeyde tutulmaktadır. 896 MHz gücündeki enerji üniteleri tereyağın çözünmesinde yeterli olmaktadır (Mohr ve Hanne, 1981).

Donmuş halde et ve balık gibi ürünlerin işlenmeden önce mikrodalga tunellerde çözünmesi de başarı ile uygulanmaktadır. Büyük parçalar halinde dondurulmuş et için 27 MHz'lik enerji üniteleri yeterli olduğu halde küçük et parçaları ve balık için 2450 MHz kullanılmaktadır (Mohr ve Hanne, 1981).

Ayrıca, dondurularak muhafaza edilmiş ve ısıya karşı çok hassas olan portakal suyu ürünlerin çözünmesinde de UHF (300 MHz-300 GHz) frekansında mikrodalgalarla yararlanır (Reuter, 1980).

Katı haldeki bazı ürünlerin eritilip işlenmesinde de mikrodalgalarla yararlanılmaktadır. UHF uygulaması ile parçalar halindeki peynir 2-3 dakika içinde fazla ısıtmanın neden olduğu olumsuzluklar gözlenmeden eritilebilmektedir. Uygulanacak sıcaklık peynir tiplerine göre değişmekte olup, 80-92°C arasındadır. Diğer taraftan peynir vakum altında mikrodalga uygulaması ile eritilirse ürün çok daha iyi korunmaktadır (Mohr ve Hanne, 1981).

Çikolata endüstrisinde bozuk çıkan üründen çikolata tabakasının ayrılarak geri kazanılması oldukça önemli olup bu işlem karamel-

leşme gibi bozulmalara neden olabilir. UHF uygulaması ile 18 mm. kalınlıktaki çikolata tabakası 1/2 dak. içinde eritilebilmektedir (Mohr ve Hanne, 1981).

Özellikle meyve ve sebze işleme endüstrisinde hammaddenin yapısında bulunan enzimlerin inaktif hale getirilmesi önem taşımaktadır. Ancak bu amaçla kullanılan yöntemlerin renk bozulması, dokunun yumuşaması, besin maddesi kayıpları gibi bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Bu konuda mikrodalga uygulaması çalışmaları henüz tamamlanmamış olmakla birlikte mikrodalgalarla haşlanan sebzelerde renk ve askorbik asit miktarındaki kayıpların geleneksel yöntemlere göre daha fazla olduğu bildirilmektedir. Ancak kuşkonmazda mikrodalgalarla haşlama sonucunda yapının iyi korunduğu daha sonra dondurma uygulaması halinde de hücrelerde parçalanmanın fazla olmadığı bildirilmektedir. Yeşil fasulye, bezelye gibi sebzelerde ise mikrodalgalarla haşlamanın organoleptik değerlerin düşmesine neden olmakla birlikte, daha sonra uygulanan dondurma yönteminin de kaliteyi etkilediği saptanmıştır (Drake ve ark., 1981).

Gıdaların ısı işlemlerle muhafazasında ısıtma süresini kısaltmak ve muntazam bir sıcaklık yükselişi sağlamak amacıyla mikrodalgalarla ısıtma kullanılmaktadır. Bu yöntemde ürün sıcak yüzeyle doğrudan temas etmediğinden yanma sözkonusu değildir. Sıvı veya yarı sıvı gıdalar örneğin; meyve ve sebze suları, meyve pulpları, süt ve yoğurt gibi gıdaların pastörizasyon ve sterilizasyonunda mikrodalgalarla yararlanılmaktadır. Bu gıdalar mikrodalga uygulamasından sonra aseptik olarak doldurulup paketlenir. Katı gıdalar ise ısı işleminden önce sentetik veya cam ambalajlara doldurulur. Hareketli bant yardımıyla tünel mikrodalga düzenlerinde taşınarak işlem tamamlanır. Yoğurt gibi bu gıdaların ısı işlemlerine HF (10 kHz - 300 MHz) ve UHF birlikte kullanılır. Marmelat gibi yalnızca cam kavanoz içindeki ürünün üst yüzeylerinin pastörize edilmesinde 2450 MHz frekanslı mikrodalgalarla yararlanılır. İşlem sırasında marmelatların yüzeyi ve 1.5 cm kalınlığındaki üst kısmı 80°C'ye kadar ısıtılır (Reuter, 1980).

Gıdalar mikrodalgalarla sterilize edilebilmektedir. Ancak bu işlem pastörizasyona göre

daha zordur. Isıl işlem sırasında sıcaklık 120, 125°C olmalıdır, 2-2,3 bar'lık bir su buharı basıncı oluşur. Ancak metal ambalaj kullanılmadığından basınca dayanıklı sentetik ambalaj kullanılmalıdır (Reuter, 1980).

Dilimlenmiş ekmeğin küflenmeye karşı korunması amacıyla da mikrodalgalarla yararlanır. Dilimlenmiş ve ambalajlanmış ekmeğin mikrodalga tunelinde 90°C'ye kadar ısıtılır, böylece hiçbir kimyasal kullanılmadan uzun süre küflenmeden muhafaza edilebilir (Reuter, 1980).

Mikrodalgalarla ayrıca hamurun kabartılması, bisküvi ve kurabiye pişirilmesi, fındık, benzeri gıdaların kavrulmasında, normal hava basıncında ve vakum altında kurutma gibi işlemlerde de yararlanılmaktadır (Reuter, 1980).

Dielektrik ısıtma yönteminden meyve suyu endüstrisinde mayşeden meyve suyu çıkarılmasında da yararlanılmaktadır (Elektroplazmolis). Dielektrik ısıtma ile hücre proteinleri denatüre edilerek, hücrenin permeabilitesi artırılır ve meyve suyu çıkışı kolaylaşır (Schobinger, 1987).

Mikrodalgaların Gıdalarda Mikroorganizmalara Etkileri :

Mikrodalgaların mikroorganizmalar üzerindeki etkilerini saptamak amacıyla çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu konudaki çalışmalar daha çok 1950'den sonra yapılmaya başlamış ve son yıllarda da ağırlık kazanmıştır. Et, yumurta, süt, hububat, meyve ve sebze ürünleri gibi çeşitli gıda maddelerindeki mikroorganizmalara mikrodalgalarla ısıtmanın etkileri genellikle konvensiyonel ısıtma yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Bu konudaki araştırmalarda çeşitli gıdalarda *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, *Lactobacillus plantarium*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Proteus sp.*, *Pseudomonas putrefaciens*, *Salmonella senftenberg*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella typhi*, *Serratia marcescens*, *Streptococcus faecalis*, *Streptococcus faecium*, *Staphylococcus aureus* gibi bakteriler ile *Aspergillus niger*, *Penicillium sp.*, *Rhizopus nigricans* gibi küfler üzerinde incelemeler yapılmıştır.

Et ve et ürünlerin üzerinde yapılan çalışmalarda Causey ve Fenton (1951) köftelerde mikrodalga ile konvensiyonel fırınlarla ısıtmanın ardından bakteri sayısının düştüğünü ve iki yöntem arasında bu bakımdan önemli bir farkın olmadığını bildirmişlerdir.

Dessel ve ark., (1960) ise sığır kıymasından yapılmış hamburgerlerde elektronik ısıtmanın **S. typhi**'nin öldürülmesinde konvensiyonel yöntemlere göre daha etkin olduğunu bildirmişlerdir.

White ve Hobbs (1963) **B. subtilis**, **S. senftenberg**, **S. aureus** ve **C. perfringens** ile aşılansın etin mikrodalga ile ısıtılmasında, bu organizmaların sayılarının önemli ölçüde azaldığını saptamışlardır.

Baldwin ve ark., (1971) balık ürünlerinde mikrodalga (2450 MHz) fırınlarında pişirmenin **S. typhimurium** üzerindeki etkisini incelemiştir. Araştırmacılar iç sıcaklığın 55°C'ye ulaşması durumunda **S. typhimurium**'un giderilebileceğini saptamışlardır. Ancak, pişirme süresinin kısa tutulması ortamda gıda zehirlenmesine yol açabilecek sayıda hücrenin canlı kalmasına yol açabilmektedir.

Madson ve ark., (1971) kızarmış tavuk ve diğer bazı et ürünlerinde mikrodalga ile pişirilmesinde toplam mikroorganizma, **E. coli** ve **S. faecalis** yüklerini incelemiştir. Araştırmacılar mikroorganizma sayılarının azaltılmasında gıdanın tipi ve büyüklüğünün mikrodalga ile ısıtma süresinin belirlenmesinde önemli faktörler olduğunu bildirmişlerdir.

Ockerman ve ark., (1976) **B. subtilis**, **L. mesenteroides** ve **P. putrefaciens** ile aşılansın domuz etinin konvensiyonel yöntem ve mikrodalga ile ısıtılmasında, iç sıcaklığın 60, 68, 77 ve 86°C'ye ulaşması halinde bu organizmaların öldürülebildiğini saptamışlardır. Araştırmacılar işleme en dayanıklı organizmanın **B. subtilis** olduğunu, bunu sırası ile **L. mesenteroides** ve **P. putrefaciens**'in takip ettiğini bildirmişlerdir. Yukarıda ulaşıldığı bildirilen iç sıcaklıklarda mikrodalga ısıtmasının geleneksel yöntemlere göre test organizmaları üzerinde daha az etkin olduğu belirlenmiştir.

Crespo ve Ark., (1977) **P. putrefaciens**, **L. mesenteroides** ve **S. faecalis** aşılansın et örneklerini konvensiyonel ve mikrodalgalarla pişirerek yaptıkları çalışmada; **P. putrefaciens**'in

her iki pişirme yöntemine de en duyarlı organizma olduğunu saptamışlardır. Araştırmacılar **S. faecalis**'in konvensiyonel pişirme yöntemine, **L. mesenteroides**'in de mikrodalga ile pişirmeye en dirençli organizmalar olduğunu bildirmişlerdir.

Dessel ve ark., (1960) bazı sütlü tatlılarda **S. marcescens** ve **S. aureus**'un sayılarının azaltılmasında mikrodalga ile pişirmenin etkin bir yöntem olduğunu ancak aynı ürün **B. cereus**'a konvensiyonel ısıtmanın daha etkili olduğunu saptamışlardır.

Delaney ve ark., (1968) mikrodalgaların ısıtıcı ve diğer etkilerini incelemek amacıyla **B. strearothermophilus** ve **A. niger** ile aşılansın sütlü tatlı ve rekonstitüye sütü mikrodalgalarla (2450 MHz) ve konvensiyonel yöntemlerle ısıtmışlardır. Araştırmacılar her iki uygulama sonucunda ortamlarda canlı kalan mikroorganizma sayılarının farklı olmadığını bildirmişlerdir.

Olsen (1965) ekmek üzerindeki küf sporlarının giderilmesi amacı ile mikrodalgalarla yararlanmıştır. Araştırmacı bu işlemin **A. niger**, **R. nigricans** ve bazı *Penicillium* türlerinin gelişimini, ortama % 1 oranında katılan sodyum propiyonata göre daha fazla engellediğini bildirmiştir.

Robe (1966), 27, 12 MHz kullanarak, maya ile aşılansın bira ve şarabın sterilizasyonunu yapmıştır. İşlem sırasında ortam sıcaklığı 46.2 - 48.8°C arasında değişmiştir.

Culkin ve Fung (1975) Mikrodalga ile pişirilmiş çorbalarındaki **E. coli** ve **Salmonella typhimurium**'un öldürülmesinin, ışınlamadan sonra ortamda ulaşılan sıcaklıkla doğrudan ilişkili olmadığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar domates çorbası, sebze çorbası ve sığır eti suyunun 915 MHz'de ısıtmışlardır. İşlemin belli sürelerde uygulanmasında çorbaların orta bölgelerindeki sıcaklığın en yüksek, tabanda orta derecede ve üst kısımda ise en düşük olduğu saptanmıştır. Buna rağmen çorbaların üst kısmındaki mikroorganizmaların, merkezdeki ve tabandakilere oranla daha çabuk öldükleri belirlenmiştir. Bu durumda araştırmacılar mikrodalga uygulamasında mikroorganizmaların öldürülmesinde tek etmenin ortamda ulaşılan sıcaklık olamayacağını bildirmişlerdir.

Yapılan araştırmalardan aşağıdaki bulgulara ulaşılmaktadır (Fung ve Cunningham, 1969):

- a—Gıdanın mikrodalga ile ısıtılması konvensiyonel ısıtmaya oranla gıdanın yapısı ve bileşimine daha çok bağımlıdır.
- b—Bazı gıdaların pişirilmesi veya ısıtılması için gerekli mikrodalga işlem süresi, ortamda fazla sayıda mikroorganizma bulunması halinde, mikroorganizmaların öldürülmesi için yeterli olmayabilmektedir.
- c—Mikrodalgaları konvensiyonel yöntemlerle kombine bir şekilde kullanmak gıdanın ısıtılması ve mikroorganizma yükünün daha etkin bir şekilde azaltılmasını sağlamaktadır.
- d—Mikrodalgaların meydana getirdiği ısı, gıda maddesinin tipi büyüklüğü, mikrodalga uygulama süresi ile dikkatli bir şekilde korele edildiğinde, ortamdaki doğal floranın ve kontaminantların giderilmesi için yeterli olmaktadır.
- e—Mikrodalgalar farklı mikroorganizma

türleri üzerinde farklı öldürücü etki meydana getirmektedir.

- f—Mikrodalgaların termal ve termal olmayan etkileri konusundaki bilgiler henüz tam bir açıklık kazanmamıştır. Bazı araştırmacılar mikrodalgaların mikroorganizmalar üzerindeki öldürücü etkisinin işlem sırasında oluşan ısıdan kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir. Oysaki bazı araştırmacılar öldürücü etkinin ısı dışındaki etmenlere de bağlanabileceğini bildirmektedirler.

Ancak bu çalışmalarda kullanılan mikrodalgaların frekansı, test edilen mikroorganizmalar, mikroorganizmaların süspansiyon ortamları farklı olduğu için bulguların tam bir karşılaştırılması yapılamamaktadır.

Bazı araştırmacılar da mikrodalgaların mikroorganizmaların çevresindeki mikrobölgeyi elimizdeki ısı ölçerlerin duyarlı bir şekilde belirleyemedikleri ve makrobölgeye oranla daha yüksek bir sıcaklığa çıkarak hücrelerin ölümüne yol açabileceğini de düşünmektedirler.

KAYNAKLAR

- Baldwin, R.E., M.L. Fields, W.C. Poon ve B. Borschgen, 1971. Destruction of salmonellae by microwave heating of fish with implications for fish products. *J. Milk Food Technol.* 34: 467-470.
- Causey, K., ve F. Fenton, 1951. Effect of reheating on palatability, nutritive value and bacterial counts of frozen cooked foods. 2. Meats. *J. Am Dietet. Assoc.* 27: 491-495.
- Crespo, L.F., H.W. Ockerman ve K.M. Irvin, 1977. Effect of conventional and microwave heating on *Pseudomonas putrificiens*, *Streptococcus faecalis* and *Lactobacillus plantarum* in meat tissue. *J. Food Prot.* 40: 588-591.
- Culkin, K.A. ve D.Y.C. Fung, 1975. Destruction of *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium* in microwave cooked soups. *J. Milk Food Technol.* 38: 8-15.
- Curnutte, B. 1980. Principles of microwave radiation. *J. Food Protect.*, 43, 618-632.
- Delaney, E.K., H.J. Van Zante ve P.A. Hertman, 1968. Alınmıştır.
- Chipley, J.R. 1980. Effects of Microwave Irradiation on Microorganisms. *Ap. Applied Mic.* 26: 129-145.
- Dessel, M.M., E.M. Bowersox ve W.S. Jeter, 1960. Bacteria in electronically cooked foods. *J. Am. Dietet. Assoc.* 37: 230-233.
- Drake, S.R., S.E. Spayd and J.B. Thompson, 1981. The influence of blanch and freezing methods on the quality of selected vegetables. *Journal of Food Quality* 4, 271-278.
- Fung, D.Y.C. v F.E. Cunningham, 1980. Effect of Microwaves on microorganisms in foods. *J. Food Protect.* 43: 641-650.
- Madson, R.A., J.T. Cordaro., R.L. Koller ve G.E. Voelker, 1971. Effect of microwaves on bacteria in frozen foods. Government Reports Topical Announcement. U.S. Dept. of Commerce Publication, May 25.1971. p. 52-1.
- Mohr, E. und H. Hanne, 1981. Möglichkeiten der Anwendung von Ultrahochfrequenz-Verfahren auf dem Lebensmittelsektor, Sonderdruck aus ZFL 32, 5.
- Ockerman, H.W., V.R. Cahill, R.F. Plimpton ve N.A. Porreft, 1976. Cooking inoculated pork in microwave and conventional ovens. *J. Milk and Food Technol.* 39: 771-773.
- Olsen, C.M. 1965. Microwaves inhibit bread molds. *Food Eng.* 37: 51-53.

Reuter, H. 1980. Das dielektrische Erwärmen von Lebensmitteln. Teil 2, Neuere Anwendungen in der industriellen Verarbeitung, JFL 31/1, 7-12.

Robe, K. 1966. Improved flavor of pasteurized products. Food Process Market, 27: 84-86.

Schobinger, U. 1987. Handbuch der Lebensmit-

teltechnologie, Frucht- und Gemüsesäfte, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

White, A., ve B.C. Hobbs., 1963. Report on effect of cooking by radiofrequency waves on bacteria in food. Great Britain Ministry Health Public Lab. Ser. Monthly Bull, 22: 227 - 236.



**GIDA
TEKNOLOJİSİ
DERNEĞİ**

Derneğimizde eski yıllara ait bazı dergiler mevcuttur.

Üyelerimizin eksik dergilerini bildirmelerini rica ederiz.