

Mikrodalga ve Mikrodalga Destekli Kurutmanın Çeşitli Meyve ve Sebzelerin Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi

Azime ÖZKAN KARABACAK¹, Gülşah ÖZCAN SİNİR^{1*},
Senem SUNA¹

¹Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

*E-posta: gulsahozcan@uludag.edu.tr

Geliş Tarihi: 30.11.2015; Kabul Tarihi: 30.12.2015

Özet: Kurutma, gıda maddelerinin dayanıklılığını artırmak için kullanılan en eski muhafaza yöntemlerinden biridir. Kurutma veya dehidrasyon; mikrobiyal bozulmaların ve kimyasal reaksiyonların yavaşlatılması veya durdurulması amacıyla katı maddelerden suyun uzaklaştırılması işlemidir. Meyve ve sebzelerin kurutulmasında, konvansiyonel kurutma, vakum kurutma, kızılötesi ışınlar ile kurutma, ozmotik kurutma, dondurarak kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleri kullanılmaktadır. Mikrodalga kurutma işleminde yüksek frekanslı dalgalar kurutulan materyalin içinden hızla geçmekte, absorblanarak ısı enerjisine dönüşmekte ve böylece materyal içindeki su buharlaşmaktadır. Mikrodalga kurutmada ısı transferi, merkezden yüzeye doğru olduğu için kurutulan gıda maddesinin, iç sıcaklığı yüzey sıcaklığından daha yüksek olup, konvansiyonel kurutmaya göre daha dinamik bir ısı transferi gerçekleşmektedir. Bu derlemede, mikrodalga kurutma yönteminin avantajları ve dezavantajları ele alınarak, meyve ve sebzelerin kalite kriterleri üzerine etkisinden bahsedilecektir. Ayrıca kurutulmuş meyve ve sebzelerde mikrodalga kurutma yönteminin diğer yöntemlerle karşılaştırılması yapılarak meyve ve sebzelerin kurutma süresine, kurutma hızına ve kalite faktörleri üzerine etkisi değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Mikrodalga, vakum, kurutma, meyve, sebze, kalite parametreleri.

Microwave and Microwave-Assisted Drying Effect on Quality Parameters of Various Fruits and Vegetables

Abstract: Drying is one of the oldest conservation methods which is used for increasing the durability of foods. Drying or dehydration; is the process of removing water from the solid in order to retard or stop microbial degradation and chemical reactions. Conventional drying, vacuum drying, infrared drying, osmotic drying, freeze drying and microwave drying methods are used for drying fruits and vegetables. In microwave drying, high frequency waves pass quickly through the material, transform into thermal energy by absorption, thus the water inside the material is evaporated. In this review, the advantages and disadvantages of microwave drying and its effect on the quality parameters of fruit and vegetables will be discussed. Furthermore, microwave drying will be

compared with other drying methods and effects of these methods on the drying time, drying rate and quality parameters of fruit and vegetables will be considered.

Key Words: Microwave, vacuum, drying, fruit, vegetable, quality parameters.

Giriş

Meyve ve sebzelerin kurutulması, çok eski çağlardan beri uygulanan muhafaza yöntemlerinden biridir. Birçok ülkede sezon meyveleri, işleme imkânı olmadığı için bozulup atılmaktadır. Depolama süresini uzatmak ve bozulmalara karşı önlem alabilmek amacıyla çeşitli gıda muhafaza yöntemleri geliştirilmiştir. Isıl işlem, dondurma, kurutma, asit ile muamele, gaz atmosferinde depolama, ışın uygulaması ve koruyucu madde ilavesi gıda sanayinde uygulanan muhafaza yöntemleri arasında yer almakta olup kurutma, bunlar arasında en yaygın olarak kullanılanıdır. Kurutma işleminde amaç; ortamın su aktivitesini (a_w) azaltarak, ürünü mikrobiyolojik, enzimatik ve kimyasal yönden dayanıklı hale getirmektir.

Kurutma; hava ile ürün arasında eş zamanlı gerçekleşen ısı ve kütle transferi işlemidir (Kaya ve ark. 2015). Kurutma sırasında meyve ve sebzelerin bünyesindeki %80-95 oranındaki su %10-20 seviyelerine düşürülerek ürünlerin uzun süre dayanması sağlanmaktadır. Ancak bu sırada tat, görünüş, renk, besin değeri ve rehidrasyon yeteneği mümkün olduğunca korunmalıdır (Ayan, 2010). Kurutulmuş bir ürünün kaliteli olarak kabul edilebilmesinin en önemli şartlarından birisi yüksek rehidrasyon kapasitesine sahip olmasıdır (Üstün ve ark. 1999).

Birçok gıda muhafaza yöntemi arasında kurutmanın önemi ve ayrıcalıkları değişik açılardan değerlendirilebilir. Gıdada bulunan su, onun bozulmasına olanak vermeyecek bir düzeye kadar azaltıldığı için, kurutma etkili bir muhafaza yöntemidir. Kurutulmuş gıdalar, besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış bir nitelik kazanır. Kurutulmuş gıda üretiminde, daha az işçilik ve daha az ekipman gerektiği gibi, bunların depolanması ve taşınmasında da daha az masraf gerekmektedir (Ayan, 2010).

Kurutma yöntemleri arasında gıdalarda uygulanan en bilinen yöntem konvansiyonel kurutmadır. Bununla birlikte konvansiyonel kurutma yönteminin, uzun kurutma süresi, yüksek sıcaklık uygulaması ve yüksek hızdaki hava akımı gereksinimi gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır (Figiel, 2010).

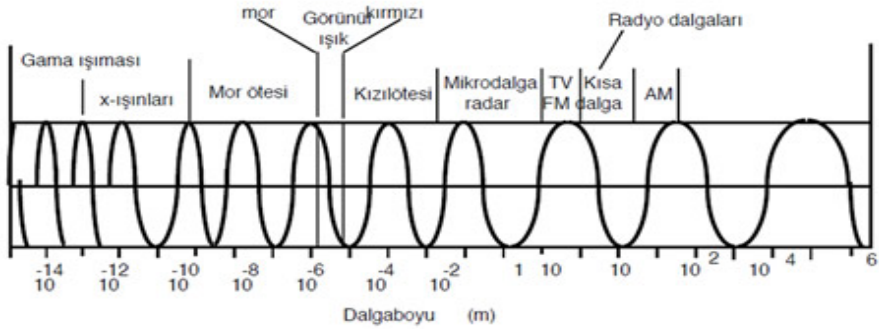
Ülkemizde, birçok meyve ve sebzenin kurutulmasında güneşte doğal yolla kurutma halen uygulanmaktadır. Ancak, açıkta kurutulan ürünlerde kirlilik ve hijyen gibi sorunların yanında, her mevsim uygulanamama gibi dezavantajlar da vardır. Bu nedenle ısıtılmış hava ile çalışan kurutucular güneşte kurutmaya alternatif hale gelmiştir (Tuğrul ve ark. 2001). Bu yöntemlerin yanı sıra meyve ve sebzelerin kurutulmasında mikrodalga (MD) kurutma da uygulanabilmektedir. Bu işlemin birçok avantajı bulunmakta olup, mikrodalga kurutmada yüksek frekanslı dalgalar kurutulan materyalin içinden hızla geçerken absorblanarak ısı enerjisine dönüşmekte ve materyal içindeki suyu buharlaştırmaktadır. Mikrodalga kullanarak kurutulan gıda maddesinin iç sıcaklığı yüzey sıcaklığından daha yüksek olup, konvansiyonel kurutmaya göre daha dinamik bir nem transferi gerçekleşmektedir (Yoğurtçu, 2014). Ayrıca mikrodalga kurutucuların vakum kurutucularla kombine edilerek

kullanılmaları da ürün kalitesi ile enerji verimliliğini arttırmaktadır (Erbay ve Küçüköner, 2008).

Meyve ve sebzelerde mikrodalga kullanarak kurutma işlemi üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda mikrodalga kurutmanın renk, tekstür (doku), kurutma hızı, kurutma süresi gibi kalite parametrelerine etkisi belirlenerek kinetik modelleri yapılmıştır. Bu derlemede çeşitli meyve ve sebzelerde uygulanan mikrodalga kurutmanın kalite üzerine etkilerinden ve diğer yöntemlere alternatif olarak uygulanmasının avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmektedir. Ayrıca mikrodalga kurutma yönteminin diğer yöntemlerle karşılaştırılması yapılarak farklı sistemlerle kombine olarak uygulanmasının meyve ve sebzelerin kurutma süresi, kurutma hızı ve kalite faktörleri üzerine etkileri değerlendirilmektedir.

Mikrodalga İle Kurutmanın Temel İlkeleri

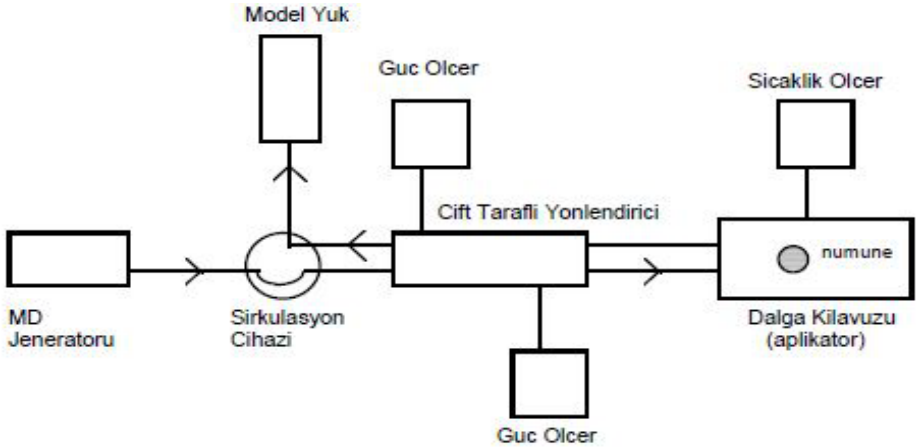
Mikrodalgalar, sürekli ya da kesikli dalga salınımları yapan, magnetron ve klistron olarak bilinen cihazlar kullanılarak üretilmektedir. Mikrodalgalar kızıl ötesi ile radyo frekansları arasındaki bölgede 1 mm'den 1 m'ye kadar değişen dalga boyu ve 300 MHz-300 GHz frekans aralığında bulunmaktadır. Şekil 1'de bu dalga boylarını gösteren elektromanyetik dalga spektrumu gösterilmiştir. Genel olarak ev tipi MD fırınlarda 2.45 GHz frekans, endüstriyel proseslerde, laboratuvar ve araştırma projelerinde ise 2.45 GHz ya da 915 MHz frekansları kullanılmaktadır. MD kurutma sisteminde kurutma verimliliği, elektromanyetik dalgaların etkisindeki bir malzemenin bazı fiziksel ve termal özelliklerinin yanı sıra, temel olarak malzemenin dielektrik özelliklerine, kullanılan magnetron gücü ve frekansına, aplikatör boyutları ile ilgili büyüklüklere bağlı olarak değişmektedir (Gölcü ve Şen, 2014).



Şekil 1. Elektromanyetik Dalga Spektrumu (Palamutcu ve Dağ, 2009)

Deneysel çalışmalarda mikrodalga devreleri oluşturulmaktadır. Materyaller, devrede aplikatör olarak adlandırılan kısımda ışığa maruz bırakılır. Aplikatör, bir boşluklu dalga kılavuzu veya boşluk yankılatıcısı olabilir. Enerjinin tamamı materyal tarafından emildiğinde işlem tamamlanmış olur. Sürekli ya da kesikli dalgalar vasıtasıyla elektrik alan materyale iletilir. Sürekli sistemler tek bir enerji değeriyle çalışmakta iken, sisteme farklı enerji seviyeleri verilmesi sistemin kesikli çalıştığını göstermektedir (Ulcay ve ark. 2002). Mikrodalga devre Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir.

Geleneksel kurutma işlemlerinde, ürünün kurutulması için gerekli ısı enerjisi ürüne konveksiyon, kondüksiyon ve radyasyon olmak üzere üç farklı şekilde aktarılabilir. Bu üç aktarım şeklinde kuruma süresi, ortam sıcaklığıyla ürün sıcaklığı arasındaki farkın büyüklüğünden ve ürün yüzeyinden içeriye doğru gerçekleşen ısı iletim yeteneğinden etkilenir. Mikrodalga kurutma sisteminde ise ürün içindeki su molekülleri titreterek sürtünme sonucu ısıyı oluşturması nedeniyle, tüm ürün ısıtılmaktadır (Karaaslan, 2008).



Şekil 2. Bir Mikrodalga Devresi (Ulçay ve ark. 2002)

Mikrodalga hacimsel ısıtma sağlayan dielektrik ısıtma tekniklerindedir. Hacimsel ısıtma ile ısınan materyalin içinde oluşturulması, mikrodalga'nın ürün penetrasyonunun fazla olmasından ve su molekülleri tarafından absorbe edilmesinden dolayı, ürünler geleneksel yöntemden daha kısa sürede istenilen sıcaklık düzeylerine getirilebilmektedir (Ramesh ve ark. 2002). Bu nedenle mikrodalga tekniğinde, geleneksel yöntemlerden daha hızlı ısınma sağlanmakta, enerji gereksinimi düşük; fakat enerji verimi yüksek olmaktadır. Ayrıca ekipmanlarının kolay temizlenebilmesi, az yer kaplaması, ambalajlı gıdalara da uygulanabilir olması ve besin değerini korumasından dolayı geleneksel yöntemlere alternatif olarak kullanılmaktadır (Başkaya Sezer ve Demirdöven, 2015).

Mikrodalgalar gıda endüstrisinde pastörizasyon, sterilizasyon, buz çözme, kurutma, pişirme ve ısıtma gibi pek çok işlemde değişik amaçlarla kullanılabilir. Gıdaların mikrodalga ısıtılmasına frekans, mikrodalga gücü, ısıtma hızı, sıcaklık, gıdanın kütlesi, su içeriği, yoğunluk, fiziksel geometri, elektriksel iletkenlik, dielektrik ve termal özellikler etki etmektedir (Konak ve ark. 2009).

Meyve ve Sebzelerin İşlenmesinde Mikrodalga İle Yapılan Kurutma Çalışmaları

Mikrodalga ile meyve ve sebzelerin kurutulmasına ilişkin pek çok çalışma mevcuttur. Özkan ve ark. (2007) %9.01 nem içeriğine sahip ıspanak yapraklarını mikrodalga fırında %0.1 nem içeriğine kadar kurutmuştur. Kurutmada kullanılan mikrodalga fırında 90 W ile 1000 W arasında değişen sekiz farklı güç seviyesi uygulanmıştır ve kurutma işlemi mikrodalga güç seviyesine bağlı olarak 290-4005 sn arasında değişen sürelerde tamamlanmıştır. Mikrodalgada kurutulan ıspanak örneklerinde; kurutma süresi, enerji

tüketimi, askorbik asit ve renk değerleri açısından en iyi sonuçların 750 W mikrodalga gücünde elde edildiği belirtilmiştir.

Yapılan bir çalışmada araştırmacılar, Amasya elma çeşidini 5 mm kalınlığında dilimleyip farklı kimyasal çözeltilerde beklettikten sonra kurutmuştur. Kurutma yöntemi olarak doğal kurutma (dış ortamda çevre havasıyla), etüvde 65°C sıcaklıktaki hava kullanılarak kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleri seçilmiştir. 72 saat süren kurutma sonucunda doğal kurutma ve yüzeyde oluşan kararmalar nedeniyle mikrodalga kurutma, elma kurutma işlemi için uygun bulunmamıştır. %2'lik sitrik asit çözeltisi ile muamele edilen elmaların 65°C sıcaklıktaki havayla kurutulması kalite ve kurutma süresi (5 saat) açısından en iyi sonucu vermiştir (Tarhan ve ark. 2009).

Diğer bir çalışmada, kurutma hızı, enerji tüketimi ve kurutulmuş son ürünün renk değerleri üzerine mikrodalga gücünün etkisini belirlemek için domates dilimlerinin mikrodalga kurutma davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Sonuç olarak 90, 180, 360 ve 600 W mikrodalga güçlerinde, mikrodalga gücündeki artış ile kurutma zamanının ve enerji tüketiminin azaldığı saptanmıştır. Ayrıca kuruma hızının başlangıçta arttığı, sonradan ise azaldığı gözlenmiştir. Ürünün renk kalitesi, mikrodalga gücünün artışı ile birlikte olumsuz etkilenmiştir (Çelen ve Kahveci, 2013).

Alibaş (2012) tarafından yapılan çalışmada, başlangıç nem içeriği %75.35 (± 0.02) olan asma yapraklarına, nem seviyesi %9.13 oluncaya kadar 13, 15 ve 17 W g⁻¹ mikrodalga güçlerinde kurutma uygulanmıştır. Kurutma işlemi 210-270 sn süreyle tamamlanmıştır. Mikrodalga kurutulan asma yapraklarının renk ve askorbik asit değerleri, taze yapraklar ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta, tazesine en yakın özellikteki renk ve askorbik asit miktarının 15 W/g güç değerindeki mikrodalga kurutma esnasında elde edildiği ortaya konulmuştur.

Maskan (2001), sıcak hava, mikrodalga ve mikrodalga destekli sıcak havada kurutma işlemlerinin kivi meyvesinin (5.03 \pm 0,24 mm kalınlıkta) karakter özelliklerine etkisini araştırmıştır. Kivi meyvesine uygulanan kurutma yöntemlerinin, kurutma hızı ve kurutma kapasitesi üzerine etkileri karşılaştırılmıştır. Uygulanan tüm bu yöntemlerde kurutma süresinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Mikrodalga enerjisi ile kurutmanın, kuruma hızında artış meydana getirdiği gözlenmiştir. Mikrodalgada kurutulmuş kivi dilimlerinin, diğer kurutma yöntemlerine göre daha düşük kurutma kapasitesine ve daha hızlı su absorblama özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Sangwan ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada zencefil gölgede, güneşte, fırında ve mikrodalga fırında kurutmuş ve elde edilen zencefil tozunun besin içeriğindeki farklılıkları araştırmıştır. Öğütülen örneklerde nem içeriği, güneşte kurutulmuş zencefil tozunda %3.55, gölgede kurutulmuş örnekte ise %3.78 olarak bulunmuştur. Protein, ham lif, yağ ve kül içerikleri sırasıyla %5.02-5.82, %4.97-5.61, %0.76-0.90 ve %3.38-3.66 arasında değişim göstermiştir. En yüksek β -karoten ve askorbik asit içeriği gölgede kurutulmuş zencefil tozunda saptanmıştır. Gölgede, güneşte, fırında ve mikrodalgada kurutulmuş örneklerin polifenol içerikleri sırasıyla 12.5, 11.8, 12.4 ve 12.4 mg/100 g olarak birbirine yakın bulunmuştur. Çeşitli kurutma yöntemleriyle hazırlanmış zencefil tozu duyuşal ve besin içeriği yönünden iyi sonuçlar vermiştir.

Diğer bir çalışmada, kabin ve mikrodalga kurutucu kullanılarak 40, 45, 50, 55, 60, 70°C'de uygulanan kurutma işleminin dereotu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Mikrodalga kullanıldığında kurutma işleminin daha kısa sürede gerçekleştiği belirlenmiştir. Ayrıca her iki yöntemde de sıcaklık artışının kurutma işlemini hızlandırdığı saptanmıştır. Her iki

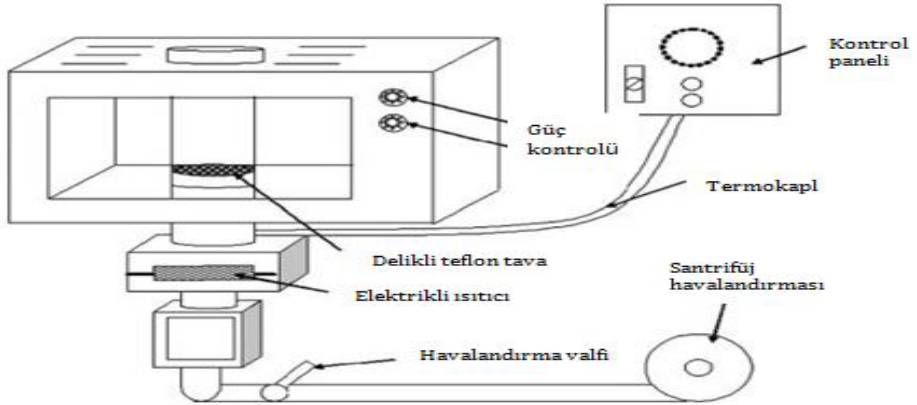
kurutucuda da yüksek sıcaklıklarda (<70°C) çalışmanın, parlaklık ve renk kalitesinin korunması bakımından avantajlı olduğu belirlenmiştir (Tuğrul ve ark. 2001).

Polatçı ve Tarhan (2009), reyhan (*Ocimum basilicum*) bitkisini, gölgede, güneşte, etüvde, mikrodalgada ve kondüksiyonel yöntemle kurutmuştur. Kondüksiyonel kurutucuda karıştırma için iki farklı hız kullanılarak kurutma gerçekleştirilmiş ve sonuçta karıştırmanın ürün kalitesine ve kurutma zamanına önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Etüvde 45°C ve 55°C sıcaklıklar kullanarak gerçekleştirilen kurutma işlemi 50 ve 34 saat sürerken, mikrodalgada kuruma süresi kısalmış ve 9-22 dakika içerisinde tamamlandığı gözlenmiştir. Ancak mikrodalga kurutma işleminin, reyhan bitkisinin kalite özelliklerinin korunması için uygun olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca güneşte ve gölgede kurutma yöntemlerinin reyhan bitkisinin kalite özelliklerini olumsuz etkilediği görülmüştür. Araştırma sonunda reyhan bitkisi için 45-55°C sıcaklıktaki havayla kurutmanın uygun olduğu belirlenmiştir.

Şeftali dilimleri üzerine mikrodalga ve kızılötesi ışınlarla kurutmanın etkisini incelemek için Wang ve Sheng (2006) mikrodalga ile kızılötesi kurutma sistemlerini uygulamıştır. Yapmış oldukları çalışmada, şeftali dilimlerinin aynı güç seviyesindeki kuruma hızının mikrodalga kurutmada, kızılöttesinden daha fazla olduğu saptanmıştır. Aynı ortam içinde mikrodalganın nüfuz derinliği kızılöttesine oranla çok daha fazla bulunmuştur.

Meyve ve Sebzelerin İşlenmesinde Mikrodalga Destekli Kurutma Çalışmaları

Geleneksel kurutma sistemlerinde karşılaşılan sorunları çözmek için diğer tekniklerle birlikte mikrodalga destekli kurutma işlemleri uygulanmaktadır. Mikrodalga, birçok kurutma sistemi ile birlikte kullanılmasına rağmen, kurutucunun tipi ve kurutma sıcaklıkları, kuruma hızı ve ürün kalitesi ile bağlantılıdır. Şekil 3'te mikrodalga destekli hava kurutma sistemi görülmektedir. Bu sistemde santrifüj havalandırması vasıtasıyla elektrikli ısıtıcıya hava verilmektedir ve sistemi desteklemek amacıyla maksimum 700 W güçte, 2450 MHz frekansta çalışabilen ev tipi bir mikrodalga kullanılmıştır (Reyes ve ark. 2007).



Şekil 3. Mikrodalga Destekli Hava Kurutma Sistemi (Reyes ve ark. 2007)

Chua ve Chou (2005) patates ve havuç örneklerini mikrodalga ve kızılötesi enerjisi kullanarak kurutmuştur. Mikrodalga enerjisini “enerjinin verildiği toplam süre/tüm kurutma süresi” olmak üzere 1/9 ve 1/5 oranında kesikli olarak uygulamışlardır. Sıcak havayla kurutma ile kıyaslandığında kurutma süresinin patateslerde %42, havuçlarda ise %31 oranında kısaldığı ortaya konulmuştur. Ayrıca üründe yanma olmadığı ve olumsuz renk değişiminin azaldığı rapor edilmiştir.

Yapılan diğer bir çalışmada, konvansiyonel, mikrodalga-konvansiyonel ve kızılötesi-konvansiyonel kurutma ile elma dokularının kurutmada ve 12 ay depolamadan sonraki polifenol içerikleri ve radikal tutma kapasiteleri araştırılmıştır. Kurutma süresinin uzunluğuna bağlı olarak radikal tutma aktivitesinde ve polifenol içeriğinde kurutma ve depolama sırasında düşüş görülmüştür (Nowacka ve ark. 2014). Uygulanan yöntemle göre bu değerlerin değişiminin gösterildiği Çizelge 1’de mikrodalga ve mikrodalga-konvansiyonel kurutma uygulamalarında başlangıca göre radikal tutma aktivitelerinde önemli farklılıklar gözlenmiştir ($p<0,05$).

Çizelge 1. Uygulanan Farklı Kurutma Yöntemleri Sonunda Radikal Tutma Aktivitesi ve Polifenol İçeriklerindeki Değişimler (Nowacka ve ark. 2014)

Yöntem	Nisbi Nem İçeriği (%)	Radikal Tutma Aktivitesindeki Değişimler (%)	Polifenol İçeriğindeki Değişimler (%)
Konvansiyonel	1.0	100.0±5.0 ^a	100.0±6.1 ^b
	0.6	78.3±3.9 ^b	89.7±4.5 ^{ab}
	0.4	60.7±3.0 ^c	86.5±4.3 ^b
	0.1	54.9±2.7 ^d	78.5±3.9 ^{bc}
	0.06	49.7±2.5 ^e	74.0±3.7 ^c
Mikrodalga + Konvansiyonel	1.0	100.0±5.0 ^a	100.0±6.1 ^a
	0.6	77.9±3.9 ^b	85.7±4.3 ^b
	0.4	75.1±3.8 ^b	83.6±4.1 ^b
	0.1	72.3±3.6 ^b	79.1±3.8 ^{bc}
	0.06	69.2±3.5 ^{bc}	77.6±3.7 ^{bc}
Kızılötesi + Konvansiyonel	1.0	100.0±5.0 ^a	100.0±6.1 ^a
	0.6	95.2±4.7 ^a	90.8±4.4 ^a
	0.4	73.2±3.7 ^b	88.1±4.1 ^{ab}
	0.1	69.8±3.5 ^{bc}	85.7±4.2 ^b
	0.06	65.2±3.3 ^c	83.5±4.2 ^b

a,b,c,d,e Aynı harfler kurutma işlemi sürecindeki homojen grupları göstermektedir.

± rakamlar standart sapmayı temsil eder. Satırlar arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır ($P<0,05$).

Wang ve Xi (2005) havuçları, farklı güç seviyeleri uygulanan iki aşamalı mikrodalga destekli konvektif kurutma sisteminde kurutmuş, ilk basamakta uygulanan güç seviyesinin (1.5 kW/kg) havuçların rehidrasyon oranını etkilediğini buna karşın ikinci basamakta uygulanan güç seviyesinin (1.0 kW/kg) hem rehidrasyon oranını hem de havuçların karoten miktarını etkilediğini tespit etmişlerdir.

Diğer bir çalışmada, sarımsak dişleri mikrodalga destekli sıcak hava ile deneysel kurutucuda kurutulmuştur. Mikrodalga destekli kurutma çalışmaları 40°C, 50°C, 60°C ve 70°C' lerde 1.0 ve 2.0 m/s hava akış hızlarında, 40 W mikrodalga gücü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde geleneksel sıcak hava akımında kurutma denemeleri için de aynı boyuttaki örnekler için kurutma sıcaklıkları ile hava akış hızları sırasıyla 60°C, 70°C ve 2.0 m/s olarak uygulanmıştır. Mikrodalga destekli kurutma, geleneksel sıcak hava akımında kurutma ile karşılaştırıldığında, mikrodalga destekli kurutmanın kuruma süresini %80-90 oranında azalttığı ve lezzet ile renk değerleri açısından daha iyi kalitede son ürün verdiği gözlenmiştir (Sharma ve Prasad, 2001).

Sumnu ve ark. (2005) yapmış oldukları çalışmada havuç dilimlerini mikrodalgada, halojen lamba ve mikrodalga kombinasyonunda ve geleneksel sıcak havada kurutmuştur. Mikrodalga gücünün artması ile kurutma süresinin kısaltıldığı tespit edilmiştir. En yüksek güç seviyesi uygulandığında (560 W), mikrodalga ve halojen lamba kombinasyonu ile kurutmanın, geleneksel sıcak havada kurutmaya göre %98 oranında kurutma süresini kısalttığı belirlenmiştir. Bunun yanısıra, mikrodalğanın kurutmada kullanılması ile havuçların renk değerlerinde, geleneksel sıcak havada kurutmaya göre daha az değişiklik gözlemlendiği bildirilmiştir.

Yapılan diğer bir çalışmada araştırmacılar, kuru madde üzerinden 5,02 g başlangıç nemindeki ebeğümeci yapraklarını mikrodalga, konvansiyonel ve vakum olmak üzere 3 farklı kurutma yöntemi ile kurutmuştur. Yapraklar, nemleri 0,10 g'a olana dek kurutulmuştur. Kurutma işlemi; 6.67, 8.67, 10, 11.33 W mikrodalga güçlerinde; 50, 75, 100 ve 125°C konvansiyonel kurutma sıcaklıklarında ve 3,7 kPa vakum koşullarında 50°C ile 75°C'de gerçekleştirilmiştir. Kurutma süreleri mikrodalga, konvansiyonel ve vakum kurutma için sırasıyla 6-10, 26-150 ve 38-130 dakika olarak uygulanmıştır. Nem difüzyon katsayıları mikrodalga, konvansiyonel ve vakum kurutma için sırasıyla $2.04 \cdot 10^{-10}$ - $3.64 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, $1.70 \cdot 10^{-11}$ - $1.10 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ve $1.86 \cdot 10^{-11}$ - $5.95 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ aralıklarında değişmiştir. Askorbik asit içeriği ve renk parametrelerine göre en iyi mikrodalga güç yoğunluğu kurutmanın 6.5'inci dakikasında 10 Wg^{-1} olarak bulunmuştur (Alibaş ve Köksal, 2014).

Yapılan bir diğer çalışmada araştırmacılar ananas dilimlerine mikrodalga destekli ozmotik kurutma uygulamıştır. Ozmotik kurutma 40°C-90 dakikada 55° brikslik sakkaroz çözeltisinde uygulanmıştır. Uygulanan mikrodalga sistemi maksimum 1000 W gücünde ve 2450 MHz frekansta çalışabilmektedir. Çalışmada 30 ve 70°C arasındaki farklı giriş sıcaklıklarına karşı değişken mikrodalga güç çıkışı programları tasarlanmıştır. Mikrodalga güç seviyesi, uygulamanın ilk 1,5 saatlik diliminde en etkili sonuçları vermiştir. Yüksek mikrodalga gücünde, düşük sıcaklıklarda (30-50°C) uygulamanın, kurutmanın ilk aşamasında avantaj sağladığı fakat işlemin sonlarına doğru kurutmayı yavaşlattığı tespit edilmiştir (Botha ve ark. 2012).

Zielinska ve ark. (2015) yaban mersini örneklerinde kurutma süresince enerji tüketimi ve kalite özellikleri üzerine dondurma ve mikrodalga destekli kurutmanın etkisini incelemiştir. Dondurulmuş örneklerin kurutma süresi (%29'a kadar) ve enerji tüketimi (%27'ye kadar) önemli bir şekilde azalmıştır. Dondurulmuş örneklerin son ürün kalitesine bakıldığında, hiçbir ön işlem uygulanmamış örnekler göre daha fazla çignenebilir özellikte ve sertlikte oldukları saptanmıştır.

Diğer bir çalışmada, farklı yöntemlerle kurutulmuş *Arania melanocarpa* meyvelerinin Page modeli ile kuruma kinetikleri, mikro yapısı ve duyuşal özellikleri incelenmiştir. En kısa kurutma süresi (54 dk.) mikrodalga destekli vakum kurutma işleminde bulunmuştur. En yüksek derecede gözenekliliğe neden olan uygulamalar; dondurarak kurutma (%76) ve mikrodalga destekli vakum kurutma (%39) olarak bulunmuştur. 360 W'ta mikrodalga destekli vakum kurutma en iyi duyuşal sonuçları vermiştir (Calin-Sanchez ve ark. 2015).

Mikrodalga İle Kurutmanın Avantajları ve Dezavantajları

Mikrodalga fırınlar uzun süredir evlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte endüstriyel proseslerde de mikrodalga kullanımının pek çok avantajları bulunduğu bildirilmiştir. Mikrodalga enerjisi ile ısıtma, geleneksel ısıtma yöntemlerine kıyasla materyalin çok daha fazla ısınmasına olanak sağlamaktadır. Ancak, ürünün homojen bir şekilde ısıtılması için şeklinin uygun olması gerekmektedir. Bunun dışında diğer bir avantajı; materyalin bulunduğu ortamın ısıtılmasına gerek olmaması ve geleneksel yöntemlere kıyasla daha az enerjiye ihtiyaç duyulmasıdır. Son teknoloji ile mikrodalga prosesinin kontrolü hızlı bir şekilde sağlanmakta ve proses koşulları ürüne göre optimize edildiğinde daha kaliteli son ürün elde edilmektedir.

Geleneksel yöntemlere göre, işletme içerisinde daha az yer kaplamakta ve bu nedenle de geleneksel ısıtma sistemleri ile kombine edilebilecek ekipmanların dizaynına olanak sağlamaktadır. Mikrodalga, paketli gıdaların ısıtılmasını da mümkün kılmaktadır.

Bütün bu avantajların yanında, mikrodalga sistemlerinin bugün endüstriyel boyutta geniş çaplı olarak kullanılamaması bazı dezavantajlarının da olduğunu göstermektedir. Bu dezavantajlar; mikrodalga ekipmanlarının dizayn maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle yatırım maliyetlerini yükseltmesi, şekilsiz gıdaların homojen olarak ısıtılamaması ve bazı geometrik şekilli gıdalarda köşe ve kenar noktalarında ısınmanın yetersiz kalması şeklinde özetlenebilmektedir (Karaaslan, 2008).

Sonuç

Gelişen teknoloji ve değişen beslenme alışkanlıklarına bağlı olarak, son yıllarda gıdaların muhafaza edilebilmesi için farklı teknikler ortaya çıkmıştır. Bu tekniklerden mikrodalga kurutma gibi pratik ve kolay uygulanabilen yöntemler günümüzde tüketiciler tarafından tercih edilmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikrodalga kurutma işlemi, geleneksel kurutma yöntemlerine göre daha hızlı bir nem transferi gerçekleştirmesinin yanı sıra, gıdaların besin değerlerinin daha iyi korunmasını sağlamaktadır. Ancak, her ürün mikrodalga kurutmaya uygun olmayıp, son ürün kalitesinin belirlenmesinde seçilecek dalga boyu ve frekans aralığı oldukça önem taşımaktadır. Ayrıca mikrodalga kurutma sektörel olarak, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, kapasite sorunu, ileri teknoloji ve yetişmiş insan gücü gerektirmesi gibi nedenlerle ürün maliyetini yükseltmektedir. Bununla birlikte mikrodalga kurutma, diğer yöntemlerle kurutulamayacak ve ekonomik olarak değerli ürünlerde önemli kullanım alanına sahip olup, farklı kurutma yöntemleriyle kombine edildiğinde ürün kalitesini olumlu yönde desteklemekte ve enerji verimliliğini arttırmaktadır.

Kaynaklar

- Alibaş, İ. 2012. Asma Yaprağının (*Vitis vinifera* L.) Mikrodalga Enerjisiyle Kurutulması ve Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi. Tarım Bilimleri Dergisi, 18: 43-53.
- Alibaş, İ. ve Köksal, N. 2014. Convective, Vacuum and Microwave Drying Kinetics of Mallow Leaves and Comparison of Color and Askorbik Acid Values of Three Drying Methods. Food Science and Technology, 34(2): 358-364.
- Ayan, H. 2010. Güneşte ve Yapay Kurutucuda Kurutulmuş Domates (*Lycopersitum esculentum*) Üretimi ve Proses Sırasındaki Değişimlerin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Başkaya-Sezer, D. ve Demirdöven, A. 2015. Meyve Sebze İşlemede Mikrodalga Haşlama Uygulamaları. Gıda, 40(3): 171-177.
- Botha, G.E., Oliveria, J.C. ve Ahrne, L. 2012. Microwave assisted air drying of osmotically treated pineapple with variable power programmes. Journal of Food Engineering, 108: 304-311.
- Calin-Sanchez, A., Kharaghani, A., Lech, K., Figiel, A., Carbonell-Barrachina, A. ve Tsotsas, E. 2015. Drying Kinetics and Microstructural and Sensory Properties of Black Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) as Affected by Drying Method. Food Bioprocess Technology, 8: 63-74.
- Chua, K.J. ve Chou, S.K. 2005. A Comparative Study Between Intermittent Microwave and Infrared Drying of Bioproducts. International Journal of Food Science and Technology, 40: 23-39.
- Çelen, S. ve Kahveci, K. 2013. Microwave Drying Behaviour of Tomato Slices. Journal of Food Science, 31(2): 132-138.
- Erbay, B. ve Küçüköner, E. 2008. Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri. Türkiye 10. Gıda Kongresi. 1045-1048. 21-23 Mayıs 2008, Erzurum.
- Figiel, A. 2010. Drying Kinetics and Quality of Beet roots Dehydrated by Combination of Convective and Vakuum-Microwave Methods. Journal of Food Engineering, 98: 461-470.
- Gölcü, M. ve Şen, F. 2014. Mikrodalga ile Islak Viyolün Kurutulabilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4(20): 111-115.
- Karaaslan, S. 2008. Sebze ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
- Kaya, A., Kamer, M.S. ve Şahin, H.E. 2015. Trabzon Hurmasının (*Diospyros Kaki* L.) Kuruma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi. Gıda, 40(1): 15-21.
- Konak, Ü.İ., Certel, M. ve Helhel, S. 2009. Gıda sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(3): 20-31.
- Maskan, M. 2001. Drying, Shrinkage and Rehydration Characteristics of Kiwi fruits During Hot Air and Microwave Drying. Journal of Food Engineering, 48: 177-182.
- Nowacka, M., Sledz, M., Wiktor, A.W. ve Rajchert, D. 2014. Changes of Radical Scavenging Activity and Polyphenols Content During Storage of Dried Apples. International Journal of Food Properties, 17: 1317-1331.
- Özkan, I.A., Akbudak, B. ve Akbudak, N. 2007. Microwave Drying Characteristics of Spinach. Journal of Food Engineering, 78: 577-583.
- Palamutcu, S. ve Dağ, N. 2009. Fonksiyonel Tekstiller 1: Elektromanyetik Kalkanlama amaçlı Tekstil Yüzeyleri. Elektronik Journal of Textile Technologies, 3(1): 87-101.
- Polatçı, H. ve Tarhan, S. 2009. Farklı Kurutma Yöntemlerinin Reyhan (*Ocimum basilicum*) Bitkisinin Kuruma Süresine ve Kalitesine Etkisi. GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi, 26(1): 61-70.

- Ramesh, M.N., Wolf, W., Tevini, D. ve Bognar, A. 2002. Microwave Blanching of Vegetables. *Journal of Food Science*, 67(1): 390-398.
- Reyes, A., Ceron, S., Zuniga, R. ve Moyano, P. 2007. A Comparative Study of Microwave-Assisted Air Drying Of Potato Slices. *Biosystems Engineering*, 98(13): 310-318.
- Sangwan, A., Kawatra, A. ve Sehgal, S. 2014. Nutritional Composition of Ginger Powder Prepared Using Various Drying Methods. *Journal of Food Science*, 51(9): 2260-2262.
- Sharma, G.P. ve Prasad, S. 2001. Drying of Garlic (*Allium sativum*) Cloves by Microwave-hot Air Combination. *Journal of Food Engineering*, 50, 99-105.
- Sumnu, G., Turabi, E. ve Oztop M. 2005. Drying of Carrots in Microwave and Halogen Lamp-Microwave Combination Ovens. *LWT-Food Science and Technology*, 38(5): 549-553.
- Tarhan, S., Ergüneş, G., Güneş, M. ve Mutlu, A. 2009. Farklı Kurutma Koşullarının Amasya Elmasının Kuruma Süresi ve Kalitesi Üzerine Etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(2): 1-6.
- Tuğrul, N., Doymaz, İ. ve Pala M. 2001. Dereotunun Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi. *Gıda*, 26(6): 403-407.
- Ulcay, Y., Akyol, M. ve Gemci, R. 2002. Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının Etkisinin İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, 1(7): 93-116.
- Üstün, Ş., Tosun, İ. ve Cemeroglu, B. 1999. Reçel Üretimi Amacıyla Kurutulmuş Kayısların Rehidrasyonu. *Gıda*, 24(2): 103-111.
- Wang, J.ve Sheng, K. 2006. Far-infrared and Microwave Drying of Peach. *LWT-Food Science and Technology*, 39: 247-255.
- Wang, J. ve Xi, Y.S. 2005. Drying Characteristics and Drying Quality of Carrot Using a Two-stage Microwave Process. *Journal of Food Engineering*, 68: 505-511.
- Yoğurtçu, H. 2014. Mikrodalga Fırında Limon Kurutma: Kinetiği ve Modellenmesi. *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1): 27-33.
- Zielinska, M., Sadowski, P. ve Blaszcak, W. 2015. Freezing/thawing and Microwave-assisted Drying of Blueberries. *Food Science and Technology*, 62: 555-563.

