

Mikrodalgalarla Isıtmanın Gıda Sanyiiinde Kullanımı, Sağladığı Üstünlükler ve Karşılaşılan Sorunlar

Emrullah SAęUN¹

Kamil EKİCİ¹

ÖZET

Gıda endüstrisinde mikrodalgaların kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Gıda maddelerinin konvansiyonel ısıtılmasında ısı, gıda maddesinin dışından içine doğru kondüksiyon ve konveksiyonla iletilir. Mikrodalgalarla ısıtmada ise ısı, yüksek elektromanyetik dalgaların dipol moleküllerde meydana getirdiği moleküler sürtünme sonucu gıdanın içinde oluşur. Mikrodalgalar gıda endüstrisinde pişirme, buz çözme, temperleme, pastörizasyon, sterilizasyon, kurutma ve enzim inaktivasyonu gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Mikrodalgaların gıda sanayiinde kullanımı bir çok avantajlar sağladığı gibi, bazı dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlar, yeni tekniklerin geliştirilmesi ve kombine fırınların kullanımıyla ortadan kaldırılabilir. Böylece bu pratik ve ekonomik ısı kaynağından daha fazla faydalanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Mikrodalgalar, Gıda sanayii, Avantajlar, Dezavantajlar.

SUMMARY

Use of Microwave Heating in Food Industry, Its Advantages And Disadvantages

Use of microwaves in food industry has been rapidly increasing. When foods are conventionally heated, the heat is transferred from outside to inside by means of conduction or convection. In microwave heating, the heat occurs within the food due to molecular friction which is created by high-frequency electromagnetic waves in dipol molecules. Microwaves are used for different aims such as cooking, thawing, tempering, pasteurization, sterilization, dehydrating and enzyme inactivation, in food industry. Use of microwaves in food industry has both advantages and disadvantages. Disadvantages may be accomplished by developing of new techniques and use of combined ovens. Therefore, this practical and economical heat source can be made more profitable.

Key Words: Microwaves, Food industry, Advantages, Disadvantages.

GİRİŞ

Mikrodalgalar gıda endüstrisinde değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Bazı uygulamalarda amaç yalnızca ürünün yapısını bozmadan sıcaklığını artırmak (donmuş ürünlerin çözünmesi, hazır yemeklerin ısıtılması vb.) olduğu halde, bazen gıdaların kurutulması veya mikroorganizmaların öldürülmesi amacıyla da mikrodalgalarla faydalanılmaktadır (1). Mikrodalga fırınlar, diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de gün geçtikçe yaygınlaşmakta ve modern ev aletleri arasındaki yerini almaktadır. Bu gün piyasada bir çok firma tarafından üretilen, değişik model ve güçteki mikrodalga fırınlar bulunmaktadır (2).

Evlerde ve iş yerlerinde kullanılacak ilk mikrodalga fırınlar 1950'li yıllarda imal edilmiş, sanayide ise aynı yıllarda mikrodalgalarla patates cipsi son kurutmasında yararlanılmıştır. 1960'lı ve 70'li yıllarda bu alanda büyük ölçüde gelişmeler olmuş ve çeşitli ülkelerde ev ve iş yerlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (3).

Mikrodalgalarla ısıtma gıda alanında genel olarak pişirme, buz çözme, temperleme, pastörizasyon, sterilizasyon ve kurutma amacıyla kullanılmaktadır (4). Mikrodalgalarla ısıtma geleneksel ısıtma ile kıyaslandığında bazı avantajlar ve dezavantajlarının olduğu görülmektedir (5).

¹ Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı, VAN.

Mikrodalgaların Özellikleri

Mikrodalgalar ışık dalgaları gibi düz çizgi olarak hareket eder, seyri boyunca kırılır, yansır ve polarize olurlar. Işık dalgalarından farkı, radyasyonun dalga boyudur. Dalga boyu, dalganın frekansı olarak da adlandırılabilir ve birimi "Hertz" (Hz) dir (5,6). Mikrodalgalar 10^8 ile 10^{10} Hz arasında yer alırlar ve elektronik devrelerde elektronların hızlandırılması ile elde edilirler (7). Bir maddeden geçerken enerjileri ısı enerjisine dönüşür ve ilgili madde ısınır (6).

Gıda sanayiinde kullanılan mikrodalga üretici, magnetron adı verilen elektronik bir düzeneştir. Magnetron çevresinde anot, merkezinde ise katot bulunan bir çeşit vakumlu elektron tüpüdür. Katot ve anot arasındaki vakumlu bölgede pozitif ve negatif yük merkezlerinin saniyede milyonlarca defa değişimiyle elektrik enerjisinden yüksek frekanslı radyant (ışınım) enerji üreten bir elektriksel alan meydana getirilir. Bu elektriksel alanda oluşturulan mikrodalgalar kontrol edilebilir ve gerektiğinde de magnetron anteninden kontrollü olarak istenilen yönlere yansıtılabilirler (5, 6).

Gıda sanayiinde kullanılan mikrodalga ışınlar, ev tipi fırınlarda 2450 MHz, sanayide 915 MHz frekanslı ışınlardır (5). Mikrodalgaların dalga boyu (frekans) ile gıdaların etki kalınlığı (ısınma derinliği) arasında bir ters orantı vardır. 2450 MHz frekansındaki dalgalar 10 cm derinliğe kadar işleyebilirken, 915 MHz frekansındaki dalgalar 30 cm derinliğe kadar işleyebilmektedir (8).

Mikrodalgalar gıda maddeleri tarafından absorbe edildiği zaman elektromanyetik enerji, ısı enerjisine dönüşmek suretiyle azalır. Bu özelliğe "kayıp faktörü" denir. Gıda maddesinin elektrik enerjisini depolama özelliği de "dielektrik sabit" ile ifade edilir. Mikrodalga uygulamasında etki kalınlığı, kullanılan ışının dalga boyu ve maddenin dielektrik özelliği ile yakından ilgilidir (8).

Mikrodalgalarla Isıtma

Geleneksel pişirme fırınlarında ısı gıdaya konveksiyon (ısıнын kaynaktan gıdaya hava veya sıvılarla transferi) veya kondüksiyon (ısıнын moleküler transferi) ile iletilir (5). Uygulanan sıcaklık gıdanın dışından içerisine doğru ilerler. Mikrodalga fırınlarla pişirme işleminde ise elektromanyetik dalgalar vasıtasıyla ısı gıda maddesinin içinde meydana gelir ve hızlı bir şekilde pişmeyi oluşturur. Gıdanın yüzeyi ise gıdanın merkezinden gelen ısıнын kondüksiyonu ile ısınır (5,9).

Mikrodalgaları absorbe eden gıda maddelerinde ısınma moleküler sürtünme sonucu

oluşur. Magnetron ile üretilen mikrodalga ısının pozitif ve negatif merkezlerinin yön değiştirmelerine paralel olarak, gıda maddesinde bulunan polar moleküller yön değiştirirler. Saniyede milyonlarca kez oluşan bu hareket sonucu moleküler sürtünme meydana gelir ve bu sürtünmeden ısı açığa çıkarak madde ısınır. Mikrodalgaların etki edebildiği kalınlıktaki tüm moleküllerin aynı anda hareket etmesi, ısınmanın ani olmasını sağlar (5,10). Gıdaların bileşiminde en fazla bulunan polar madde su olduğundan, yukarıda belirtilen etkileşimler su molekülü başta olmak üzere diğer dipolar yapıdaki moleküllerde de oluşur (10).

Polar olmayan maddelerde mikrodalgaların tutulması (ısınma) ise aşağıdaki şekilde olmaktadır:

Bu maddelerde elektrik yükleri simetrik olarak dağılmıştır. Böyle bir maddeye elektrik alanı uygulandığında pozitif yükler alan yönünde bir kuvvetin, negatif yüklerde alana ters yönde bir kuvvetin etkisinde kalırlar. Bu durum yüklerin orijinal simetrik konumlarından yer değiştirmelerine yol açar ve molekül polarize olur. Bu dolaylı, polarizasyon elektromanyetik dalganın molekülle etkileşmesine yol açar (1).

Mikrodalga ile ısınma mikrodalgaların gücü, gıda maddesinin özgül ısısı, şekli, yüzey alanı, sıcaklığı, bileşimi ve boyutlarına bağlı olarak değişir (5,10).

Mikrodalgaların besin teknolojisi yönünden söz konusu olan etkileşimi polarize olabilen su, yağ, veya proteinlerin dipolleri ile olan reaksiyonlarıdır. Herşeyden önemlisi, mikrodalgalar besin maddelerinin sadece belli bir derinliğine kadar ulaşabilirler ve bundan sonra artık ısının yayılması söz konusudur (2).

Elektromanyetik dalgalar homojen emici bir ortamdan geçerken enerji dalgadan alınır. Mikrodalga enerjinin 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 ısıya dönüşmesi 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 denir (1).

Mikrodalgaların Gıda Sanayiindeki Uygulama Alanları

Mikrodalgalar gıda alanında, pişirme, buz çözme, temperleme, kurutma, pastörizasyon, sterilizasyon, enzim inaktivasyonu, pişmiş yemeklerin yeniden ısıtılması gibi alanlarda kullanılmaktadır (5,11).

Pişirme: Mikrodalgalarla pişirme işlemi çeşitli gıdalarda denenmiş; kırmızı et, kanatlı etleri, balık etleri, unlu mamüller ve sebzelerin pişirilmesi gibi alanlarda uygulanmıştır (5).

Beyaz etlerin mikrodalgalarla pişirilmesi, geleneksel metotlara göre, kırmızı etlerden daha başarılı sonuçlar vermiştir. Beyaz ette mineral (fosfor, potasyum), aminoasit ve vitamin kayıplarının geleneksel yöntemlere göre daha az olduğu bildirilmiştir (8).

Tavuk etlerinin ön pişirilmesinde mikrodalga pişirme yöntemi doyurulmuş buhar uygulamasıyla birlikte kullanılmakta ve böylece daha yumuşak bir ürün elde edilmektedir (10).

Mikrodalga yöntemi ile pişirilen etlerde önemli derecede daha fazla su kaybı olduğu için bu yöntemle pişirilen etler daha kuru bir yapı gösterirler ve tüketicinin tercihinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olurlar. Bu sakıncayı ortadan kaldırmak için nemlendirilmiş mikrodalga fırında pişirme denenmiş ve geleneksel yöntemlerle pişirme ile nem kaybı bakımından bir farklılık olmadığı bildirilmiştir (9).

Mikrodalga pişirme ile unlu mamüllerde (ekmek, kek, pasta, bisküvi vb.) alışılmış ve istenen yüzey gevrekliği ve kızarması sağlanamadığından, mikrodalgalar genellikle geleneksel metotlarla birlikte kullanılmaktadır. Bu işlem için hamur önce mikrodalga ile pişirilmekte, daha sonra yüzey gevrekliği ve kızarması için 200-300 °C'lik fırınlarda işlem tamamlanmaktadır. Diğer taraftan kabuk oluşumunun fazla önemli olmadığı koyu renkli unlu mamüllerde (kepekli ekmek, çavdar ekmeği gibi) mikrodalga uygulamasının daha üstün olduğu bildirilmiştir (8,12).

Mikrodalga pişirme işleminin bitkisel ürünlerde hayvansal ürünlere göre daha başarılı sonuçlar verdiği, özellikle yeşil sebzelerin renk ve besin değerinin daha iyi korunduğu ve duyu kalite açısından mikrodalga pişirmeye daha uygun olduğu bildirilmiştir (8).

Etler düşük ısıda uzun zaman pişirildiklerinde yumuşak bir tekstür kazanırlar. Mikrodalga ile pişirmede ise pişirme süresi çok kısa ve pişirme ısısı çok yüksek olduğundan etteki kollajen denatürasyonu tam sağlanamadığı için et sert bir tekstür kazanmaktadır (8,13). Etteki bu tekstürel

bozukluk mikrodalga pişirme yönünden bir dezavantajdır. Bir başka dezavantaj da, pişme esnasında et ve ekmek gibi bazı gıdalara kendilerine özgü lezzeti veren, maillard reaksiyonunun oluşmamasından dolayı bu gıdaların tüketiciler tarafından beğenilmemesidir. Mikrodalga pişirme yönteminde ısı, gıdanın merkezinde oluşmakta ve gıdanın yüzeyine kondüksiyonla transfer edilmektedir. Bununla birlikte pişirme süresinin de kısa olması nedeniyle gıdanın yüzeyinde maillard reaksiyonunun meydana gelebilmesi için gereken ısı yükselmesi meydana gelmemektedir (12,14).

Mikrodalgalarla pişirilen gıdalarda dezavantaj olarak ortaya çıkan lezzet ve tekstürel bozukluğu iyileştirmek ve tüketicinin arzu ettiği lezzeti sağlamak amacıyla mikrodalgalarla geleneksel ısı enerjisinin birlikte kullanıldığı kombine fırınlar geliştirilmiştir. Kombine fırınlarda gıdalar hem kısa sürede pişirilmekte hem de arzulanan lezzet ve gevrekliğe sahip olmaları sağlanmaktadır (12,14).

Temperleme ve Buz Çözme: Temperleme "donmuş gıdalarda, gıdanın sıcaklığını suyun donma derecesinin biraz altına kadar ısıtmaktır" şeklinde tanımlanmıştır. Temperleme mikrodalga uygulamasının en başarılı olduğu alanlardan birisidir (5,8).

Besin maddelerinin uzun süre saklanması dondurma işlemine sıklıkla başvurulur. Donmuş hammadde kullanılan bazı alanlarda, hammaddenin işlenmeden önce çözündürülmesi gerekmektedir (3).

Geleneksel çözündürme yöntemi ile çözündürülen etlerde, çözündürme süresinin uzun olması nedeniyle bakteriyel üreme, özellikle küçük parçalarda aşırı su kaybı, dolayısı ile fire ve yüzeysel oksidasyon nedeniyle renk değişimi gibi sakıncalar ortaya çıkmaktadır (1,15).

Ürünlerin geleneksel yöntemlerle çözündürülmesi parçaların büyüklüğüne göre 3-4 saatten 2-3 güne kadar uzamaktadır. Aynı işlem sürekli çalışan bir mikrodalga tüneline 10-30 dakikada tamamlanabilmektedir. Donmuş ürünlerin mikrodalgalarla çözündürülmesinde parça büyüklüğü önem taşımamakta; ancak büyük parçalar halinde dondurulmuş ürünün çözünmesi sırasında yüzeyde oluşacak fazla ısınmayı önlemek için, çözünme sırasında tünel içerisinde sıcaklığı -30°C olan soğuk hava sirküle edilerek yüzey soğutulmaktadır (1).

Mikrodalga ile çözündürme yönteminde 915 MHz frekansındaki mikrodalgalar kullanılmaktadır. Bu frekanstaki mikrodalgalar gıdanın 20-30 cm derinliğine kadar işlemektedir (3,8).

Mikrodalgalarla çözündürülen gıda maddelerinde bakteriyel üremenin olmaması, firenin çok az

olması, etlerde asitlik derecesinin değişmemesi, esnekliklerin korunması, daha az ekipman ve iş gücüne ihtiyaç duyulması gibi avantajlar söz konusudur (15).

Etlerin ısısı mikrodalgalarla 0°C'nin üzerine çıkarılmak istendiğinde (buzun tamamen çözündürülmesi) donmuş ve çözünmüş kısımların dielektrik özelliklerindeki büyük farklılıklar yüzünden çok sıcak veya henüz ısınmamış bölgeler oluşmaktadır. Buzun dielektrik kayıp faktörü düşük olduğundan mikrodalga ışınlarına karşı geçirgenir ve zor ısınır. Öte yandan çözünen kısımlardaki su ise buza göre çok yüksek dielektrik kayıp faktörüne sahiptir ve çabuk ısınır. Isıtma süresi kontrol edilmezse, çözünen kısımların pişme sıcaklığına kadar ısınması sonucu benekler halinde pişme tablosu ortaya çıkarken, buzlu bölgeler daha yeni ısınmaya başlar. Bunu önlemek için gıdaya çözünme esnasında soğuk hava uygulaması yapılır. En iyisi temperlemedir (5,9,16).

Pastörizasyon ve Sterilizasyon: Mikrodalgalarla pastörizasyon konusunda oldukça fazla sayıda çalışma yapılmıştır. Mikrodalgalarla pastörizasyon ve sterilizasyon; et ve et ürünleri, kanatlı ürünleri, balık ve deniz ürünleri, süt ve süt ürünleri, konserve, meyve, meyve suları ve reçel gibi meyve ürünlerinde ve yarı hazır gıdalarda denenmiştir. Bu ürünlerde yapısal, duysal ve mikrobiyolojik kalitenin arttığı, raf ömrünün uzatılabildiği ve en önemli mikrodalgalarla pastörizasyonun çok ekonomik ve hızlı olduğu bildirilmiştir (5,15,17).

Mikrodalga yöntemiyle pastörizasyon ve sterilizasyonda mikroorganizmaların inaktivasyonu geleneksel metodlarda olduğu gibi sıcaklık ve zaman ilişkisi içinde proteinlerin ve nükleik asitlerin denatürasyonu sonucu oluşur (10,17).

Besin maddelerindeki mikroorganizmaların mikrodalgalarla inaktivasyonu üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır (18,19,20,21).

Mikrodalga pastörizasyon yöntemi ile pastörize edilen sütlerin mikrobiyolojik ve kimyasal yönden uygun olduğunu belirten çalışmaların yanında (19,21); patojen mikroorganizmaların inokule edildiği sütlerin mikrodalga ile pastörizasyonunda güvenilir sonuçlar elde edilemediğini belirten çalışmalar da vardır (21,22).

Yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkan genel kanaat şudur ki; mikrodalgalarla ısıtma gıda maddelerindeki mikroorganizmaları önemli düzeylerde azaltmakta, ancak pek yeterli olmamaktadır (18,20,21). Özellikle günlük kullanımda (ev, restoran vb.) mikroorganizma inaktivasyonunun kontrol imkanı olmadığından, işlem

süresinin kısalığı problemlere yol açabilmektedir. Ürün pastörizasyon ve sterilizasyon sıcaklığına gelmiş hatta geçmiş olsa bile süre kısa olduğundan mikroorganizmalar canlı kalabilmektedir. Bu yüzden mikrodalgaların geleneksel yöntemlere karşı kayda değer bir üstünlüğünden bahsetmek mümkün değildir (8).

Eberhard ve arkadaşları (22) yaptıkları bir çalışmada, süt ve kaymağı ev tipi mikrodalga fırında pastörize etmişler; pastörizasyon sonucunda mikrobiyolojik yönden uygun nitelikte süt elde etmelerine rağmen, pastörizasyon esnasında meydana gelen kaynamanın sütte nefrotoksik, nörotoksik ve hepatotoksik D-aminoasitlerin oluşumuna neden olacağını, bu durumun özellikle bebek sütleri açısından dikkate alınması gerektiğini bildirmişlerdir. Kaymağın ise yağ tabakasında önemli derecede kayıp meydana geldiğinden mikrodalga ile pastörize edilmemesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Mikrodalga ile sterilizasyon işlemi özellikle paketlenmiş gıdalarda uygulanmaktadır. Bu yöntemle yoğurt, ekmek ve makarna gibi gıdalar, mikrodalgaları geçiren paketleme materyalleri ile paketlenerek sterilize edilmektedir (23,24).

Mikrodalgalarla etlerdeki trişinlerin inaktivasyonu üzerine yapılan çalışmalarda, yöntem pek başarılı olmamış, sonuçta ette canlı larvaların kaldığı bildirilmiştir (25,26).

Mikrodalgalardan dilimlenmiş ekmeğin küflenmeye karşı korunması amacıyla da yararlanılmaktadır (1).

Kurutma: Kurutma işlemi sanayide en fazla süre ve enerji gerektiren işlemlerden birisidir (8). Mikrodalga kurutma işlemi geleneksel kurutmada olduğu gibi gıdanın iç kısmında ve yüzeyindeki basınç farklılığından dolayı suyun buharlaşması prensibine dayanmaktadır (27). Geleneksel kurutma yöntemlerinde karşılaşılan en büyük sorun yüzey sertleşmesi sonucu ısı ve kütle geçişinin yavaşlamasıdır. Mikrodalga ısıtmada sıcaklık içeriden dışarıya doğru azaldığından içerideki su daha kolay uzaklaştırılır (15,27).

Mikrodalga ile kurutma yaygın olarak makarna, havuç, bezelye, soğan, tahıl ürünleri ve mantarların kurutulmasında ve meyve özütü üretiminde uygulanmaktadır (8).

Bir kısım avantajlarına rağmen, farklı patates türlerinin kurutma sürelerinde ve final su içeriklerinde umulmadık farklılıklardan dolayı mikrodalga yöntemi cips sanayiinde kullanılmamaktadır (10).

başarıyla kullanılmaktadır. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında bu yöntemin, üründe daha iyi bir renk elde edilmesi, total canlı miktarının ve enfestasyon riskinin azaltılması, zaman ve yer tasarrufu sağlama-sı gibi avantajları vardır (15).

Vakum uygulayarak mikrodalgalarla kurutma yöntemi, ısıya duyarlı gıdaların kurutulmasında, et ekstraktı, instant meyve ve sebze tozu, protein preparatı ve baharat üretiminde kullanılmaktadır (27).

Sonuç olarak mikrodalga ile kurutma işlemi, geleneksel kurutma yöntemlerinden ürün kalitesi ve maliyet açısından üstündür. Mikrodalga ile kurutma işlemi, kuruma hızının yavaşladığı son kurutma aşamasında daha da etkilidir. Bu nedenle geleneksel yöntemlerle birlikte kullanılması, kurutma süresini kısaltır ve enerji tasarrufu sağlar (5,27).

Enzim İnaktivasyonu: Sebze ve meyvelerin bozulmasında önemli rolleri olan enzimlerin (pektin metilesteraz gibi) inaktive edilmesi için geleneksel yöntemlerin yanında mikrodalgalar da kullanılmaktadır. Bu amaçla 2450 MHz frekansındaki mikrodalgalarla meyve suları 60-80°C ısıya ulaştırılır. Bu yöntemle enzim inaktivasyonu işlemine tabi tutulan meyve sularında lezzet ve kalite bozukluğuna rastlanmamaktadır (15). Bazı sebzelerde bulunan lipoksigenaz, polifenoloksidaz ve tripsin inhibitörü gibi enzimler mikrodalgalarla inaktif hale getirilebilir (8).

Ayrıca mikrodalga yöntemiyle enzim inaktivasyonu esnasında C vitamini kaybı daha az olmaktadır (15).

Mikrodalga pastörizasyon yöntemi ile pastörize edilen sütlerde fosfataz testi negatif bulunmuştur. Aynı sütler duyuşal nitelikler yönünden daha çok beğenilmiştir (28).

Mikrodalga yöntemi geleneksel yöntemlerden (buhar ve sıcak su) daha pahalı olduğu için bu yöntemle enzim inaktivasyonu yaygın olarak kullanılmamaktadır (10).

Mikrodalgaların İnsan Sağlığına Etkileri

İnsan ve hayvanlarda yüksek güç yoğunluğundaki mikrodalgaların fazla miktarda su içeren vücut doku ve organlarında ısı enerjisine dönüşerek fizyolojik bozukluklara; düşük yoğunluktaki mikrodalgaların ise ısı oluşturmaksızın nöral ve immunolojik bozukluklara sebep olduğu bildirilmektedir (29,30).

Organizmada herhangi bir ağrı ve rahatsızlık duygusu uyandırmadan geçen mikrodalgalarla yeterli bir şiddet ve süre ile karşılaşılan organizma ısır ve

termal etkiler ortaya çıkar. Bu etkilerden ilki bölgesel hipertermi olup; reverzibl, kısmen revesbil ya da irreversibl değişikliklere yol açabilir. Özellikle kulaklar, gözler ve testisler gibi kan dolaşımının daha yavaş olduğu organlarda ısı çabuk dağıtılmadığından gözlerde katarakt oluşumu, kulaklarda hassaslaşma sonucu çınlama, tınlama seslerinin duyulması ve testislerde spermlerin sterilizasyonu ile sonuçlanabilir (29).

Yüksek dozlarda ve sürekli mikrodalga uygulanan deney hayvanları ile yapılan çalışmalar mikrodalgaların mutajenik, teratojenik ve kanserojenik etkilerinin bulunduğunu; davranış bozukluklarına, hormonal dengesizliklere hemopoetik sistemde değişikliklere ve kromozomal anomalilere yol açtığı göstermiştir. Ancak yapılan araştırmalar evler ve iş yerlerinde kullanılan mikrodalga fırınlarından yayılan mikrodalga radyasyonu dozunun, hiçbir zararlı etkisinin olmadığını ve rahatsızlığa yol açmadığını kesin bir şekilde göstermiştir. Mikrodalgaların kansere sebep olduğu da ispatlanamamıştır (2,29).

Mikrodalgaların insan sağlığı açısından zararlı olabilecek etkilerinden korunmak için, gelişmiş ülkelerde mikrodalga fırınlardan yayılan ışınlar denetlenmekte ve emniyet standartları belirlenmektedir. A.B.D.'de, mikrodalga fırınlardan dalga sızmasını önlemek amacıyla fırın duvarlarının mikrodalgaları geçirmeyen materyalden imali standartlarla belirlenmiştir (5,23).

Mikrodalga Isıtmanın Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları: Mikrodalga yöntemi ile gıdalar daha kısa sürede ve daha az enerji harcayarak hazırlandıkları için enerji ve zaman yönünden büyük oranda tasarruf sağlar. Bunda mikrodalgaların ısıya dönüşüm veriminin büyük önemi vardır. Isı verimi geleneksel ısıtıcılarda % 7-14 arasında değişirken, bu oran mikrodalgalarda % 40'a kadar çıkabilmektedir (5,8,9).

Mikrodalgalarla işlenmiş gıdalardaki vitamin ve mineral kayıpları diğer yöntemlerden daha az olmaktadır. Ayrıca maillard reaksiyonu olmadığından gıdalarda aminoasit kaybı da olmamaktadır (5,8,9).

Mikrodalga ekipmanları geleneksel ısı sistemlerinden çok küçük olduğundan az yer kaplar, kolay temizlenir ve iş gücünden tasarruf sağlar (8).

Özellikle son yıllarda gittikçe yaygınlaşan yarı hazır ve hazır (ready to eat foods) ürünlerin üretiminde büyük artışlar meydana gelmiştir. Bu gıdaların tüketime hazır hale getirilmesinde (pişirme, ısıtma vb.) mikrodalga fırınlar son derece pratik hızlı ve ekonomiktir (5,8,15).

Diğer yandan evlerde daha önce pişmiş yemeklerin tekrar ısıtılmasında mikrodalga fırınlar oldukça pratiktir (2).

Dezavantajlar ve Karşılaşılan Sorunlar

Geleneksel pişirme yöntemlerinde et ve ekmek gibi bir çok ürünün yüzeyinde maillard reaksiyonu oluşarak bu gıdalara kendilerine özgül kızarmış renk ve lezzeti verir. Mikrodalga uygulamasında bu alışılmış renk ve tad gelişmez. Mikrodalgalarla pişirmenin en önemli dezavantajı tüketicinin beklediği renk ve lezzetin yeterince gelişmemesidir (9).

Mikrodalga ekipmanları pahalı sistemler olduğu için sanayide kullanımı hızlı bir şekilde gelişmemektedir (8).

Gıda maddeleri homojen olmayıp fiziksel ve dielektrik özellikleri farklı bir çok bileşenden oluştuğundan mikrodalga ortamda homojen ve dengeli bir ısınma sağlanamayabilir. Ürün içinde soğuk ve sıcak noktalar oluşabilmektedir (8).

Gıdaların pişirilmesi veya ısıtılması için gerekli mikrodalga işlem süresi özellikle ortamda fazla sayıda mikroorganizma bulunması halinde yeterli düzeyde bir bakteriyel inaktivasyon sağlayamamaktadır. Ayrıca mikrodalgalar farklı mikroorganizma türleri üzerine farklı öldürücü etki meydana getirmektedir. Bu yüzden mikrodalga yöntemiyle güvenli bir bakteriyel inaktivasyon sağlanamamaktadır (1,8,21).

Kullanılan kaplar ve ambalaj malzemelerinin mikrodalga ortamına uygun olması gerekmektedir. İletken maddeler mikrodalga etkisi ile ark oluşmasına sebep olmakta ürün ve ekipmana hasar verebilmektedir. Cam, porselen, plastik ve kağıt mikrodalga için uygun malzemeler olarak bilinmektedir (8,23).

Ürünün ambalajlı olarak ısıtılması istenildiğinde ambalaj malzemesinin de mikrodalga ortamına uygun olması gerekir (24).

Sonuç:

Mikrodalga ile ısıtma teknolojisi yaklaşık 50 yıldır sürekli gelişme göstermiş, gıda sanayiindeki kullanımı hızla artmış ve artmaya da devam etmektedir. Özellikle son yıllarda fabrikasyon ve tüketime hazır gıda ürünlerinin imalatındaki artış, geleneksel metotlara göre daha hızlı ve ekonomik olan mikrodalga teknolojisinin kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Mikrodalga ısıtmada karşılaşılan problemler yeni ısıtma yöntemlerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Son zamanlarda geliştirilen komüne

teknikler kullanılarak gıda maddelerinde meydana gelen olumsuz etkileri kısmen ortadan kaldırmıştır.

Sonuç olarak gıda sanayiinde ısı işlemi gerektiren her aşamada mikrodalga uygulaması belli sınırlar içerisinde her zaman mümkündür. Gıda üretim ve çeşit potansiyeli oldukça yüksek, ancak enerji ve mali kaynakları sınırlı olan ülkemizde mikrodalga teknolojisinden azami ölçüde yararlanmak gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- 1.Ercan B., Acar J., Aşkın O.: Mikrodalgalar, gıda endüstrisinde kullanım alanları ve mikroorganizmaların üzerine etkileri. Gıda, 14(3): 141-148 (1989).
- 2.Fıdancı U.R., Ayhan H.: Mikrodalga fırınlar. Türk Hij. ve Den. Biyol. Derg., 50(1):61-67 (1993)
- 3.Edgar R.: The economics of microwave processing in the food industry. Food Tech., 7: 106-112 (1986).
- 4.Giese J.: Advances in microwave food processing. Food Tech., 9: 118-123(1992).
- 5.Knutson K.M., Marth E. H., Wagner M.K.: Microwave heating of food. Lebens.-Wiss. u-Technol., 20 (3):101-110 (1987).
- 6.Durak M.: Mikrodalga fırınları. Bil. ve Tek. Derg., 19(220): 15(1986).
- 7.Curnutte B.: Principles of microwave radiation. J. Food Protect., 43: 618-632 (1980).
- 8.Şengül Ö., Evranuz Ö.: Mikrodalga uygulamasının gıda sanayiindeki yeri. II Gıda Mühendisliği Kongre ve Sergisi. s 69-81 Gaziantep(1994).
- 9.Tömek O.S., Serdaroğlu M.: Microwave yöntemiyle etlerin pişirilmesi. E.Ü. Müh. Fak. Gıda Müh. Derg., 6 (1):111-124 (1988).
- 10.Anonymus: Microwave food processing. Food Tech., 1:117-126(1989).
- 11.Decereau R.V.: Microwave food processing equipment throughout the world. Food Techn., 7:99-105(1986).
- 12.Tong C.H., Lund D.B.: Microwave heating of baked dough products with simultaneous heat and mass transfer. J. Food Engin. 19:319-339(1993).
- 13.Shukla P.T.: Heating food in the microwave oven. Cer.Foods World 35(8): 761-762(1990).
- 14.Whorton C., Reineccius G.: Current developments in microwave flavors. Cer. Foods World, 35 (6): 553-559 (1990).
- 15.Rosenberg U., Bögl W.: Microwave pasteurization, sterilization, blanching and pest control in the food industry. Food Tech., 6: 92-98 (1987).
- 16.Anonymus:Hydrocolloid functions of improve stability of microwavable foods. Food Tech., 7:96-99(1989).
- 17.Aleixo J.A.G., Swaminathan B., Jamesen K.S., Pratt D.E.: Destruction of pathogenic bacteria in turkeys roasted in microwave oven. J. Food Sci., 50:873-881 (1985).
- 18.Hollywood N.W., Naido R.I., Mitchel G. E., Dommet T.W.: Effect of microwave heating on microbial flora of frozen convenience foods. Food Austr., 43 (4): 160-163 (1991).
- 19.Merin U., Rosenthal I.: Pasteurization of milk by microwave irradiation. Milchwiss., 39 (11): 643-644 (1984).
- 20.Baker R.C., Poon W., Vadehra V.: Destruction of S. typhimurium and S. aureus in poultry products cooked in a conventional and microwave oven. Poultry Sci., 62: 805-810 (1982).

21. Knutson K.M., Marth E.H., Wagner M.K.: Use of microwave ovens to pasteurize milk. *J. Food Protect.*, 51 (9): 715-719 (1988).

22. Eberha. V.P., Strahm W., Sieber R.O.: Pasteurisation von Milch und Rahm in mikrowellen-Haushaltsgeräten. *Milchwiss.*, 45 (12): 768-771 (1990).

23. Cooper G.: Designing for the microwave. *Food Manufact.*, 1: 27-30 (1992).

24. Rubbright H.A.: Packaging for microwavable foods. *Cer. Foods World*, 35 (9): 927-930 (1990).

25. Kotula A.W., Murrel K.D., Acosta-Stein L., Lamb L., Douglass L.: Destruction of *Trichinella spiralis* during cooking. *J. Food Sci.*, 48: 765-768 (1983).

26. Zimmermann W.S.: Evaluation of microwave cooking procedures and ovens for devitalizing trichinae in porks roasts. *J. Food Sci.*, 48: 856-860 (1983).

27. Owusu-Ansah Y.J.: Advances in microwave drying of food and food ingredients. *J. Inst. Can. Sci. Technol. Aliment.*, 24 (3-4): 102-107 (1991).

28. Jaynes H.O.: Microwave pasteurization of milk. *J. Milk and Food Tech.*, 38: 386-387 (1975).

29. Kayhan Ö.: Mikrodalgalar ve sağlığımız. *TÜBİTAK Bil. Tek. Derg.*, 19 (220): 14-16 (1986).

30. Lambert J.P.: Biological hazards of microwave radiation. *J. Food Protect.* 43: 625-628 (1980).