

Atf İçin: Aydar AY, Yılmaz T, Mataracı CE, Sağlam TB, 2021. Gıdaların Kurutulmasında Ultrason Ön İşleminin Kullanımı. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(2): 1165-1175.

To Cite: Aydar AY, Yılmaz T, Mataracı CE, Sağlam TB, 2021. Utilization of Ultrasound Pretreatment on Drying of Foods, Journal of the Institute of Science and Technology, 11(2): 1165-1175.

Gıdaların Kurutulmasında Ultrason Ön İşleminin Kullanımı

Alev Yüksel AYDAR^{1*}, Tuncay YILMAZ¹, Ceren Evrim MATARACI¹, Tuba Büşra SAĞLAM¹

ÖZET: Kurutma, gıda endüstrisinde uzun raf ömrüne sahip gıda ürünleri üretmek ve depolamak için yaygın olarak uygulanan bir işlemdir. Ancak, kurutma işlemi son ürünün kalite özelliklerinde istenmeyen sonuçlara sebep olabileceğinden, gıdaların kalite özelliklerini koruyacak veya en az düzeyde azaltacak ultrason gibi ön işlemler kurutma öncesi uygulanmaktadır. Termal olmayan gıda işleme teknolojisi olarak kabul edilen ultrason (sonikasyon), geleneksel ısı işleme kıyasla düşük enerji kullanımı, gıdalarda tazeliği koruma, yüksek duyusal kabul edilebilirliği ve besin içeriğini iyileştirme gibi özellikleriyle son yıllarda önemli ölçüde dikkat çekmiştir. Bu derlemede ultrasonun zeytin, yer elması, elma, sarımsak, kavun gibi meyve ve sebzelerin kurutulması öncesinde uygulanmasının fiziksel ve kimyasal parametreleri, renk değişimi, reolojik davranışı, biyoaktif bileşikleri ve duyusal özellikleri üzerindeki etkisi özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurutma kinetiği, ultrason, ön işlem, kalite özellikleri

Utilization of Ultrasound Pretreatment on Drying of Foods

ABSTRACT: Drying is a common process in the food industry to produce and store food products with a long shelf life. Since the drying process can cause undesirable results in the quality characteristics of the final product, pretreatments such as ultrasound, which preserve or decrease the quality properties of foods minimally, are applied before drying. Ultrasound (sonication), which is considered as non-thermal food processing technology, has gained considerable attention in recent years with its features such as low energy usage, preserving freshness in foods, high sensory acceptability and improving nutrient content. In this review, the effect of applying ultrasound before drying fruits and vegetables such as olives, Jerusalem artichoke, apples, garlic, melons, on physical and chemical parameters, color change, rheological behavior, bioactive compounds and sensory properties are summarized.

Keywords: Drying kinetics, ultrasound, pretreatment, quality parameters

¹ Alev Yüksel AYDAR ([Orcid ID: 0000-0001-9780-0917](https://orcid.org/0000-0001-9780-0917)), Tuncay YILMAZ ([Orcid ID: 0000-0001-8756-2724](https://orcid.org/0000-0001-8756-2724)), Ceren Evrim MATARACI ([Orcid ID: 0000-0003-1117-9643](https://orcid.org/0000-0003-1117-9643)), Tuba Büşra SAĞLAM ([Orcid ID: 0000-0002-3669-5137](https://orcid.org/0000-0002-3669-5137)) Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Alev Yüksel AYDAR, e-mail: alevyuksel.aydar@cbu.edu.tr

GİRİŞ

Kurutma, gıda endüstrisinde daha uzun raf ömrüne sahip gıda ürünleri üretmek için eski ve yaygın olarak uygulanan bir işlemdir. Bir gıdanın içerdiği suyun önemli olan kısmını, buharlaştırarak uzaklaştırmak için kontrollü ısı uygulama suretiyle yapılan işlem olarak tanımlanan kurutmada temel amaç su aktivitesinin düşürülmesi ve gıdaların raf ömrünün uzatılmasıdır. Su aktivitesinin düşürülmesiyle birlikte mikroorganizma faaliyeti ve enzim aktivitesi de inhibe edilmektedir (Ahmed, 2013).

Gıda maddeleri üretildikleri andan itibaren, tüketime kadar geçen süre içerisinde, birçok enzimatik, mikrobiyolojik ve kimyasal olaylar sonucu hızla bozulma eğilimindedir. Bu oluşumda, yapılarında %98'lere kadar değişen oranlarda bulunan su en önemli rolü oynamaktadır. Kurutulmuş son üründe, hammaddenin ve son ürünün fiziksel özelliklerine, ambalajlama ve depolama şartlarına göre değişmekle birlikte, %3 ile %20 seviyelerinde su bulunabilmektedir. Gıdanın başlangıçta sahip olduğu yüksek miktardaki suyun bu seviyelere kadar azaltılabilmesi için farklı kurutma teknikleri uygulanmaktadır (Tekin, 2015).

Kurutma işleminde gıdadaki su, gıdanın bozulmasına olanak vermeyecek bir düzeye azaltıldığından dolayı kesin bir muhafaza olanağı oluşturmaktadır. Kurutma işlemi uygulanmış olan gıdalar, besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış bir nitelik kazanmaktadırlar. Kurutulmuş gıdanın daha az hacime sahip olması bunların depolanması ve taşınmasında daha az işçilik ve daha az ekipman gerektirmesiyle kurutma en ucuz dayandırma yöntemlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Seçkin ve Taşeri, 2015). Gıdalardan suyun uzaklaştırılması mikrobiyal gelişmeyi önlemektedir, aynı zamanda enzimatik ve bazı kimyasal reaksiyonların da inhibe edilmesini sağlamaktadır (Horuz ve ark., 2017). Ancak, kurutma işlemi son ürünün vitamin, mineral, antioksidan madde miktarı ve renk gibi kalite özelliklerinde istenmeyen sonuçlara sebep olabilmektedir. Bu sebeple gıdaların kalite özelliklerini muhafaza edebilen veya en az düzeyde etkileyen mikrodalga, vakum, vurgulu elektrik, ultrason gibi ön işlemler son yıllarda kurutma öncesi uygulanmaktadır (Baysal ve İçier, 2012; Izli ve ark., 2019).

Gıdada mikroskobik kanallar açarak kurutma esnasında iç direnci azaltan ve suyun uzaklaştırılmasını kolaylaştıran ultrason işlemi gıdalarda son yıllarda sıklıkla kullanılan ısı olmayan teknolojilerden biridir (Ricca ve ark., 2016; Sunil ve ark., 2017). Ultrason ön işleminin kurutma öncesi elma, zeytin, havuç, sarımsak, bamyası, kivi ve kavun gibi birçok gıdada ön işlem olarak kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların birçoğunda kurutma süresi kısalarak ürün kalite özelliklerinden renk, fenolik madde ve antioksidan maddeler üzerinde ultrasonun önemli iyileştirmelere sebep olduğu bulunmuştur (Planinic ve ark., 2005; Fijalkowska ve ark., 2015; Ricca ve ark., 2016; Sunil ve ark., 2017; Bozkir ve ark., 2018). Bu çalışmanın amacı, son yıllarda gıdaların kurutulması öncesinde sıklıkla uygulanan ultrason teknolojisinin kurutma sürecine etkisinin (kurutma hızı, efektif nem difüzyon hızı ve enerji tüketimi vb.) ve kurutulmuş ürünlerin kalite özelliklerinin belirlendiği çalışmaları detaylı olarak incelemektir.

Gıdalarda Ultrason Uygulamaları

Ultrason uygulaması gıda teknolojisinde son yıllarda gelişen ve sıklıkla kullanılan ısı olmayan teknolojilerden olup kullanımı ikiye ayrılır. Bunlar; yüksek frekanslı ve düşük enerjili ultrason ve düşük frekanslı ve yüksek enerjili (güçlü ultrason) ultrason teknolojisidir (Baysal ve İçier, 2012). Düşük şiddetli ultrason ve yüksek şiddetli ultrason her ikisinde gıda endüstrisinde kullanım alanı bulmuştur. Genel olarak düşük şiddetli ultrason gıdaların fizikokimyasal özellikleri hakkında bilgi edinmek amacıyla gıda proseslerinin kontrolünde kullanılmakta iken; yüksek şiddetteki ultrason uygulamaları ise fiziksel olarak bir maddenin özelliklerini değiştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Yüksek şiddetli

ultrason mikroorganizma ve enzim inaktivasyonu, biyoaktif bileşenlerin ekstraksiyonu, emülsifikasyon, ısı ve kütle transferi ve kristalizasyon amacıyla gıda endüstrisinde kullanım alanı bulmaktadır. Ultrason teknolojisinin gelecekte çok daha yaygın uygulama alanı bulacağı düşünülmektedir (Bermúdez-aguirre ve ark., 2011).

Gıda işlemede ekstraksiyon amaçlı ultrason uygulamalarıyla ekstraksiyon verimi ve ekstraksiyon hızında artış sağlanmaktadır. Ayrıca genellikle güvenilir kabul edilen (GRAS) organik çözücülerin ekstraksiyon amacı ile kullanılması ve ekonomik açıdan da uygun olması gibi avantajları mevcuttur ve düşük sıcaklıklarda özellikle ısıya dayanıksız biyoaktif gıda bileşenlerinin ekstraksiyonu amacıyla kullanılabilir. Ekstraksiyon amaçlı ultrason uygulamaları; bitki dokusuna etki ederek vakuol yapılardan fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu, bitkisel tohumlarda lipit ve protein ekstraksiyonu, yağlık tohumlardan ise yağ ekstraksiyonunu kapsamaktadır (Shirzad ve ark., 2017; Yılmaz ve ark., 2017; Aydar, 2018, Aydar, 2020a).

Bitki ya da tohumlardan biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonu solvent, ısı ve/veya karıştırma kombinasyonuna dayalı olarak yapılmaktadır. Ultrasonik ekstraksiyon yüksek sıcaklık ve uzun süreye dayalı diğer ekstraksiyonlar kadar etkilidir; en önemli avantajı ise ekstraksiyon süresini önemli ölçüde kısaltmasıdır. Ultrasonik ekstraksiyonun etkinliği sonikasyon sırasındaki eşzamanlı hidrasyon artışı ve parçalanma işlemindeki materyalden solvante olan kütle transferini kolaylaştırması ile açıklanmaktadır (Bermúdez-aguirre ve ark., 2011; Metherel ve ark., 2009). Aydar ve ark., farklı ekstraksiyon parametrelerinin (ultrason zamanı, başlangıç ultrason sıcaklığı ve malaksasyon zamanı) zeytinyağının antioksidan aktivitesi, verimi, besin ve duyuşsal nitelikleri üzerine etkilerini araştırdığı bir çalışmada malaksasyondan önce sonikasyon uygulanmasının sızma zeytinyağı ekstraksiyonu için etkili bir teknik olduğunu ve bu tekniğin faydasının, naturel sızma zeytinyağının kalitesi veya antioksidan aktivitesi üzerinde olumsuz bir etkisi olmadan daha yüksek ekstraksiyon verimi ve daha düşük ekstraksiyon süresine sebep olduğu sonucuna varmışlardır (Aydar ve ark., 2017)

Kurutma İşlemi Öncesi Ultrason Kullanımı ve Etkileri

Kurutma, bir gıda içerisindeki sıvının uzaklaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifade ile kurutma, meyve ve sebzelerin bünyesindeki % 80–95 oranındaki suyun % 10–20 oranına düşürülerek mikroorganizmaların gelişmesinin önlenmesi ve raf ömrünün uzamasının sağlama işlemidir (Ahmed, 2013). Kurutma prosesi öncesinde ön ısıtma, ultrason, mikrodalga, ozmotik kurutma, solüsyona daldırma gibi çeşitli ön işlemler enerji maliyetini düşürmek, kurutma hızını ve ürün raf ömrünü artırmak amacıyla son yıllarda gıda endüstrisinde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır (Jiménez ve ark., 2007).

Ultrasonik ön işlem de su içeriğini azaltmak veya meyvelerin doku ve mikrobiyal yapısını değiştirmek ve kurutma işlemini hızlandırmak için kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir (Tao ve ark., 2016). Bu ön işlemin gıdanın fenolik bileşenlerini muhafaza etmede etkili olduğu kanıtlanmış ve ultrasonun ısı işlemler öncesi uygulandığında gıdanın raf ömrünü uzatarak bozulmasını engellediği bulunmuştur (Kadam ve ark., 2015a). Kavunun kurutulması öncesi 10 dakika ultrason uygulanan bir çalışmada kurutma sonunda L* değerindeki en büyük artışın ultrason uygulanan örneklerde olduğu tespit edilmiştir (Dias da Silva ve ark., 2016). Elmanın kurutulması öncesi ultrason uygulanmasıyla elma örneklerinin L ve b değerinin arttığı a değerinin ise azaldığı bulunmuştur (Fijalkowska ve ark., 2015). Yer elması üzerinde yapılmış olan bir çalışmada, 60 °C’ de kurutma işlemi öncesinde 5 dakika ultrason uygulanmış yer elmalarının ultrason uygulanmamışlara göre daha açık renkli olduğu gözlenmiştir (Aydar ve ark., 2021).

Ultrason ön işlemi sırasında ultrasonik güç, sonikasyon süresi, frekans ve sonikatör probunun genliği gibi parametreler, gıda malzemelerinin kurutma özelliklerini ve kalitesini önemli ölçüde

etkilemektedir. Elmaların konvektif kurutulmasından önce ultrasonik banyoda 10, 20 ve 30 dakika ultrason ön-işlemi uyguladıklarında kurutma süresi sonikasyon süresi ile önce artmış ve sonra azalmıştır, 20 dakika ultrason ön işleminin ardından kurutulan elmaların kuruma süresinin en uzun olduğu bulunmuştur (Fijalkowska ve ark., 2015). Kurutma öncesi ultrason ön işleminin gıdaların kalite özelliklerine etkisi Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1: Ultrason Ön İşleminin Gıdaların Kalite Özellikleri ve Kuruma Süresi Üzerine Etkileri

Gıda	Frekans (kHz)	Sıcaklık (°C)	Süre (dak.)	Bulgular	Kaynak
Ananas	25	30	10, 20 ve 30	Sonikasyon süresinin artmasıyla su kaybı artmış ve hücrelerde daha büyük mikrokanallar oluşmuştur.	(Fernandes ve ark., 2009)
Ananas	21.8	-	20-40	20 dakikalık ultrason ön işleminin geleneksel kurutma yöntemine göre kurutma süresini 2 saat azalttığı gözlenmiştir.	(Corrêa ve ark., 2017)
Armut	25	25	5	Kurutma süresi, ultrasonik genlik artışı ile önemli ölçüde kısalmıştır; Ultrasonik genlikleri artırarak, numunelerin sertliği azalmıştır.	(Dujmic ve ark., 2013)
Ayva	24	30	15 ve 30	Ultrason zamanındaki artışla birlikte kuru madde kazanımı artmıştır.	(Noshad ve Mohebbi, 2012)
Bamya	25	25	5, 10 ve 15	Ultrason gücü ve sonikasyon süresinin artmasıyla ağırlık kaybı artmıştır. Ultrason ön işleminin renk özelliklerinin iyileştiği, kurutma hızının arttığı, fenolik ve klorofil miktarının arttığı gözlenmiştir.	(Wang ve ark., 2019a)
Böğürtlen	24 kHz	15	10, 20 ve 30	Ultrasonik parametrelerindeki (genlik ve sonikasyon süresi) artış, antioksidan tutunumunda azalmaya sebep olmuştur	(Romero ve Yopez , 2015)
Çilek	25 kHz	30	10, 20, 30 ve 45	Sonikasyon süresinin artmasıyla renk tonu azalmıştır; Düşük ozmotik gradyanda artan sonikasyon süresi ile hafiflik artmış ve yüksek ozmotik gradyanda artan sonikasyon süresi ile azalmıştır.	(Garcia-noguera, ve ark., 2012)
Çilek	40 kHz	20,30 ve 40	10, 20 ve 30	Su kaybı sonikasyon süresinin artmasıyla artmıştır; Kısa sonikasyon süresi renk kayıplarını en aza indirmiştir.	(Amami ve ark., 2017)
Deniz Yosunu	20 kHz	-	10	Daha düşük genlikler daha yüksek ağırlık artışlarına yol açmıştır; Deniz yosunundan suya katıların kaybı genlik seviyesi ile artmıştır; Genlik seviyesinin artırılması, kuruma süresinde önemli bir azalmaya sonuçlanmıştır.	(Kadam ve ark., 2015b)
Domates	25 kHz	26.4	0, 20 ve 40	Artan ultrason süresi ile L*, a* ve b* değeri artmıştır. En yüksek C vitamini 40 dakika, en yüksek likopen ve toplam fenolik madde miktarı ise 20 dakika ultrason uygulanan örneklerde gözlenmiştir.	(Horuz ve ark., 2017)
Dut Yaprağı	20 kHz	-	5-15	Ultrason ön işleminin toplam flavonoid miktarını artırırken toplam fenolik maddede değişim gözlenmemiştir.	(Tao ve ark., 2016)
Elma	25 kHz	-	5, 10 ve 15	Sonikasyon süresi uzadıkça daha fazla çözünür kuru madde tespit edilmiştir; Artan sonikasyon süresi ile birlikte su kaybı artmıştır; Daha kısa sonikasyon süresi (5 dakika) daha düşük su aktivitesi ile sonuçlanmıştır.	(Mothibe ve ark., 2014)
Elma	35 kHz	25	10, 20 ve 30	Ultrason süresi azaldıkça ağırlık kaybı artmıştır;Kurutma hızı 30 dakikalık ultrason işleminde en hızlı olup bunu 20 ve 10 dakikalık ultrason uygulamaları takip etmiştir. Ultrason ön işleminin kurutma süresinin %13-17 oranında azaldığı, L ve b değerinin arttığı, a değerinin ise azaldığı bulunmuştur.	(Fijalkowska ve ark., 2015)
Guava	20-25 kHz	-	20, 40 ve 60	Ultrason özellikleri (güç ve genlik) ve sonikasyon süresi, numunelerin su kaybını, kuru madde kazanımı ve toplam renk değişimini önemli ölçüde arttırmıştır. Dolaylı sonikasyon, doğrudan sonikasyona göre kabul edilebilir toplam renk değişimi ile yüksek su kaybına ve katı kazanıma katkıda bulunmuştur.	(Kek ve ark., 2013)

Gıdaların Kurutulmasında Ultrason Ön İşleminin Kullanımı

Havuç	20 kHz	25	3 ve 10	Daha uzun sonikasyon süresi ile poliasetilenlerin daha iyi muhafaza edilmesi sağlanmıştır. Ultrason ön işlemini takiben dondurularak kurutma sonucunda 24,4 µm'lik en düşük ultrason genlik seviyesinde, en yüksek karotenoid miktarı tespit edilmiştir.	(Rawson ve ark., 2011)
Havuç	25 kHz	-	30 ve 60	60 °C de kurutulan örneklerin rehidrasyon oranlarının 40 °C de kurutulanlardan daha yüksek olduğu bulunmuştur.	(Ricce ve ark., 2016)
Havuç	21 ve 35 kHz	25	10, 20 ve 30	Daha uzun sonikasyon süresi daha yüksek enerji tüketimine yol açmıştır; Daha düşük frekans ve daha kısa sonikasyon süresi, karotenoidlerin daha iyi tutulmasını sağlamıştır.	(Nowacka ve Wedzik, 2016)
Havuç	20 kHz	-	30	Havuç numunelerinin rengi minimum düzeyde değişmiş olup, aromatik ve uçucu bileşiklerin arttığı görülmüştür.	(Wang ve ark., 2018)
Havuç	35 kHz	10, 20, 30	3,5 ve 10	20 °C ve 30 °C de karoten içeriği artan işlem süresi ile önemli ölçüde artmıştır	(Yılmaz ve ark., 2019)
Kavun	25 kHz	30	10, 20 ve 30	Ultrasona tabi tutulan kavunlarda renk özellikleri, karotenoid miktarının uygulanmayanlardan daha iyi korunduğu bulunmuştur. Kurutma hızının da ultrason uygulanmayan örneklerden yüksek olduğu tespit edilmiştir.	(Dias da Silva ve ark., 2016)
Kivi	20 kHz		10-20-30	Ultrason süresi arttıkça askorbik asit miktarında ve renk değişiminde azalma tespit edilmiştir.	(Wang ve ark., 2019b)
Mantar	35 kHz	26	30	Ultrason uygulanan örneklerin renk özellikleri ile fenolik içeriğinin elektroliz uygulananlardan daha iyi olduğu bulunmuştur.	(Bozkır ve ark., 2016)
Muz	25 kHz	30	10, 20 ve 30.	Sonikasyon süresi ile kuruma süresi azalmıştır.	(Moreira ve ark., 2010)
Nar	25 ve 40 kHz	30	10, 20, 30, 45, 60 ve 80	Su kaybı sonikasyon süresi ile artmıştır; 25 kHz'deki numuneler en yüksek çözünmüş madde miktarını göstermiştir; En düşük su aktivitesi 40 kHz'de elde edilmiştir.	(Allahdad ve ark., 2018)
Papaya	25 kHz	30	10, 20 ve 30	Su kaybı sonikasyon süresi ile artmıştır; Damıtılmış suya batırılmış örnekler pozitif şeker kaybı değerleri göstermiştir, ozmotik çözeltilerde değerler negatiftir ve sonikasyon süresi ile artmıştır.	(Rodrigues ve ark., 2009)
Soğan	20 kHz	70	1, 3 ve 5	Daha uzun sonikasyon süresi daha fazla şiddetli oksidatif ve termal bozulma; Düşük genlikler daha yüksek antioksidan aktiviteye yol açtı, daha uzun sonikasyon süresi antioksidan aktiviteyi azaltırken; Daha yüksek genlikler ve daha uzun sonikasyon süresi, flavonoidlerin daha fazla süzülmesine neden olmuştur; Sonikasyon süresi ne kadar uzun olursa renk farkı o kadar yüksek olmuştur.	(Ren, Perussello, Zhang, Kerry, & Tiwari, 2018)
Tilapia Filetosu	-	-	30, 40, 50, 60, 70, 80 ve 90	Ca ²⁺ -ATPase aktivitesi ve rehidrasyon oranı 400 W'da en yüksek iken sertlik ve çiğneme 400 W'da en düşüktür; 60-70 dakikalık ön işlemde sonra, tilapia filetoları iyi bir doku durumu sergilerken, uzun bir süre daha kötü doku ile sonuçlanmıştır.	(Li ve ark., 2017)
Trabzon Hurması	35 kHz	-	10-20-30	Ultrason ön işlemi ile su kaybının arttığı, ultrason süresi arttıkça fenolik madde miktarının azaldığı gözlenmiştir.	(Bozkır ve ark., 2019)
Yaban Mersini	35 ve 130 kHz	-	-	Ultrason süresi arttıkça sertlik ve su aktivitesi azalmıştır; Renk farkı yüksek frekansta daha düşük bulunmuştur.	(Shamaei ve ark., 2011)
Yer Elması	25 kHz	25	5, 10 ve 15	En yüksek toplam fenolik madde 401.01±3.36 mg gallik asit/ 100 g ile 10 dakika ultrason uygulanmış yer elmalarında bulunmuştur.	(Aydar ve ark., 2021)
Zeytin	32 kHz	25	5 ve 10	En yüksek fenolik madde 5 dakika ultrason uygulanan örneklerde tespit edilmiştir.	(Aydar, 2020b)

Çizelge 1 incelendiğinde gıdaların kurutulmasında sonikasyon işleminin çok yaygın olarak araştırıldığı görülmektedir. Sonikasyon süresi su kaybı, kurutma hızı ve gıda kalitesi üzerinde çeşitli

etkiler gösterir. Genel olarak, gıda ürünlerinin kurutulmadan önce ozmotik bir çözeltiliye daldırıldığında ve ultrason ön işleminin uygulandığında daha fazla su kaybettiği bulunmuştur. Rodrigues ve ark. papaya meyvesini ozmotik çözeltiliye batırılmışlar ve su kaybının artan sonikasyon süresiyle arttığını görmüşlerdir (Rodrigues ve ark., 2009). Ananas (Fernandes ve ark., 2009; Corrêa ve ark., 2017), nar (Allahdad ve ark., 2018), kavun (Dias da Silva ve ark., 2016), ve guava meyvesinde (Kek ve ark., 2013) benzer sonuçlar bulunurken, Garcia-Noguera ve ark. çileklerin kurutulması öncesi 25 kHz'de uygulanan sonikasyon süresinin arttırılmasının, su kaybı değerlerini azalttığını ortaya koymuşlardır (Garcia-noguera ve ark., 2012).

Gıdalarda mikro akış ve salınım hızını artıran ultrason, kurutma esnasında yüzeyler arasında bir basınç değişimi yaratmaktadır ve bu durum yüzeyden havaya su aktarımında bir artışa yol açmaktadır. Sonikasyon süresi aynı zamanda kurutma hızını ve gıda kalitesini de etkilemektedir (Azam ve ark., 2020). Moreira ve ark. ultrason ön işleminin muzun kurutma kinetiği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonikasyon süresindeki artışın (10, 20 ve 30 dakika) kurutma oranını arttırdığı görülmüştür (Moreira ve ark., 2010). Ultrason süresi haricinde diğer ultrason parametrelerinin (ultrason gücü, frekans ve genlik) etkilerinin araştırıldığı çalışmalar sınırlıdır. Kadam ve ark. sonikatör probunun genliğinin deniz yosununun kurutma kinetiği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada genlik ne kadar düşük olursa, hacim artışının o kadar yüksek olduğunu bulmuşlardır (Kadam ve ark., 2015b). Kek ve ark. guava dilimlerini ozmotik çözeltiler içinde ön işleme tabi tuttuklarında su kaybı gözlemlenmişler ve genlik ne kadar büyük olursa, su kaybının o kadar yüksek olduğunu bulmuşlardır (Kek ve ark., 2013). Ayrıca, kuruma süresi ve antioksidan retansiyonu önemli ölçüde azalırken, ultrasonik amplitüdeki artışla birlikte toplam renk değişimi artmıştır. Hacim kaybı ve renk farkı da frekansta azalma ve ultrason gücündeki artış ile artmıştır. Ultrason ön işleminin mekanik titreşim ve kavitasyon ile hücreler arası boşlukları genişleterek gıda dokusunda değişikliklere sebep olmakta ve su kaybını kolaylaştırmaktadır. Ultrason sırasında hücreler arası oluşan mikro boşluklar ürünün tahribatını da engellemektedir (Huang ve ark., 2019).

Ultrason destekli kurutma sırasında, uygulama tipi, ultrason sıcaklığı, frekansı ve ultrason gücü gibi parametreler, gıdaların kurutma özelliklerini ve kalitesini de önemli ölçüde etkilemektedir. Ultrason destekli kurutma koşulları ve ürün özellikleri ile kurutma parametreleri üzerine etkileri Çizelge 2'de özetlenmiştir.

Elmaların ultrason destekli kurutulmasının araştırıldığı bir çalışmada geleneksel kurutma ile kıyaslandığında 100 ve 200 W ultrasonik güçte ön işleme tabi tutulan örneklerin toplam kurutma süresinin 235 dakikadan sırasıyla 185 ve 145 dakikaya düştüğü bulunmuştur (Fijalkowska ve ark., 2015). Kouchakzadeh (2013). antep fıstığının güneşte kurutulmasında ultrason destekli bir kurutma üzerine yeni bir yaklaşım uygulamıştır Ortalama kurutma verimliliği 500 W ve 1000 W ultrasonik güçle % 8.5'ten (güneşte kurutma) sırasıyla % 14.7 ve % 28'e yükselmiştir (Kouchakzadeh, 2013). Garcia-Perez ve ark. akustik basınç seviyesinin havuç kurutması üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmada akustik basıncı artırmanın etkisinin neredeyse fark edilebilir olduğunu bulmuşlardır. İyileştirme etkisi sadece ilk 10 dakikada meydana gelmiş ve sonra azalmıştır. Bununla birlikte, ultrasonik enerji havuç örnekleri ile doğrudan temas halinde uygulandığında, kurutma oranı önemli ölçüde geliştirilmiştir (Garcia-Perez ve ark., 2009). Fernandes ve ark. (2009), ultrasonun su difüzyon direncini azaltan ve kurutma sırasında suyun yayılmasını kolaylaştıran mikro kanalların oluşumuna sebep olarak kurutma hızını artırdığını ve aynı şekilde kurutulmuş ürünlerde rehidrasyon kapasitesini de artırdığını belirtmişlerdir (Fernandes ve ark., 2009).

Çizelge 2: Ultrason Destekli Gıda Kurutmasının Kurutma Parametreleri ve Kuruma Hızı Üzerine Etkileri

Gıda	Frekans (kHz)	Güç	Bulgular	Kaynak
Ahududu	-	100 ve 200 W	Kurutma süresi artan ultrason gücü ile azalmıştır.	(Kowalski ve ark., 2016)
Bezelye	20	15.3, 43.1 ve 68.2 W	Ultrasonik gücün artırılması kurutma hızını ve D_e 'yi arttırmıştır.	(Bantle ve Eikevik, 2011)
Çilek	21.8	30 ve 60 W	Kurutma hızı, D_e ve k artan ultrasonik güç ile artmıştır.	(Gamboia-Santos ve ark., 2014)
Elma	20	75 ve 90 W	Kurutma hızı, artan ultrasonik güç ile artmıştır.	(Sabarez ve ark., 2012)
Elma	26	100 ve 200 W	Kurutma hızı, artan ultrasonik güç ile artmıştır.	(Kowalski ve Mierzwa, 2015)
Elma	21.8	-	Ultrason yoğunluğu arttıkça kuruma süresi önemli ölçüde azalmıştır.	(Rodríguez ve ark., 2014)
Elma	21 ve 35	-	Kuru madde kaybı, D_{eff} ve kuruma oranı artan frekans ile artmıştır.	(Fijalkowska ve ark., 2015)
Fıstık	20	500 ve 1000 W	Artan ultrason gücü ile ortalama kurutma verimliliği artmıştır.	(Kouchakzadeh, 2013)
Havuç	21	50, 100, 150 ve 200 W	Kurutma hızı, ultrason gücünün artması ve ultrasonik radyasyon mesafesinin azalması ile artmıştır.	(Denglin ve ark., 2015)
Havuç	35	140 W	En düşük rehidrasyon oranı 10 C de 5 dakika ultrason uygulanan örneklerde gözlenmiştir	(Yılmaz ve ark., 2019)
Havuç ve Limon Kabuğu	21.7	-	Daha fazla akustik güç yoğunluğu uygulandığında kurutma kinetiği ve D_{eff} önemli ölçüde artmıştır.	(Garcia-Perez ve ark., 2009)
Manyok ve Elma	21.8	-	Ne kadar çok ultrason gücü uygulanırsa, kurutma o kadar hızlı olmuştur.	(Ozuna ve ark., 2014)
Model gıda	20	60 ve 120 W	Kurutma hızı, artan ultrason gücü ile artmıştır.	(Beck ve ark., 2014)
Patates	21.8	0, 6, 12, 19, 25, 31 and 37 kW/m ³	Uygulanan güç ne kadar artarsa kurutma hızı o kadar yüksekmiştir.	(Ozuna ve ark., 2014)
Patlıcan	20	45 ve 90 W	Kurutma hızı ve nem kaybı, artan ultrason güç yoğunluğu ile artmıştır.	(García-pérez ve ark., 2011)
Sarımsak	20	-	Kuruma süresi azalmıştır ve renk farkı ultrason yoğunluğunun artmasıyla artmıştır.	(Tao ve ark., 2018)
Yer Elması	25	100 W	Ultrason süresi arttıkça efektif nem difüzyon katsayısı artmıştır	(Aydar ve ark., 2021)
Yeşil Biber	20	100 ve 200 W	Artan ultrason gücü ile kuruma süresi azalmıştır.	(Szadzinska ve ark., 2017)
Zeytin	25	100 W	Ultrason süresi arttıkça efektif nem difüzyon katsayısı ve kuruma hızı artmıştır.	(Aydar, 2021)
Zeytin	32	100 W	Siyah zeytinlerin rehidrasyon yeteneklerinin yeşil zeytinlere oranla daha iyi olduğu bulunmuştur.	(Aydar, 2020b)

Ultrasonik güç seviyesi renk başta olmak üzere gıda kalitesini önemli düzeyde etkilemektedir. Tao ve ark. sarımsak dilimlerinin geleneksel kurutulmasında direkt ultrason teknolojisini uygulamışlardır. Toplam renk değişimi ultrasonik güç yoğunluğu ile artmasına rağmen, ultrason uygulanan örneklerin ultrason uygulanmadan kurutulan örneklerden daha açık renkli olduğu bulunmuştur. Aynı çalışma sarımsak renginin düşük ultrasonik güç altında daha iyi korunabileceğini göstermiştir (Tao ve ark., 2018). Kurutma esnasında renk değişimini etkileyen enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlar, gıdaların renklerinde etkin karotenoid, klorofil gibi bileşenlerin termal ve/veya oksidatif bozulmalara maruz kalmaları gibi sebepler vardır (Dias da Silva ve ark., 2016). Enzimlerin inaktivasyonu üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda, özellikle meyve ve sebzeleri depolama ve kurutma sırasında

kahverengileşme reaksiyonunda rol alan ana enzim olan polifenoloksidazın (PPO) inaktif hale getirilmesinde ultrasonun oldukça etkili bir işlem olmasının meyve sebzelerde istenmeyen kahverengi pigmentlerin oluşumunu azalttığı veya durdurduğu bildirilmiştir (Wang ve ark., 2019b). Ultrasonun mekanik kavitasyon etkisi enzim inaktivasyonunu sağlamaktadır. Mikro boyutta kabarcıkların oluşması ve çökmesinin neden olduğu kavitasyon esnasında mikro ölçekte sıcaklığın (5000 °K'ye kadar) ve basıncın (50 MPa' a kadar) artması sonucu büyük miktarda enerji açığa çıkmaktadır. Bu hızlı kabarcık patlaması, enzim inaktivasyonuna neden olabilecek sıcaklık, basınç ve kayma stresi gibi enzim ortamını değiştirmektedir. Armut, elma ve çilek pürelindeki PPO enzim inaktivasyonunda 32 °C de 10 dakika ultrason işleminin yeterli olduğu Sulaiman ve ark. tarafından belirtilmiştir (Sulaiman ve ark., 2015).

Diğer parametrelerin etkilerinin araştırılması çok sınırlı olmakla beraber Denglin ve ark. Ultrason destekli sıcak hava kurutucusu tasarladıkları çalışmada ultrason gücü, ultrasonik radyasyon mesafesi, hava hızı ve hava sıcaklığının havuçların kurutma özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlar ve havuç dilimlerinin kurutma hızının, ultrason gücünün artması ve ultrasonik radyasyon mesafesinin azalmasıyla arttığını bulmuşlardır (Denglin ve ark., 2015). Ultrasonik banyo ile uygulanan ultrason ön işlemlerinde gıdanın ultrasonik banyodaki suya oranı da uygulama etkinliğini etkilemektedir. Son yıllarda ürün/su konsantrasyon etkisinin araştırıldığı çalışmalar da yapılmaktadır. Yapılan çalışmalara bakıldığında ürün:su oranı (ağırlık:ağırlık) kurutulacak gıdaya ve diğer çalışma parametrelerine göre değişmekle beraber 5-10 dakikalık ultrason uygulamalarında 1:4 ve 1:5 oranlarının, daha yüksek sürelerde uygulanan ultrason ön işlemlerinde (≥ 15 dakika) ise bu oranın 1:9 olarak uygulanabileceği belirlenmiştir (Aydar, 2020b; Aydar 2021; Nowacka ve Wedzik, 2016).

SONUÇ

Kurutma işleminde ultrason ön işleminin etkisi son yıllarda elma, havuç, böğürtlen, yer elması, zeytin, sarımsak, soğan ve patates gibi birçok meyve sebze üzerinde çalışılmıştır. Ultrasonun etkinliği gıdanın türü, ultrason frekansı, gücü, ultrason uygulama tipi (direkt ve indirekt) ve uygulama sıcaklığı ve süresi gibi birçok etkene bağlı değişmektedir. Çalışmalar sonucunda kurutma işlemi öncesinde ultrason uygulandığında ultrasonun kavitasyon etkisiyle gıdalarda oluşan mikrokanalların kurutma hızını artırarak kurutma süresini azalttığı ve rehidrasyon kabiliyetlerini de koruduğu bulunmuştur. Aynı zamanda yapılan çalışmalar incelendiğinde ultrasonun fenolik maddeler, antioksidan aktivite, ve renk özellikleri gibi gıdaların kalite özelliklerini korumada etkili bir ön işlem olduğu sonucuna varılmaktadır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Ahmed N, 2013. Different Drying Methods : Their Applications and Recent Advances. Internatinoal Journal of Food Nutrition and Recent Advances, 4(1)(April): 34–42.
- Allahdad Z, Nasiri M, Varidi M, Varidi MJ, 2018. Effect of sonication on osmotic dehydration and subsequent air-drying of pomegranate arils. Journal of Food Engineering, 244: 202–211.
- Amami E, Khezami W, Mezrigui S, Badwaik LS, Bejar AK, Perez CT, Kechaou N, 2017. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry. Ultrasonics - Sonochemistry, 36: 286–300.
- Aydar AY, Bağdatlıoğlu N, Köseoğlu O, 2017. Effect of ultrasound on olive oil extraction and optimization of ultrasound-assisted extraction of extra virgin olive oil by response surface methodology (RSM). Grasas y Aceites. International Journal of Fats and Oils, 68(2): e189.

- Aydar AY, 2018. Physicochemical Characteristics of Extra Virgin Olive Oils Obtained By Ultrasound Assisted Extraction from Different Olive Cultivars. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 4(May(3)): 1–10.
- Aydar AY, 2020a. Quality Parameters and Drying Kinetics of Ultrasound Pretreated Fermented Black Table Olives. *Latin American Applied Research*. 50(4):271-276.
- Aydar AY, 2020b. Rehydration and Drying Kinetics of Ultrasound Pretreated Microwave Dried Olive Slices Using Peleg 's Model. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(4): 401–408.
- Aydar AY, Yılmaz T, Mataracı CE, Sağlam TB, 2021. Effect of ultrasound pretreatment on Drying Kinetics and Quality Properties of Jerusalem Artichoke. *Latin American Applied Research*, Under review.
- Aydar AY, 2021. Investigation of Ultrasound Pretreatment Time and Microwave Power Level on Drying and Rehydration Kinetics of Green Olives. *Food Science and Technology*, 41(1): 238-244.
- Azam SMR, Ma H, Xu B, Devi S, Bakar A, Stanley SL, Zhu J, 2020. Efficacy of ultrasound treatment in the and removal of pesticide residues from fresh vegetables : A review. *Trends in Food Science & Technology*, 97(301): 417–432.
- Bantle M, Eikevik TM, Bantle M, Eikevik TM, 2011. Parametric Study of High-Intensity Ultrasound in the Atmospheric Freeze Drying of Peas. *Drying Technology*, 29: 37–41.
- Baysal T, İçier F, 2012. *Gıda Mühendisliğinde Isıl Olmayan Teknolojiler*. (İçier Filiz, Ed.). Bornova, İzmir: Nobel yayıncılık.
- Beck SM, Sabarez H, Gaukel V, Knoerzer K, 2014. Ultrasonics Sonochemistry Enhancement of convective drying by application of airborne ultrasound – A response surface approach. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21: 2144–2150.
- Bermúdez-aguirre D, Mobbs T, Barbosa-cánovas GV, 2011. *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*.
- Bozkır H, Ergun AR, Tekgul Y, Baysal T, 2018. Ultrasound as pretreatment for drying garlic slices in microwave and convective dryer. *Food Science and Biotechnology*.
- Bozkır H, Ergün AR, Serdar E, Metin G, Baysal T, 2019. Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit. *Ultrasonics Sonochemistry*, 54(February): 135–141.
- Bozkır H, Ergün AR, Baysal T, 2016. Effects of electrical and sonication pretreatments on the drying rate and quality of mushrooms. *LWT - Food Science and Technology*, 69: 197–202.
- Corrêa JLG, Rasia MC, Mulet A, Cárcel JA, 2017. Influence of ultrasound application on both the osmotic pretreatment and subsequent convective drying of pineapple (*Ananas comosus*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 41(November 2016): 284–291.
- Denglin L, Juan L, Yuhong L, Guangyue R, 2015. Drying characteristics and mathematical model of ultrasound assisted hot-air drying of carrots. *International Journal of Aricultural and Biological Engineering*, 8(4): 124–132.
- Dias da Silva G, Barros ZMP, de Medeiros RAB, de Carvalho CBO, Rupert Brandão SC, Azoubel PM, 2016. Pretreatments for melon drying implementing ultrasound and vacuum. *LWT - Food Science and Technology*, 74: 114–119.
- Dujmic F, Brncic M, Karlovic S, Bosilijkov T, Jezek D, Tripalo B, Mofardin I, 2013. Ultrasound-Assisted Infrared Drying of Pear Slices: Textural Issues. *Journal of Food Process Engineering*, 36: 397–406.
- Fernandes FAN, Izabel M, Rodrigues S, 2009. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration, 90: 186–190.
- Fijalkowska A, Nowacka M, Wiktor A, Witrowa-Rajchert D, Sledz M, 2015. Ultrasound as a pretreatment method to improve drying kinetics and sensory properties of dried apple. *Journal of Food Process Engineering*, 1–10.
- Gamboa-Santos J, Montilla A, Andres Carcel J, Villamiel M, Garcia-Perez JV, 2014. Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry. *Journal of Food Engineering*, 128: 132–139.
- Garcia-noguera J, Oliveira FIP, Weller CL, Rodrigues S, Fernandes FAN, 2012. Effect of ultrasonic and osmotic dehydration pre-treatments on the colour of freeze dried strawberries. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9): 2222–2227.
- Garcia-Perez JV, Cárcel JA, Riera E, Mulet A, 2009. Influence of the Applied Acoustic Energy on the Drying of Carrots and Lemon Peel. *Drying Technology*, 27, 37–41. <http://doi.org/10.1080/07373930802606428>
- García-pérez JV, Ozuna C, Ortuño C, Cárcel JA, Mulet A, Garcí V, Mulet A, 2011. Modeling Ultrasonically Assisted Convective Drying of Eggplant. *Drying Technology*, 29: 37–41. <http://doi.org/10.1080/07373937.2011.576321>

- Horuz E, Jaafar HJ, Maskan M, 2017. Ultrasonication as pretreatment for drying of tomato slices in a hot air – microwave hybrid oven. *Drying Technology*, 35(7): 849–859.
- Huang D, Men K, Li D, Wen T, Gong Z, Sundén B, Wu Z, 2019. Application of ultrasound technology in the drying of food products. *Ultrasonics Sonochemistry*, 30: 1–16.
- Izli N, Taskin O, Izli G, 2019. Drying of lime slices by microwave and microwave combined convective methods, *Italian Journal of Food Science*, 31: 487–500.
- Jiménez A, Beltrán G, Uceda M, 2007. High-power ultrasound in olive paste pretreatment. Effect on process yield and virgin olive oil characteristics. *Ultrasonics Sonochemistry*, 14(6): 725–731.
- Kadam SU, Tiwari BK, Álvarez C, O'Donnell CP, 2015a. Ultrasound applications for the extraction, identification and delivery of food proteins and bioactive peptides. *Trends in Food Science & Technology*, 46(1): 60–67.
- Kadam SU, Tiwari BK, Smyth TJ, O'Donnell CP, 2015b. Optimization of ultrasound assisted extraction of bioactive components from brown seaweed *Ascophyllum nodosum* using response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 23: 308–316.
- Kek SP, Chin NL, Yusof YA, 2013. Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices. *Food and Bioproducts Processing*, (April): 1–12.
- Kouchakzadeh A, 2013. The effect of acoustic and solar energy on drying process of pistachios. *Energy Conversion and Management*, 67: 351–356.
- Kowalski SJ, Mierzwa D, 2015. Ultrasound-Assisted Convective Drying of Biological Materials. *Drying Technology*, (April): 37–41.
- Kowalski SJ, Pawłowski A, Szadzi J, 2016. High power airborne ultrasound assist in combined drying of raspberries. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34: 225–234.
- Li M, Pina A, Ferrão P, Fournier J, Lacarrière B, Corre OL, 2017. Impact of ultrasound-assisted osmotic on as and on the quality of heat pump dried tilapia fillets the quality of heat pump dried tilapia fillets. *Energy Procedia*, 123: 243–255.
- Metherel AH, Taha AY, Izadi H, Stark KD, 2009. The application of ultrasound energy to increase lipid extraction throughput of solid matrix samples (flaxseed). *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 81(5–6): 417–423.
- Moreira P, Melo A, Amorim R, Sorelly S, Oliveira B, 2010. Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 97(2): 194–198.
- Mothibe KJ, Zhang M, Mujumdar AS, Wang YC, Mothibe KJ, Zhang M, Cheng X, 2014. Effects of Ultrasound and Microwave Pretreatments of Apple Before Spouted Bed Drying on Rate of Dehydration and Physical Properties. *Drying Technology*, (October): 37–41.
- Noshad M, Mohebbi M, 2012. Multi-Objective Optimization of Osmotic – Ultrasonic Pretreatments and Hot-Air Drying of Quince Using Response Surface Methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 5: 2098–2110.
- Nowacka M, Wedzik M, 2016. Effect of ultrasound treatment on microstructure, colour and carotenoid content in fresh and dried carrot tissue. *Applied Acoustics*, 103: 163–171.
- Ozuna C, Álvarez-arenas TG, Riera E, Cárcel JA, García-perez JV, 2014. Ultrasonics Sonochemistry Influence of material structure on air-borne ultrasonic application in drying. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 21(3): 1235–1243.
- Planinic M, Velic D, Tomas S, Bilic M, Bucic A, 2005. Modelling of drying and rehydration of carrots using Peleg's model. *European Food Research and Technology*, 221: 446–451. <http://doi.org/10.1007/s00217-005-1200-x>
- Rawson A, Tiwari BK, Tuohy MG, O'Donnell CP, Brunton N, 2011. Effect of ultrasound and blanching pretreatments on polyacetylene and carotenoid content of hot air and freeze dried carrot discs. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(5): 1172–1179.
- Ren F, Perussello CA, Zhang Z, Kerry JP, Tiwari BK, 2018. Impact of ultrasound and blanching on functional properties of hot-air dried and freeze dried onions. *LWT - Food Science and Technology*, 87: 102–111.
- Ricce C, Lindsay M, Claudio A, Siche R, Esteves P, Augusto D, 2016. Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration. *Food Research International*, 89(1): 701–708.
- Rodrigues S, Oliveira FIP, Gallão MI, Fernandes FAN, Rodrigues S, Oliveira FIP, Galla MI, 2009. Effect of Immersion Time in Osmosis and Ultrasound on Papaya Cell Structure during Dehydration. *Drying Technology*, (June 2013): 37–41.
- Rodríguez Ó, Santacatalina JV, Simal S, García-perez JV, Femenia A, Rosselló C, 2014. Influence of power ultrasound application on drying kinetics of apple and its antioxidant and microstructural properties. *Journal of Food Engineering*, 129: 21–29.

- Romero JCA, Yopez V, BD, 2015. Ultrasonics Sonochemistry Ultrasound as pretreatment to convective drying of Andean blackberry (*Rubus glaucus* Benth). *Ultrasonics - Sonochemistry*, 22: 205–210.
- Sabarez HT, Gallego-Juarez JA, Riera E, 2012. Ultrasonic-Assisted Convective Drying of Apple Slices. *Drying Technology*, (May): 989–997.
- Seçkin GU, Taşeri L, 2015. Yarı Kurutulmuş Meyve ve Sebzeler. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(9): 414–420.
- Shamaei S, Emam-djomeh Z, Moini S, 2011. Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration of Cranberries: Effect of Finish Drying Methods and Ultrasonic Frequency on Textural Properties. *Journal of Texture Studies*, 1–9.
- Shirzad H, Niknam V, Taheri M, Ebrahimzadeh H, 2017. Ultrasound-assisted extraction process of phenolic antioxidants from Olive leaves: a nutraceutical study using RSM and LC–ESI–DAD–MS. *Journal of Food Science and Technology*, 54(8): 2361–2371.
- Sulaiman A, Soo MJ, Farid M, Silva FVM, 2015. Thermosonication for polyphenoloxidase inactivation in fruits : Modeling the ultrasound and thermal kinetics in pear , apple and strawberry purees at different temperatures. *Journal of Food Engineering*, 165: 133–140.
- Sunil CK, Kamalpreetha B, Sharathchandra J, Aravind KS, Rawson A, 2017. Effect of ultrasound pre-treatment on microwave drying of okra. *Journal of Applied Horticulture*, 19(1): 58–62.
- Szadzinska J, Łechtanski J, Kowalski SJ, Stasiak M, 2017. The effect of high power airborne ultrasound and microwaves on convective drying effectiveness and quality of green pepper. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34: 531–539.
- Tao Y, Wang P, Wang Y, Kadam SU, Han Y, Wang J, Zhou J, 2016. Power ultrasound as a pretreatment to convective drying of mulberry (*Morus alba* L.) leaves: Impact on drying kinetics and selected quality properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31: 310–318.
- Tao Y, Zhang J, Jiang S, Xu Y, Show P, Han Y, Ye M, 2018. Contacting ultrasound enhanced hot-air convective drying of garlic slices: Mass transfer modeling and quality evaluation. *Journal of Food Engineering*, 235: 79–88.
- Tekin ZH, 2015. Biberlerin Kurutulmasında Kalite Özelliklerinin İyileştirilmesi Amacıyla Ultrason Destekli Vakum Kurutma Yönteminin Uygulanması. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Wang H, Zhao QS, Wang XD, Hong Z, Zhao B, 2019a. Pretreatment of ultrasound combined vacuum enhances the convective drying efficiency and physicochemical properties of okra (*Abelmoschus esculentus*). *LWT - Food Science and Technology*, 112(May): 108201.
- Wang J, Xiao HW, Ye JH, Wang J, Raghavan V, 2019b. Ultrasound Pretreatment to Enhance Drying Kinetics of Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) Slices: Pros and Cons. *Food and Bioprocess Technology*, 865–876.
- Wang L, Xu B, Wei B, Zeng R, 2018. Low frequency ultrasound pretreatment of carrot slices: Effect on the moisture migration and quality attributes by intermediate-wave infrared radiation drying. *Ultrasonics Sonochemistry*, 40(June 2017): 619–628.
- Yılmaz B, Cakmak H, Tavman S, 2019. Ultrasonic pretreatment of carrot slices : Effects of sonication source on drying kinetics and product quality. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 91(3): 1–14.
- Yılmaz T, Kumcuoglu S, Tavman, 2017. Ultrasound-assisted extraction of lycopene and β -carotene from tomato-processing wastes. *Italian Journal of Food Science*, 29(1): 186–194.