



GIDALARIN KURUTULMASINDA ULTRASES KULLANIMI APPLICATION OF ULTRASOUND IN FOOD DRYING

Senem TÜFEKÇİ^{1*}, Sami Gökhan ÖZKAL²

¹Gıda İşleme Bölümü, Acıpayam Meslek Yüksekokulu, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.
stufekci@pau.edu.tr

²Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.
sgozkal@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 24.06.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 29.09.2015
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.05902
Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

Öz

Gıda muhafaza yöntemleri arasında gıdadaki mevcut su oranını bozulmaya imkân vermeyecek şekilde azaltması, kesin ve ucuz bir muhafaza olanağı sunması açısından kurutmanın yeri ayrıcalıktır. İnsan kulağının işitebileceğinin üzerinde frekansa sahip ses dalgaları ultrases olarak adlandırılır. Kurutma öncesi ön işleme olarak veya kurutma ile eş zamanlı bir şekilde uygulanan ultrases, ürünün kuruma performansı üzerine etkili olmaktadır. Ultrases enerjisinin farklı kurutma teknikleriyle kombine olduğu proseslerde suyun difüzyonunun arttığı ve işlem süresinin kısaldığı, ultrases ile muamele edilmiş kurutulmuş ürünlerin kolay rehidre olduğu bilinmektedir. Ayrıca ultrasesin şeker oranı düşük kurutulmuş ürün üretiminde kullanılabilir alternatif bir yöntem olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, ultrases enerjisinin temel etki mekanizmaları, uygulama alanları, ozmotik, sıcak hava ve dondurarak kurutma gibi farklı kurutma metotlarıyla kombine olduğu proseslerde kurutma kinetiği ile ürün kalite özellikleri üzerine etkileri literatürde yapılmış çalışmalar ışığında incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ultrases, Kurutma, Ön işlem

Abstract

Drying has a privileged position in all food preservation methods by reducing of existing water content in food not allowing spoilage, providing a precise and cheap preservation opportunity. Sound waves with frequencies above human hearing are called as ultrasound. Ultrasound which is applied prior to drying as pretreatment or simultaneously is effective on drying performance of products. It is known that diffusion of water increased and total process time shortened in processes that ultrasonic energy is combined with different drying methods and products treated with ultrasound are rehydrated easier. Also ultrasound found to be an alternative method for producing low-sugar dried products. In this study, the basic effect mechanisms of ultrasonic energy and its application fields, effect on drying kinetics and products quality in processes which ultrasound combined with different drying methods such as osmotic drying, hot air drying and freeze drying are examined in the light of studies in literature.

Keywords: Ultrasound, Drying, Pretreatment

1 Giriş

Ucuz bir muhafaza yöntemi olmasının yanında kurutulmuş gıdaların besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış bir nitelik kazanması gibi nedenlerle özellikle meyve ve sebzelerin kurutularak muhafazası gıda endüstrisinde yaygındır. Bu nedenle meyve ve sebzelerin kurtulması bilimsel araştırmalarda önemli derecede yer almaktadır.

Modern gıda endüstrisi her zaman daha yüksek kalitede ve güvenilir ürünü enerji ekonomisi sağlayarak en verimli şekilde üretmenin yollarını aramaktadır [1]. Günümüzde bu bakış açısıyla yeni kurutma yöntemleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu yeni tekniklerin biri de ultrases enerjisinin kurutma öncesi ve sonrasında uygulanmasıdır. Ultrases enerjisinin farklı kurutma teknikleriyle kombine olduğu proseslerde suyun difüzyonunun arttığı ve işlem süresinin kısaldığı, ultrases ile muamele edilmiş kurutulmuş ürünlerin kolay rehidre olduğu, geleneksel kurutma yöntemlerinin neden olduğu kalite kaybı gibi bazı olumsuz sonuçların ortadan kaldırıldığı yapılan çalışmalarda bildirilmiştir.

2 Ultrases

Denge durumunda bulunan taneciklerin mekanik titreşimleri ses, bir saniyede olan titreşim sayısı ise frekans olarak tanımlanır. Elektromanyetik dalgaların aksine ses boşlukta iletilemez. Ses dalgaları ancak moleküler ortamda

iletilebilmektedir. Ses hareketi boyunca sıkışma ve genişleme bölgeleri arasında gerçekleşen, pozitif veya negatif atmosferik basınç değişimi derecesi genlik olarak isimlendirilir [2]. Ses dalgalarının şiddeti ve bir ortama aktarılan enerji miktarı akustik genlik ile ilişkilidir [2],[3].

İnsan kulağının işitebileceğinin üzerinde, 20 kHz ile 10 MHz aralığında, frekansa sahip ses dalgaları **ultrases** olarak adlandırılır. Ultrases, akustik bir enerjidir [4]. Ultrases bir ortamdan geçerken; çeşitli uygulamalarda kullanılmasına olanak sağlayan ve ses dalgasının frekansı ve genliğine bağlı olarak oluşan pek çok fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal etki oluşturmaktadır [5]. Bu etkilerden en önemlisi olan **kavitasyon**; bir sıvıdan geçerken ses dalgasının basıncının düştüğü bölümlerde moleküller arasındaki mesafenin normalin üstüne çıkması ile kabarcık oluşumu, sürekli ses dalgalarına maruz kalan materyalde oluşan kabarcıkların giderek büyümesi, salınması ve daha fazla enerji absorblayamayacak kritik hacme ulaştıklarında da içeri doğru sönümlenmesi olarak tanımlanır [2],[6]. Kavitasyon balonlarının iç patlamaları, oluşturduğu bölgeden enerji birikimine neden olmaktadır. Böylece meydana gelen yüksek sıcaklık ve basınç nedeniyle kavitasyon bölgesinde yüksek enerjili kesme dalgaları ve türbülans oluşturmaktadır [3],[7]. Kavitasyonun oluşumunu pek çok parametre etkilemektedir. Yüksek sıcaklıklarda, buhar basıncı artmakta ve yüzey gerilim kuvveti azalmakta, daha fazla kabarcık meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıklarda daha fazla

kabarcık oluşmasına rağmen kabarcıkların sönmüledikleri andaki şiddeti, dolayısıyla etkinlikleri azalmaktadır. Düşük frekanslarda, kabarcıklar daha büyük boyutlarda oluşur ve sönmüledikleri an daha yüksek enerji meydana getirirler. Yüksek şiddette kavitasyon isteniyorsa ultrases dalgasının büyüklüğü arttırılmalıdır.

Viskozitesi yüksek ortamlarda ultrases difüzyonu kolaylıkla engellenebilmekte ve bu durumda meydana gelen kavitasyonun etkinliği azalmaktadır. Viskozite probleminin üstesinden gelebilmek için, düşük frekansta ve yüksek şiddette ultrases kullanılmalıdır [4],[8].

Kullanılan ses dalgasının şiddetine göre gıda işlemede ultrases kullanımı; 'Yüksek Frekans Düşük Güç' ve 'Düşük Frekans Yüksek Güç' olmak üzere iki ana kategoriye ayırmak mümkündür. 0.1 ile 10 MHz frekans ve 1 W/cm²'den küçük şiddette sahip yani yüksek frekans düşük güç grubundaki ses dalgaların kullanıldığı yöntem; bir ürün veya prosesi izlemek, kontrol etmek ya da farklı gıda maddelerinin fizikokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılır. Düşük frekans yüksek güç yani 20 ile 100 kHz frekans ve 10-100 W/cm² arasında şiddette sahip ses dalgalarının kullanıldığı yöntem, bir ürün veya prosese doğrudan etki etmek amacıyla kullanılır [2]. Ultrasesin gıda işlemede kullanımı, uygulamada oluşturduğu etki ve sağladığı faydalar Tablo 1'de verilmiştir.

2.1 Akustik Kurutma

Yüksek şiddetli ses alanı etkisiyle bir materyalden suyun uzaklaştırılması işlemine 'Akustik Kurutma' denir [2]. Ultrases enerjisi, düşük sıcaklıklarda belirgin bir etki göstermesi sebebiyle ısıya duyarlı maddelerin kurutulması için uygundur [8]. Yüksek şiddetli ultrases dalgaları kurutulacak materyale doğrudan etki ettiğinde, bir süngerin sıkıştırılıp serbest bırakılması gibi materyalin içinde bir dizi sıkıştırma ve genişleme hareketi oluşturur. Bu mekanizma ile oluşan etkinin, suyu materyalin içinde tutan yüzey geriliminden daha büyük bir kuvvet oluşturması sonucunda meydana gelen mikroskobik kanallar sayesinde suyun uzaklaştırılması kolaylaşmaktadır [9]. Bunlara ek olarak ultrases enerjisiyle oluşan kavitasyonun da suyun uzaklaştırılmasına katkısı olduğu düşünülmektedir [10]. Ultrases enerjisi tek başına uygulanabildiği gibi sıcak hava, ışınlama, dondurarak kurutma, yüksek basınç, ozmotik kurutma gibi proseslerle birlikte de uygulanabilmektedir [11].

2.2 Gıdaların Kurutulmasında Ultrases

Gıdaların kurutulmasında ultrases enerjisi ile yapılan çalışmalara bakıldığında sıklıkla ultrasesin farklı kurutma teknikleriyle kombine edildiği eş zamanlı veya önışlem olarak kullanıldığı görülmüştür (Tablo 2).

2.2.1 Ozmotik Kurutma ve Ultrases

Ultrases destekli ozmotik kurutma işlemlerinde genellikle ultrasonik banyo kullanılmaktadır ve işlem eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir.

Elma küplerinin ozmotik kurutulması üzerine yapılan bir çalışmada 50 kHz frekansa ve 150 W enerjiye sahip bir ultrases banyosunda gerçekleştirilen ozmotik kurutma işlemi (70 °Briks - 40, 50, 60, 70°C) sonucunda, ultrasesin kütle transferi üzerine etkili olduğu, su kaybını ve şeker kazanımını arttırdığı, 40°C'de ultrases ile elde edilen şeker kazanımının ancak 70°C'de ultrases uygulaması olmadan sürekli karıştırma ile sağlanabildiği belirtilmiştir [12].

Carcel ve diğ. (2007), elmaların (*Granny smith var.*) ultrases

desteği ile ozmotik kurutulması üzerine yaptıkları çalışmalarında yüksek yoğunluklu ultrasesin sakaroz çözeltisi (30°C-30 °Briks) içindeki elma örneklerinin kütle transferleri üzerinde önemli ölçüde etkisi olduğunu saptamışlardır. 20 kHz frekansa ve 11.5 W/cm² enerjiye sahip prob sistemi ile gerçekleştirilen ultrases uygulamasının, su difüzyon katsayısını %117 (2.18×10⁻¹⁰'den 4.73×10⁻¹⁰ m²/s'ye), kuru madde difüzyon katsayısını %137 (0.78×10⁻¹⁰'den 1.84×10⁻¹⁰ m²/s'ye) oranında arttırdığı belirlenmiştir [13].

Tablo 1: Ultrasesin gıda işlemede kullanımı [7'den uyarlanmıştır].

Uygulama Alanı	Etki/Fayda
Ekstraksiyon	Ekstraksiyon verimini ve etkinliğini arttırma.
Emülsifikasyon/ Homojenizasyon	Yüksek kayma gerilimine sahip mikro akış, uygun maliyetle emülsiyon üretimi.
Kristalizasyon	Daha küçük kristal oluşumu, kristallerin üniform nükleasyonu ve modifikasyonu.
Filtrasyon	Kirlenmeyi azaltma, akı hızını arttırma.
Seperasyon	Kimyasal ayırma tekniklerine olan ihtiyacı azaltma, basınç düşüm noktalarında partiküllerin aglomerasyonu.
Köpük giderme	Verimliliği arttırma, köpük giderici ajanların kullanımını azaltma, boru hatlarında oluşan fireyi azaltma.
İnaktivasyon (enzimatik ve mikrobiyal)	Mikrobiyal hücre membranlarına direkt kavitasyonel zarar, ısı transferini arttırma, düşük sıcaklıklarda enzim inaktivasyonu, gıda kalitesini koruma.
Fermantasyon	Fermantasyon prosesini hızlandırma, metabolit üretimini arttırma, canlı dokuyu uyarma, substrat transferini iyileştirme.
Isı transferi	Kavitasyon ile ısı tranferini arttırma, ısıtma ve kurutma işlemlerini hızlandırma ve daha düşük sıcaklıklarda çalışma imkanı.

Topdaş ve diğ. 2011 yılında yaptıkları benzer bir çalışmada; ozmotik kurutmanın etkinliğinin arttırılması için ultrases işlemi eş zamanlı olarak uygulamışlardır. Çalışmada 35 kHz frekansa sahip ultrases banyosu kullanılmıştır. İşlem 35 ve 70 °Briks sakaroz çözeltileri ile 30°C'de; 20, 40, 60, 80, 100 dakika sürelerinde gerçekleştirilmiştir. 40. dakikadan sonra tüm süre ve briks değerlerinde ultrases uygulamasının ağırlık kaybını önemli derecede (p<0.01) hızlandırdığı belirlenmiştir. 35 °Briks'de normal ozmotik kurutma işleminde elmaların şeker kazanımlarının %2.2-3.9; ultrases yardımcı ozmotik kurutma işleminde %3.5-5.8 arasında olduğu belirlenmiştir. Ultrasesin şeker kazanımını tüm konsantrasyon ve sürelerde arttırdığı saptanmıştır. Ultrases uygulamasının ağırlık kaybı, su kaybı ve şeker kazanımı üzerine etki ederek işlem süresini kısalttığı belirtilmiştir [11].

Tablo 2: Ultrasesin gıdaların kurutulmasında kullanımı.

Kurutma Tipi	Ultrases Uygulaması	Ürün	Referans
Ozmotik Kurutma	Ultrasonik banyo ile eş zamanlı uygulama	Elma	[11]-[13]
		Sapota meyvesi	[14]
Sıcak Hava ile Kurutma	Ultrasonik banyo ile önışlem	Muz	[15],[16]
		Kavun	[17]
		Papaya	[18]
		Ananas	[19]
		Jambu	[20]
	Ultrasonik prob ile önışlem	Hanebero acı biberi	[21]
	Ürüne temas eden prob ile eş zamanlı uygulama	Elma, kereviz, havuç, patates	[2]
	Ürüne temas etmeyen ultrasonik prob ile eş zamanlı uygulama	Patlıcan	[22]
		Havuç	[23]
	Özel tasarlanmış sistemle eş zamanlı uygulama	Patates	[24]
		Elma ve kırmızı dolmalık biber	[25]
		Çilek	[26]
Püskürtmeli Kurutma	Ultrasonik prob ile önışlem	Ham muzdan izole edilmiş nişasta	[27]
Dondurularak Kurutma	Ultrasonik banyo ile önışlem	Elma	[28]
		Çilek	[29]
	Ultrasonik prob ve banyo ile önışlem	Mantar, brüksel lahanası ve karnabahar	[30]
Infrared Kurutma	Ultrasonik prob ile önışlem	Armut	[31]

Sapota meyvesinin ozmotik kurutulmasında ultrasesin önışlem olarak kullanılması üzerine yapılan çalışmada 25 kHz frekansa sahip 25°C'lik ultrasonik banyoda 10, 20, 30 dakika sürelerinde ultrases önışlemi uygulanmış ve ardından kurutma işlemi gerçekleştirmiştir. 35 °Briks şeker çözeltisi içinde 20 dakikalık ultrases uygulamasıyla dokuda mikroskobik kanallar oluştuğu ve bu sayede şeker kazanımının %2.9 oranında arttığı, su difüzyon katsayısının 5.58×10^{-9} 'dan 4.15×10^{-9} m²/s'ye düştüğü (%25.6 azalma) belirlenmiştir. Bu durumun oluşan kanalların şeker tarafından doyurulmuş olmasından kaynaklanabileceği bildirilmiştir. 70 °Briks şeker çözeltisi içinde gerçekleştirilen 20 dakikalık ultrases uygulamasında oluşan mikroskobik kanalların 35°Briks çözelti içinde oluşanlara göre daha geniş olduğu ve su difüzyon katsayısını %4.3 oranında arttırdığı saptanmıştır. 30 dakikalık ultrases uygulaması sonucunda meyvenin dokusunda önemli bir değişiklik saptanmamıştır [14].

2.2.2 Sıcak Hava ile Kurutma ve Ultrases

Sıcak hava ile kurutmada ultrases enerjisi, ultrasonik bir banyo veya prob ile kurutma öncesinde önışlem olarak uygulanabildiği gibi, kurutucunun içine yerleştirilmiş bir ultrasonik halka veya prob ile ürüne direkt temaslı veya temassız şekilde sıcak hava ile kurutma esnasında da uygulanabilmektedir.

Fernandes ve Rodrigues, 2007 yılında yaptıkları çalışmalarında muzun sıcak hava ile kurutulmasında ultrases önışleminin etkilerini incelemişlerdir. Ultrases önışlemi, 25 kHz frekansa sahip ultrasonik banyo ile 10, 20, 30 dakika sürelerinde 30°C'de gerçekleştirilmiştir. Önışlemin ardından örnekler 60°C'lik sıcak hava ile kurutulmuştur. Çalışma sonuçlarına göre, 20 dakikalık ultrases uygulamasının suyun difüzyonunu arttırdığı, toplam kuruma süresini %10.3 oranında kısalttığı belirlenmiştir. Ayrıca ultrases uygulaması nedeniyle muzların toplam indirgen şeker miktarında saf su içerisinde gerçekleştirilen 30 dakikalık

ultrases uygulaması sonunda %21.3 oranında azalma gerçekleşmiştir. Ultrases uygulamasının şeker oranı azaltılmış kurutulmuş ürünler üretmeye imkân sağlayabileceği bildirilmiştir [15].

Ultrasesin muzun kurutma kinetiği üzerine etkisinin incelendiği bir başka çalışmada 25 kHz frekansa sahip ultrases banyosu ile 10, 20, 30 dakika sürelerinde 30°C'de ultrases önışleminin ardından 50 ve 70°C'lerde, 3 m/s hava hızında akışkan yatak bir kurutucu ile kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ultrases uygulaması sonrası örneklerin su içeriğinin 30 dakikalık önışlem sonunda %5.17 oranında arttığı; 20 dakikalık ultrases önışlemi ile toplam kurutma süresinin 50°C'lik hava ile kurutmada 345'den 207 dakikaya, 70°C'lik hava ile kurutmada 111'den 106 dakikaya düştüğü ve ultrasonik önışlem ile kayda değer bir enerji ekonomisi sağlanabileceği belirtilmiştir [16].

Fernandes ve diğ., 2008 yılında yaptıkları çalışmalarında; ultrases ve ozmotik kurutma önışlemlerinin kavunun sıcak hava ile kurutulması işleminde hücre yapısı üzerine etkilerini incelemişlerdir. 25 kHz frekansa ve 4870 W/m² enerjiye sahip olan ultrasonik banyo ile 20 ve 30 dakika sürelerinde, 30°C'de ultrasonik önışlem uygulamasının; ozmotik kurutmada örneklerin su kaybedip şeker kazandığı, ultrasese tabi tutulmuş örneklerin ise şeker kaybedip su kazandığı; her iki uygulamanın sıcak hava ile kurutma sırasındaki suyun difüzyon katsayısını arttırdığı; ultrasesin hücre yapısında değişikliklere neden olduğu ancak ozmotik kurutmadan farklı olarak hücre yapısında bozulmalar yerine mikroskobik kanal oluşumuna sebep olduğu saptanmıştır [17].

Papaya meyvesinin 60°C'lik sıcak hava ile kurutulmasından önce 25 kHz frekansa ve 100 W/m³ enerjiye sahip ultrasonik banyo ile 30°C'de 10, 20, 30, 45, 90 dakika sürelerince uygulanan ultrases önışlemi ile; ürünün şeker oranının 30 dakika içerisinde %13.8; 90 dakika içerisinde %30.6 oranında azaldığı, kurutma sırasında su difüzyon katsayısının 20 dakikalık ultrasese tabi tutulmuş örneklerde önışlem sırasında meydana gelen mikro kanal oluşumuna bağlı olarak %28.8 oranında arttığı ve kurutma süresinin %16 oranında kısaldığı bildirilmiştir [18].

Fernandes ve diğ., 2009 yılında yaptıkları çalışmalarında; 25 kHz frekansa ve 4870 W/m² enerjiye sahip olan ultrasonik banyo ile 10, 20, 30 dakika sürelerinde gerçekleştirdikleri ultrasonik önışlemin ardından 60°C'de sıcak hava ile kurutulan ananasın; 30 dakikalık ultrasonik önışlemlerle su difüzyon katsayısının (8.41×10^{-9} 'den 10.22×10^{-9} m²/s'ye) arttığını, işlem süresinin (249'dan 202 dakikaya) kısaldığını bildirmişlerdir. Bunun yanı sıra ışık mikroskobuyla hücre yapısında gerçekleşen değişiklikleri gözlemlemişler ve saf su içerisinde gerçekleştirilen önışlemin ancak 20 dakika süre ve üstünde hücre yapısında değişikliğe yol açtığını rapor etmişlerdir [19].

Oliviera ve diğ., 2010 yılında yaptıkları çalışmalarında; jambu meyvesinin 60°C'lik sıcak hava ile kurutma öncesinde 25 kHz frekansa ve 60 W güce sahip ultrasonik banyo ile 10, 20, 30, 45 ve 60 dakika sürelerinde; saf su, 25 ve 50°Briks sakkaroz çözeltileri içerisinde uygulanan ultrases önışlemi ile suyun difüzyon katsayısının; 25 °Briks sakkaroz çözeltilisi içinde 30 dakika ultrasese tabi tutulan örnek için %28.1 (4.56×10^{-10} 'den 5.84×10^{-10} m²/s'ye) oranında arttığını, 60 dakikalık önışlem ile toplam kurutma süresinin %27.3 (854'den 621 dakikaya) oranında azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca, saf su içerisinde gerçekleştirilen ultrases önışlemi sırasında meyvenin şeker

iceriğinin azaldığını ve ultrasesin şeker oranı düşük kuru meyve üretimi için kullanılabilir alternatif bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir [20].

Lucio-Juárez ve diğ., 2013 yılında yaptıkları çalışmalarında Hanabero acı biberinin (*Capsicum chinense*) sıcak hava (60°C) ile kurutulması öncesinde 20 kHz frekansa sahip prob aracılığıyla 30 ve 60 dakika sürelerinde, %20 ile %100 arasında değişen genliklerde uygulanan ultrases önışleminin etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre; en yüksek kuruma hızının 60 dakika süreyle %100 genlikte ultrasese tabi tutulmuş örneklerde, en düşük kuruma hızının ise önışlem uygulanmamış örneklerde görüldüğü bunun yanında toplam kuruma süresinin ultrasese tabi tutulmuş örneklerde %25 ile %50 oranlarında kısaldığı bildirilmiştir [21].

24 kHz frekansa sahip prob ile yüksek güçlü doğrudan temas eden ultrasesin; 30, 40 ve 50°C hava sıcaklıkları ve 3.9 m/s hava hızı koşullarında elma, kereviz, havuç ve patatesin kuruma hızı üzerindeki etkisinin incelendiği bir diğer çalışmada, en uygun kurutma koşulları, kereviz için %100 genlik, 1.0 vuruş ve 30°C; elma için %100 genlik, 1.0 vuruş ve 30°C; havuç için %70 genlik, 1.0 vuruş ve 50°C ve patates için %70 genlik, 0.7 vuruş ve 50°C olarak belirlenmiştir. Ultrasesin kuruma hızı üzerine etkisinin, elma > kereviz > havuç > patates sıralamasına göre arttığı; sıralamanın bu şekilde gerçekleşmesinin yapı ve bileşimdeki hava boşluklarının etkiyi artırıcı, şeker ve nişasta varlığının ise etkiyi azaltıcı özelliğe sahip olmasından kaynaklanabileceği bildirilmiştir [2].

Silindirik olarak dilimlenmiş 2 cm kalınlığında 2.4 cm çapında patlıcanların 40°C sıcaklıkta 1 m/s hızda hava ile kurutulması sırasında 15 ile 90 W arasında akustik enerji uygulanan bir çalışmada akustik güç arttıkça kurutma kinetiğinin hızlandığı ve kurutma süresinin azaldığı, kuruma süresindeki maksimum azalmanın %70 oranıyla 90 W akustik enerji uygulanan örneklerde görüldüğü bildirilmiştir. Ayrıca yapılan elektron mikroskobu analizi ile ultrases uygulaması sonucunda ara yüzeyler arasında oluşan değişken hızlar, basınç dalgalanmaları ve mikro akışın, sınır katmanını inceltirerek kütle transferini arttırmasının yanında ara yüzeylerde bozunma ve parçalanmaya neden olduğu saptanmıştır [22].

Ultrases destekli sıcak hava ile kurutulması (20, 40, 60°C-75, 90, 120 dk.) sırasında havuçların kimyasal ve fizikokimyasal kalitesinin belirlendiği bir çalışmada, ultrases önışlemi (20 kHz-100 W/cm²) ile meydana gelen kavitasyon ve mikroskobik kanallar sayesinde suyun uzaklaştırılmasının kolaylaştığını böylece ultrasesin havuçların 60°C ve altında kurutulmasına imkan sağladığı belirlenmiştir [23].

Patatesin sıcak hava ile kurutulmasında ultrases enerjisinin kurutma kinetiği üzerine etkisini incelendiği bir diğer çalışmada, patates küplerinin kurutma kinetiğinin ultrases enerji ile istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gösterdiğini (p<0.05), 21.8 kHz frekansa ve 37 kW/m² güce sahip ultrases enerjisinin, ultrasesin kullanılmadığı uygulamaya göre kuruma süresini %40 oranında azalttığı, su difüzyon katsayısını %64 (4.58×10^{-10} 'den 7.51×10^{-10} m²/s'ye), kütle transfer katsayısını ise %58 (2.03×10^{-4} 'den 3.21×10^{-4} kgW/m² s'ye) oranında arttırdığı bildirilmiştir [24].

Schössler ve diğ., 2012 yılında yaptıkları çalışmalarında; elma ve kırmızı dolmalık biberin ultrases destekli sıcak hava ile kurutulmasını incelemişlerdir. Kurutma işlemi 24 kHz frekansa sahip bir ultrases halkasının 70°C'lik sıcak hava ile kombine edildiği bir sistemde gerçekleştirilmiştir. Ultrases destekli

kurutma işlemi ile geleneksel yöntem sonucu elde edilen son ürünün su oranı arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmuştur ($p < 0.05$). Toplam kuruma süresi kırmızı dolmalık biber için %23 (250'den 204 dakikaya), elma için %27 (313'den 230 dakikaya) oranında azalmıştır [25].

Çileğin ultrases (0, 30, 60 W) destekli sıcak hava ile kurutulması (40, 50, 60, 70°C) sırasında su difüzyon katsayısı ve kütle transferi katsayılarında anlamlı bir artış olduğu ($p < 0.05$), bu artışın yükselen kurutma sıcaklıklarında azaldığı, ayrıca ultrases uygulamasıyla farklı kurutma sıcaklıklarında toplam kuruma süresinde %13 ile %44 arasında düşme görüldüğü bildirilmiştir [26].

2.2.3 Püskürtmeli Kurutma ve Ultrases

Ham muzdan izole edilmiş nişastanın kurutulmasında ultrasesin önışlem olarak kullanıldığı bir çalışmada nişastanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Ultrases önışlemi olarak bir dakika aralıklarla titreşim veren bir prob ile 20 kHz frekansa sahip 24 W enerjide ultrases 1 saat süreyle uygulanmıştır. Ardından mini spray kurutucuda (130°C giriş - 47°C çıkış) kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; ultrases uygulamasıyla oluşan kavitasyon sonucu nişasta moleküllerinin yapısının bozulduğu ve suyun difüzyonunun, nişastanın şişme özelliği ve su emme kapasitesinin arttığı saptanmıştır. Ayrıca çalışmada, ultrases dalgalarının oluşturduğu titreşimlerin nişasta jellerinin eşik kayma gerilimi ve kıvam katsayısını azalttığı da belirtilmiştir [27].

2.2.4 Dondurularak Kurutma ve Ultrases

Deng ve Zhao, 2008 yılında yaptıkları çalışmalarında; ultrasonik banyo ile 3 saat süreyle; yüksek fruktozlu mısır şurubu içerisinde 50/60 kHz frekansa ve 185 W güce sahip ultrases uygulamasının ardından sıcak hava (55°C-3.86 m/s) ve dondurularak kurutma (-45°C) yöntemleriyle kurutulan elma örnekleri üzerinde aynı kurutma koşullarında ultrases uygulamasının etkileri darbeleri vakum yöntemiyle kıyaslandığında; su aktivitesi ve nem içeriğinin azaldığını, camsılaşma sıcaklığının ve rehidrasyon oranının arttığını ve yapıda ciddi bozulmalar gerçekleştiğini tespit etmişlerdir [28].

Garcia ve diğ., 2014 yılında yaptıkları bir çalışmada çileğin renk özelliklerine dondurularak kurutma öncesinde uygulanan ultrases önışleminin etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre ultrases önışlemine tabi tutulmuş çilek örneklerine ait L ve h değerleri taze ve önışleme tabi tutulmamış örnekler göre daha yüksek seyrederken, ultrasese tabi tutulmuş örneklerin kontrol örneklerine kıyasla daha kırmızimsı ve parlak renge sahip oldukları bildirilmiştir [29].

Mantar, brüksel lahanası ve karnabahar örneklerine 20 kHz frekansa sahip prob ve 40 kHz frekansa sahip ultrasonik banyo ile 3 ve 10 dakikalık süreler boyunca ultrases uygulanan bir çalışmada, sıcak hava (60°C) ve dondurularak kurutma (-45°C) yöntemiyle kurutulan örneklerde, ultrasesin 40 kHz frekansta 10 dakika süreyle ultrasonik banyoda gerçekleştirilen önışlem hariç tüm örneklerde kuruma hızını arttırdığı, dondurularak kurutulmuş ve düşük frekans (20 kHz) uygulanan ürünlerin rehidre olma özelliklerinin daha yüksek olduğu; ayrıca düşük frekans yani prob ile önışleme tabi tutulmuş örneklerde ultrasonik banyo ile ultrasese tabi tutulmuş örnekler kıyasla kurumanın daha kısa sürede gerçekleştiği bildirilmiştir [30].

2.2.5 Infrared Kurutma ve Ultrases

Armutların infrared kurutulmasında ultrases enerjisinin kuruma ve tekstürel özellikler üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, 30×30×5 mm boyutlarında dikdörtgen olarak dilimlenmiş armutlar distile su içerisinde 24 kHz frekansa sahip ultrasonik prob ile 5 dakika süresince %25, %50, %75 ve %100 genlikte ultrasese tabi tutulup ve ardından 70°C'de infrared kurutma gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, ultrases önışleminin artan genliklerde kuruma süresini armutun yapısında kavitasyon sonucu meydana gelen değişikliklere bağlı olarak anlamlı bir şekilde azalttığı ($p < 0.05$) bildirilmiştir. Bunun yanında tekstür analizleri sonucunda sertliğin ve elastisitenin artan genlikle birlikte azaldığı, %100 genlikte sertliğin çok fazla düştüğü bu noktada %50 genlikte uygulanan ultrases önışleminin tekstür özellikleri bakımından en uygun sonucu verdiği belirtilmiştir [31].

3 Sonuçlar

Bu çalışmada yeni bir teknik olan ultrasesin, ozmotik kurutma, sıcak hava ile kurutma, püskürtmeli kurutma, dondurularak kurutma, infrared kurutma gibi farklı kurutma yöntemleri ile kombine edildiği veya kurutma öncesinde önışlem olarak uygulandığı çalışmalar incelenmiştir. Yapılan çalışmalar ultrases enerjisi kullanımının gıda kurutma teknolojisinde önemli bir potansiyeli olduğunu ve ultrasesin uygulama süresi ve genliği; prob, banyo ve farklı tasarımlarla gerçekleştirilen uygulama metodlarına bağlı olarak kurutma performansını arttırdığını ortaya koymuştur. Kurutma performansının yanı sıra ultrases uygulamasının ürün kalite özellikleri üzerine etkisinin inceleneceği çalışmalara ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

4 Kaynaklar

- [1] Tao Y, Sun DW. "Enhancement of Food Processes by Ultrasound: A Review". *Critica Reviewsin Food Science and Nutrition*, 55(4), 570-594, 2015.
- [2] Kantaş Y. Effect of Ultrasound on Drying Rate of Selected Produce. PhD Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2007.
- [3] Yılmaz T. Domates İşleme Atıklarından Ultrason Destekli Likopen Ektraksiyonu İşleminin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2011.
- [4] The Sonochemistry Centre at Coventry University. "Introduction to Sonochemistry". <http://www.sonochemistry.info/introduction.htm> (28.06.2014).
- [5] Knorr D, Zenker M, Heinz V, Lee D. "Applications and Potential of Ultrasonics in Food Processing". *Trends in Food Science & Technology*, 15(5), 261-266, 2004.
- [6] Uzunoglu TP. Yüksek Güçlü Ultrases İşleminin Kısa ve Uzun Ömürlü Ayranın Mikrobiyolojik ve Duyusal Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [7] Patist A, Bates D. "Ultrasonic Innovations in Food Industry: From the Laboratory to Commercial Production". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(2), 147-154, 2008.
- [8] Rastogi NK. "Opportunities and Challenges in Application of Ultrasound in Food Processing". *Food Science and Nutrition*, 51(8), 705-722, 2011.
- [9] De La Fuente-Blanco S, Riera-Franco de Sarabia E, Acosta-Aparicio VM, Gallego-Juárez JA. "Food Drying Process by Power Ultrasound". *Ultrasonics*, 44, 523-527, 2006.

- [10] Garcia-Perez JV, Carcél JA, Benedito M, Mulet A. "Power Ultrasound Mass Transfer Enhancement in Food Drying". *Food and Bioproducts Processing Journal*, 85(3), 247-254, 2007.
- [11] Topdaş EF, Başlar M, Ertugay MF. "Elmaların Osmotik Kurutulması Üzerine Ultrases İşleminin Etkisi". *Akademik Gıda*, 9(5), 6-10, 2011.
- [12] Simal S, Benedito J, Sanchez ES, Rosello C. "Use of ultrasound to Increase Mass Transport Rates during Osmotic Dehydration". *Journal of Food Engineering*, 36(3), 323-336, 1998.
- [13] Carcél J A, Benedito J, Rosello C, Mulet A. "Influence of Ultrasound Intensity on Mass Transfer in Apple Immersed in a Sucrose Solution". *Journal of Food Engineering*, 78(2), 472-479, 2007.
- [14] Rodrigues S, Gomes MCF, Gallao MI, Fernandes FAN. "Effect of Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration on Cell Structure of Sapotas". *Journal of Science Food and Agriculture*, 89(4), 665-670, 2009.
- [15] Fernandes FAN, Rodrigues S, "Ultrasound as Pre-treatment for Drying of Fruits: Dehydration of Banana". *Journal of Food Engineering*, 82(2), 261-267, 2007.
- [16] Fernandes FAN, Gallão MI, Rodrigues S. "Effect of Osmotic Dehydration and Ultrasound Pre-treatment on Cell Structure: Melon Dehydration". *LWT-food Science and Technology*, 41(4), 604-610, 2008.
- [17] Fernandes FAN, Oliviera FIP, Rodrigues S. "Use of Ultrasound for Dehydration of Papayas". *Food Bioprocess Technology*, 1(4), 339-345, 2008.
- [18] Fernandes FAN, Gallão MI, Rodrigues S. "Effect of Osmosis and Ultrasound on Pineapple Cell Tissue Structure during Dehydration". *Journal of Food Engineering*, 90(2), 186-190, 2009.
- [19] Azoubel PM, Baima MAM, Amorim MR. "Effect of Ultrasound on Banana cv Pacovan Drying Kinetics". *Journal of Food Engineering*, 97(2), 194-198, 2010.
- [20] Oliviera FIP, Gallão MI, Rodrigues S, Fernandes FAN. "Dehydration of Malay Apple (*Syzygium malaccense* L.) Using Ultrasound as Pre-treatment". *Food and Bioprocess Technology*, 4(4), 610-615, 2010.
- [21] Lucio-Juárez JS, Moscota-Santillán M, González-García R, Grajales-Lagunes A, Ruiz-Cabrera MA. "Ultrasonic Assisted Pre-Treatment Method of Enhancing Mass Transfer during the Air-Drying of Habanero Chili Pepper (*Capsicum chinense*)". *International Journal of Food Properties*, 16(4), 867-881, 2013.
- [22] Garcia-Perez JV, Puig A, Perez-Munuera I, Carcel JA, Riera E. "Kinetic and Microstructural Changes Induced by Power Ultrasound Application on Convective Drying of Eggplant". *ICA 2010 20th International Congress on Acoustics*, Sydney, Australia, 23-27 August 2010.
- [23] Soria AC, Corzo-Martinez M, Montilla A, Riera E, Gamboa-Santos J, Villamiel M. "Chemical and Physicochemical Quality Parameters in Carrots Dehydrated by Power Ultrasound". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(13), 7715-7722, 2010.
- [24] Ozuna C, Carcél JA, Garcia-Perez JV, Mulet A. "Improvement of Water Transport Mechanisms during Potato Drying by Applying Ultrasound". *Journal of Science Food and Agriculture*, 91(14), 2511-2517, 2011.
- [25] Schössler K, Jäger H, Knorr D. "Effect of Continuous and Intermittent Ultrasound on Drying Time and Effective Diffusivity During Convective Drying of Apple and Red Bell Pepper". *Journal of Food Engineering*, 108(1), 103-110, 2012.
- [26] Gamboa-Santos J, Montilla A, Cárcel JA, Villamiel M, Garcia-Perez JV. "Air-borne Ultrasound Application in the Convective Drying of Strawberry". *Journal of Food Engineering*, 128, 132-139, 2014.
- [27] Izidoro DR, Sierakowski MR, Haminiuk CWI, Souza CF, Scheer AG. "Physical and Chemical Properties of Ultrasonically Spray-Dried Green Banana (*Musa Cavendish*) Starch". *Journal of Food Engineering*, 104(4), 639-648, 2011.
- [28] Deng Y, Zhao Y. "Effect of Pulsed Vacuum and Ultrasound Osmopretreatments on Glass Transition Temperature, Texture, Microstructure and Calcium Penetration of Dried Apples (Fuji)". *LWT- Food Science and Technology*, 41(9), 1575-1585, 2006.
- [29] Garcia-Noguera J, Oliveira FIP, Weller CL, Rodrigues S, Fernandes FAN. "Effect of Ultrasonic and Osmotic Dehydration Pre-treatments on the Colour of Freeze Dried Strawberries". *Journal Food Science Technol*, 51(9), 2222-2227, 2014.
- [30] Jambrak AR, Mason TJ, Paniwyk L, Lelas V. "Accelerated Drying of Button Mushrooms, Brussels Sprouts and Cauliflower by Applying Power Ultrasound and its Rehydration Properties". *Journal of Food Engineering*, 81(1), 88-97, 2007.
- [31] Dujmic F, Brncic M, Karlovic S, Bosiljkov T, Jezek D, Tripalo B, Mofardin I. "Ultrasound-Assisted Infrared Drying of Pear Slices: Textural Issues". *Journal of Food Process Engineering*, 36(3), 397-406, 2013.