

GIDALARIN KURUTULMASINDA MİKRODALGA VE SICAK HAVA YÖNTEMLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Gülçin YILDIZ & Doç. Dr. Gökçen İZLİ



İKSAD
Publishing House

GIDALARIN KURUTULMASINDA MİKRODALGA VE SICAK HAVA YÖNTEMLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Gülçin YILDIZ¹, Doç. Dr. Gökçen İZLİ²



¹ Iğdır Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Iğdır, Türkiye. gulcn86@gmail.com

² Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye. gokcen.izli@btu.edu.tr

Copyright © 2020 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced,
distributed or transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or
mechanical methods, without the prior written permission of the publisher,
except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other
noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic
Development and Social
Researches Publications®
(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)
TURKEY TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2020©

ISBN:

Cover Design: İbrahim KAYA
April / 2020
Ankara / Turkey
Size = 14,8 x 21 cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	1
GİRİŞ	3
1. MİKRODALGA VE SICAK HAVA YÖNTEMLERİ.....	6
2. GIDALARIN KURUTULMASINDA ULTRASES (ULTRASONİK SES DALGALARI) ÖN İŞLEMİ..	22
2.1. Ultrasonik Ses Dalgaları	24
2.2. Ultrasonik Ses Dalgalarının Gıda Endüstrisinde Kullanım Alanları.....	33
2.2.1. Ultrasonik Ses Dalgalarının Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkisi	35
2.2.2. Ultrasonik Ses Dalgalarının Gıda Enzimleri Üzerine Etkisi	38
2.2.3. Ultrasonik Ses Dalgalarının Dondurma Teknolojisi Üzerine Etkisi	43
2.2.4. Ultrasonik Ses Dalgalarının Homojenizasyon/Emülsifikasyon Üzerine Etkisi	45
2.2.5. Ultrasonik Ses Dalgalarının Et Teknolojisi Üzerine Etkisi	47
2.2.6. Ultrasonik Ses Dalgalarının Filtrasyon İşlemine Etkisi ...	48
2.2.7. Ultrasonik Ses Dalgalarının Ekstraksiyon İşlemi Üzerine Etkisi	48
2.2.8. Ultrasonik Ses Dalgalarının Gıdaların Kurutulması Üzerine Etkisi	50

3. GIDALARIN KURUTULMASINDA MİKRODALGA VE SICAK HAVA YÖNTEM ÇALIŞMALARI.....	59
4. SONUÇ	94
KAYNAKÇA.....	96

ÖNSÖZ

Meyve ve sebzeler yüksek oranda su içerdiklerinden dolayı kimyasal ve mikrobiyolojik yönden bozulmaya elverişli gıdalardır. Dayanma süresi oldukça kısa olan bu ürünlerin uzun süre kullanımının sağlanması amacıyla günümüzde; soğukta muhafaza, dondurma, kurutma, koruyucu madde ilavesi gibi çeşitli muhafaza teknikleri kullanılmakta ve bozulmaya neden olan reaksiyonların hızı en aza indirilerek kalitenin korunması amaçlanmaktadır (Topdaş vd., 2011).

Gıdaların kurutulması yıllardan beri uygulamakta olan en eski muhafaza yöntemlerindendir. Kurutmadaki amaç, yaş ürünlerdeki serbest suyu uzaklaştırarak, oluşabilecek biyokimyasal reaksiyonların ve mikroorganizma gelişmesinin durdurulması ile ürünlerin bozulmadan uzun süre depolanmasını sağlamaktır. Böylece ürünler, hasat mevsimi dışında ve üretilmedikleri bölgelerde de ulaşılabilir olmaktadır. Ayrıca kurutulan ürünlerin hacim ve ağırlığı düşülerek paketleme ve taşıma işlemleri daha kolay ve ekonomik hale gelmektedir.

Kurutma işlemi, gıdaların uzun süre dayanıklılığı için uygulanan en eski yöntemlerden biri olup, bu yöntemin uygulanmasında

gelişen yeni teknolojilerin desteği ile hem son ürün kalitesi ve hem de enerji sarfıyatı açısından araştırmalar halen devam etmektedir. Kurutma işlemi önceleri geleneksel olarak açık alana serilen ürünlerin doğal konveksiyonla kurutulması ile gerçekleştirilirken, zaman içerisinde teknolojik gelişmeler ile birlikte bu yöntemin yerini; daha hızlı, daha hijyenik ve daha homojen kurutma sağlayabilen kurutma uygulamaları almıştır (Maskan, 2001a).

Bu kitapta, kurutma yöntemlerinden en popüler 2 yöntem (mikrodalga ve sıcak hava kurutma yöntemleri) incelenecek olup, literatürde bu yöntemlerle yapılan çalışmalar ve bu yöntemlerin uygulandığı gıda maddeleri üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde verilecektir.

GİRİŞ

Mikrodalga ile kurutma prosesinde yalnızca materyaldaki su ısıtıldığından final sıcaklığı doğal olarak kontrol altına alınmakta ve artakalan su tamamıyla uzaklaştırılmaktadır. Sıcaklık azalması içten dışa doğru olduğundan iç taraftaki su çok daha kolay uzaklaştırılır. Kondüksiyondan ayrı bir şekilde ısı iletimi gerçekleştiğinden kuruyan alan ısı iletimine etki etmez. Yüzeyde herhangi bir sertleşme gerçekleşmediğinden kütle aktarımında herhangi bir yavaşlama meydana gelmez ve stabil debide kuruma süresi uzar. Bu durumlar referans alındığında mikrodalgada kurutma prosesinin geleneksel kurutma metotlarına kıyasla, ürünün kalitesi ve maliyeti bakımından daha üstün özelliklere sahip olduklarını söylemek olasıdır. Ancak, gıda ve gıda maddelerinin mikrodalga ile kurutulma işlemi düşük olmayan nem oranlarında ekonomik bir uygulama değildir. Yüzde yirmi ve üzeri nem içeriğine sahip gıda ürünlerinden su uzaklaştırılırken geleneksel ısıtma metotları mikrodalgalardan daha etkili olmaktadır. Mikrodalga kurutma ile geleneksel kurutma yöntemleri kıyaslandığında özel ürünlerde veya temel proseslerde daha etkin bir hale gelebilmektedir. Geleneksel uygulamalara nazaran mikrodalga

kurutma metodu, işletmelerin içerisinde daha kısıtlı bir alan kaplaması sebebiyle geleneksel ısıtma sistemleriyle birleştirilerek ekipmanların dizaynına olanak vermektedir. Mikrodalga işlemi ayrıca ambalajlanmış besin maddelerinin ısıtılmasına da olanak sağlamaktadır. Tüm bu sayılan yararların dışında, mikrodalga sistemlerinin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajları şu şekilde özetlemek mümkündür:

- mikrodalga ekipmanlarının tasarım ve kurulumunun yüksek maliyetli oluşu sebebiyle yatırım masraflarını arttırması,
- şekilsiz besin maddelerinin homojen bir şekilde ısıtılamayışı, ve
- geometrik şekle sahip bir takım gıdaların köşe ve kenarlarında ısıtmanın yeterli olmayışı şeklinde sıralanabilmektedir (Karaaslan ve Tunçer, 2008).

Mikrodalga ile kurutmada ısı, gıda ve gıda maddelerinin hızlı kuruması için uygun basınç ve sıcaklıktaki nemli materyalin içerisinde, mikrodalga enerjisinden termal enerjiye çevrilmektedir. Normal fırınlarda ısı, gıda malzemelerine dış taraftan iç kısma iletilmekte ve bu durum uzun bir müddet

sürmekte iken, mikrodalga ile kurutmada ısı, doğrudan gıdanın içerisine verilmektedir. Sıcak hava ile kurutma yöntemi ile mikrodalga-sıcak hava (konveksiyonel) kombinasyonu karşılaştırıldığında, kombine sistemin kuru ürünün kalitesinde herhangi bir azaltma meydana getirmeden biyolojik materyalin kuruma süresini önemli derecede azalttığı belirlenmiştir. Hava kurutmalı sistemlerde, sıcak hava ürün üzerinde serbest halde bulunan suyu uzaklaştırırken, mikrodalga kurutmada ise, ürünün içerisinde bulunan serbest su uzaklaştırılmaktadır. Sıcak hava ve mikrodalga'nın birlikte kullanıldığı kurutma sistemleri sadece ürünün kuruma oranını arttırmakla kalmayıp, aynı zamanda elde edilen kuru ürünün kalitesini de arttırmaktadırlar (Karaaslan ve Tunçer, 2008).

1. MİKRODALGA VE SICAK HAVA YÖNTEMLERİ

Mikrodalga ve sıcak hava kurutma yöntemlerine yönelik literatürde yapılan çalışmalar ve sonuçları aşağıda özetlenmiştir. Bu iki yöntemin tek başlarına kullanımlarının yanı sıra başka metotlarla (farklı kurutma yöntemleriyle) kullanımı ve de kurutma işleminin öncesinde farklı ön işlemlere tabi tutulan meyveler üzerindeki etkileri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir:

Tulasidas vd. (1993) yaptıkları bir çalışmada konvektif, mikrodalga ve konvektif-mikrodalga birleşimi kurutma yöntemlerini kullanarak üzüm örneklerini kurutmuşlardır. Çalışmalarında kimyasal ön işlem uyguladıkları (alkali çözeltisine daldırma) ve kimyasal ön işlem uygulamadıkları üzüm meyvelerinin kuruma özelliklerini karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar dikkatle incelendiğinde, kimyasal ön işlem ile muamele edildikten sonra kuruttukları üzüm örneklerinin daha kısa bir zamanda kuruduklarını ve daha iyi kalite özelliklerine sahip olduklarını tespit etmişlerdir. Ayrıca hem kimyasal ön işlem uyguladıkları hem de kimyasal ön işlem uygulamadıkları üzüm meyveleri için kullanmış oldukları kurutma yöntemlerini karşılaştırdıklarında mikrodalga kurutma

yöntemiyle kurutulan üzümlerden diğer kurutma yöntemleriyle kurutulan üzümlere göre özellikle kalite değerleri açısından daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Mikrodalga-konvektif birleşimi kurutma yönteminin kurutulan ürünlerde kurutma süresini oldukça azalttığı tespit edilmiştir.

Prabhanjan vd. (1995) yaptıkları bir çalışmada havuç küplerini konvektif, mikrodalga ve mikrodalga destekli konvektif kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuşlardır. Mikrodalga ile konvektif kurutmanın aynı anda kullanıldığı mikrodalga destekli konvektif kurutma yönteminin sadece mikrodalga ve sadece konvektif kurutma yöntemlerine oranla %25-90 oranında zaman kazanımı sağladığı tespit edilmiştir. Kurutulan havuç örneklerinin renkleri incelendiğinde, konvektif kurutma yöntemiyle ya da düşük mikrodalga güçleriyle kurutulan ürünlerin, yüksek mikrodalga güçlerinde kurutulan ürünlere kıyasla daha iyi sonuç verdikleri tespit edilmiştir.

Funebo ve Ohlsson (1998) yaptıkları bir çalışmada sıcak hava kurutma ve mikrodalga destekli sıcak hava kurutma yöntemlerini kullanarak elma ve mantarları kurutmuşlar ve kullanmış oldukları 2 yöntemi ürün kalitesi açısından karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında mikrodalga yardımıyla

sıcak hava kurutma yöntemini kullanırlarken düşük güçte mikrodalga gücü uygulamışlardır. Kalite parametreleri olarak tekrar su alma kapasitesi, hacim yoğunluğu ve renk parametrelerini değerlendirmişlerdir. Deneylerinde düşük hava hızı kullanımının ürünler üzerinde kahverengileşmeye neden olduğunu belirtmişler ve bu nedenle çalışmalarında minimum hava hızını 1 m/s olarak tanımlamışlardır.

Akyıldız (1999) yaptığı bir çalışmada kurutulmuş elma cipsi üretiminde değişik çözelti kullanımının ürünün bir takım özellikleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışmada materyal olarak Amasya, Golden delicious ve Starkrimson elma çeşitleri kullanılmıştır. Kurutma işlemi kesikli çalışan sıcak hava akımlı dehidratörde 75 °C sıcaklıkta gerçekleşmiştir. Yapılan analizler sonucunda taze elma rengine en yakın örneğin Golden delicious çeşidine ait olduğu tespit edilmiş, en gevrek yapılı ve rehidrasyon oranı en yüksek elma cipslerinin ise Amasya çeşidinde olduğu bildirilmiştir.

Shi vd. (1999) gerçekleştirdikleri bir çalışmada değişik tarzda kurutma metotları kullanarak domatesleri %50-55 ile %3-4 nem seviyesine dek kurutmuşlar ve bu numunelerde all-trans ve cis

izomerlerin miktarlarını tespit etmişlerdir. Söz konusu araştırmada domatesler; sıcak hava uygulaması ile 95 °C sıcaklıkta 6-10 saat boyunca, vakum ile 55 °C sıcaklıkta 4-8 saat süresince ve 65° Brix'teki sakaroz çözeltisinde 25 °C sıcaklıkta 4 saat kadar ozmotik bir şekilde kurutulmuştur. Kurutma prosesi esnasında total likopen (all-trans) miktarında kayda değer bir değişim yaşanmamıştır. Buna ek olarak, en yüksek likopen kaybı ve cis izomer oluşumunun sıcak hava ile kurutulan domates örneklerinde saptandığı belirtilmiştir. Buna karşılık, ozmotik ve vakum kurutma kombine bir biçimde uygulandığında, vakum ve sıcak hava ile kurutmaya nazaran daha düşük likopen ve cis izomer oluşumu gözlemlenmiştir. Bunun ana sebebi olarak da, ozmotik kurutma esnasında şeker çözeltisinin, O₂'nin likopen ile temasını önlemesi ve böylece de likopen oksidasyonunu engellemesi gösterilmiştir.

Zanoni vd. (1999a, 1999b) gerçekleştirmiş oldukları bir araştırmada 80 °C ile 110 °C hava sıcaklıkları ve 1.5 m/s hava hızı koşulları altında kurutmaya tabi tutulan Rita çeşidi domateslerde oksidasyona bağlı ısı kaybını analiz etmişlerdir. Araştırma esnasında domatesler 2'ye bölünerek çekirdek ve parankima bölümlerinin alınmasını takiben delikli tepsilere

sıralanmış ve dolap biçimindeki kurutuculara dizilmişlerdir. Kurutma esnasında domatesler yaş ağırlık temel alınarak % 10 nem içeriğine dek kurutulmuşlardır. Araştırmacılar gerek 80 °C ve gerekse de 110 °C hava sıcaklıkları için kısa bir ısınma ile sabit hızlı kuruma süresinin peşinden uzun, azalan bir hızla kuruma dönemi olduğunu gözlemlemişlerdir. Domates örneklerinin nem içeriğini % 10 civarına indirmek için 110 °C sıcaklıkta 4 saat ve 80 °C sıcaklıkta 7 saat kadar bir zaman dilimine ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. Oksidasyona bağlı ısı kaybını hesaplamak amacıyla kurutma esnasında domatesler tepsilerden kaldırılarak total kuru madde, likopen, askorbik asit (C vitamini) ve 5-Hidroksimetil-2-Furfural (HMF) oranları gözlemlenmiştir. Askorbik asit zararına büyük ölçüde sıcaklığın yol açtığına altı çizilerek 110 °C sıcaklıkta kurutulmuş ve % 50 nem içeriğine sahip domates örneklerinde askorbik asitin olmadığı, 80 °C sıcaklıkta kurutulmuş ve % 10 nem içeriğine sahip domates örneklerinde halen % 10 civarında C vitamini bulunduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, HMF oluşumunun 110 °C sıcaklıktaki kurutmada 80 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işlemine nazaran 20 kat daha çok olduğu gözlemlenmiştir. Likopen miktarı bakımından 80 °C sıcaklıkta kurutulmuş domates örneklerinde kayda değer bir azalma gözlenmezken,

110 °C sıcaklıkta kurutulmuş domates örneklerinde istatistiksel olarak $p=0.05$ önem seviyesi dikkate alınarak önemli oranda (en fazla %12) bir kayıp olduğu tespit edilmiştir.

Lavelli vd. (2001) yaptıkları çalışmada yarım domates örneklerinin 80 °C sıcaklıkta kurutulması ile % 2 civarında likopen azalmasını tespit etmişlerdir. Yine aynı araştırmacılar domates pulpunun 70 °C sıcaklıkta kurutulması sonucunda total likopen oranında % 0.7 nispetinde bir azalış kaydetmişlerdir. Likopen miktarındaki düşüşün 70 °C sıcaklıkta kurutulan domates örneklerinde 80 °C sıcaklıkta kurulan domates örneklerine kıyasla daha az olduğu tespit edilmiştir.

Sharma ve Prasad (2001) yaptıkları bir araştırmada, sarımsak örneklerini mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutmaya maruz bırakmışlardır. Mikrodalga destekli kurutma uygulamaları 4 farklı sıcaklıkta (40 °C, 50 °C, 60 °C ve 70 °C) ve 2 farklı hava akış hızında (1.0 ve 2.0 m/s), 40 W mikrodalga gücü uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Benzer biçimde geleneksel sıcak hava ile kurutma uygulamalarında da aynı büyüklükteki sarımsak örnekleri için kurutma sıcaklıkları ile hava akış hızları sırasıyla 60 °C, 70 °C ve 2.0 m/s şeklinde gerçekleşmiştir.

Mikrodalga destekli kurutma işlemi, geleneksel sıcak hava ile kurutma prosesi ile kıyaslandığında, mikrodalga destekli kurutma uygulamasının kuruma zamanını % 80-90 oranlarında kısalttığı ve renk parametreleri bakımından daha iyi kalitede son ürün verdikleri belirtilmiştir.

Tuğrul vd. (2001) tarafından kabin ve mikrodalga kurutucularının kullanıldığı bir çalışmada 6 farklı sıcaklıkta (40, 45, 50, 55, 60 ve 70 °C) gerçekleşen kurutma uygulamasının dereotu örneği üzerine etkileri analiz edilmiştir. Mikrodalga ile kurutma uygulandığında prosesin daha kısa zamanda tamamlandığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak, her iki kurutma metodunda da sıcaklık yükselişinin kurutma prosesini daha da hızlandırdığı belirtilmiştir. Her 2 kurutma yönteminde de yüksek sıcaklık (< 70 °C) uygulamasının, dereotunun parlaklık ve renk kalitesinin korunması açısından daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Maskan (2001a), yaptığı bir araştırmada sıcak hava, mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kurutma yöntemlerini kullanarak kivi meyvesinin kurutma karakteristiklerini incelemiştir. Ortalama 5 mm kalınlığa sahip dilimlenmiş kivilerin kuruma hızı

değerleriyle, büzülme ve yeniden su alma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Kuruma süresi bakımından mikrodalga enerjisinin kullanıldığı kurutma yöntemleriyle kurutulan örneklerin kuruma hızlarının arttığı ve buna bağlı olarak kurutma sürelerinin ise azaldığı tespit edilmiştir. Mikrodalga yöntemiyle kurutulan kivi örneklerinde sıcak havayla kurutulan kivi örneklerine kıyasla daha fazla büzülmenin yaşandığı, diğer taraftan en az büzülmenin sıcak hava-mikrodalga yöntemlerinin beraber kullanımıyla kurutulan kivilerde olduğu bildirilmiştir. Mikrodalga yöntemiyle kurutulan kivi dilimlerinin diğer yöntemlerle kurutulan örneklere göre yeniden su alma kapasitesi ve daha hızlı su emilimi gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca difüzyon modelin deneysel verileri yeterli seviyede tanımladığı da bildirilmiştir.

Maskan (2001b), yaptığı başka bir araştırmasında sıcak hava, mikrodalga ve sıcak havayı takiben mikrodalgayla son kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuş olduğu kivi meyvesinin renk değişimlerini incelemiştir. Renk parametreleri olarak Hunter L^* , a^* ve b^* değerleri ile Kroma, Hue açısı, toplam renk farklılığı ve kahverengileşme indeks değerleri kullanılmıştır. Çalışmada incelenen tüm renk parametrelerinin kurutma şartlarından

etkilendiği bildirilmiştir. Ancak sıcak hava kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerin mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kurutma yöntemleriyle kurutulan ürünlere göre daha az etkilendikleri tespit edilmiştir. Deneylerde kullandığı mikrodalga gücündeki artışın kivi meyvelerinin renk özelliklerini olumsuz yönde etkilediği ve mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan ürünler üzerinde diğer kurutma yöntemleriyle kurutulan ürünlere göre daha fazla kahverengileşme oluşumu bildirilmiştir.

Kuşcu (2002) gerçekleştirmiş olduğu bir araştırmasında sürekli sistemde kurutma prosesinin kırmızı biberdeki kalite özellikleri üzerine etkilerini çalışmıştır. Kırmızı biberler bütün bir şekilde ve 6x6 ebatlarında doğranmış bir şekilde sisteme verilmiş olup örnek alınan noktalar 60 °C, 73 °C, 96 °C ve son fırın çıkış sıcaklığı olarak belirlenmiştir. L^* değer (parlaklık, 0-100) bütün halde işleme tabi tutulmamış kırmızı biberde 21.22 olarak tespit edilirken kurutma işlemi sonrasında bu değer 23.85’e kadar yükselmiş, doğranarak kurutulmuş kırmızı biber örneklerinde ise L^* değer en başta 19.15 iken, kurutma prosesi neticesinde 41.93’e kadar yükselmiştir. L^* değerlerinde gözlemlenen bu

yükselişlere ek olarak ısı uygulamasıyla beraber renk kalitesinde bir düşüşün ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Dewanto vd. (2002) gerçekleştirdikleri bir araştırmalarında, pizza ve sebze yemeklerinde kullanmak amacıyla domates örneklerini 60-100 °C aralığındaki sıcaklık derecelerinde, 0.5-2 m/s arasındaki hava hızlarında, maksimum % 15 nem oranına sahip olacak biçimde kurutmuşlar, kurutma zamanını 2-10 saat şeklinde belirlemişlerdir. Araştırma sonucunda elde edilen verilere göre, 80 °C ve daha yüksek sıcaklık derecelerinde gerçekleşen kurutma işlemi esnasında kayda değer bir düzeyde C vitamini kaybının gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Baysal vd. (2003) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada havuç ve sarımsak örneklerinin kalitesinde sıcak hava ile kurutma, mikrodalga ile kurutma ve kızılötesi ile kurutma uygulamalarının etkileri incelenmiştir. Araştırmada taze havuç ve sarımsak örnekleri sıcak hava, mikrodalga ve kızılötesi yöntemleri ile çeşitli koşullarda kurutulan örneklerle karşılaştırılmış ve örneklerin hepsinde kuru madde miktarı, renk değerleri (L^* , a^* ve b^*), su aktivitesi ve büzüşme miktarları incelenmiştir. Mikrodalga yöntemi ile kurutululan havuç

numunelerinin kızılötesi ile sıcak hava kurutma işleminin uygulandığı numunelerden önemli bir oranda daha fazla kuru madde içeriğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Diğer yandan, sıcak hava ile kurutma yöntemi ve kızılötesi kurutma metodu arasında önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Kurutma işlemi esnasında gıdaların renginde değişiklik meydana gelmiş, taze örneğe en yakın renk değerlerini sıcak hava ile kurutmanın uygulandığı örnekler sergilemiştir. Sıcak hava yöntemi ile kurutulan sarımsak örneklerinde en fazla kuru madde miktarı, kızılötesi ile kurutululan numunede ise en az kuru madde oranı tespit edilmiştir. Ancak kurutulan numuneler arasında kayda değer bir farklılık tespit edilmemiştir. Sarımsağı kurutma proseslerinde; sıcak hava, mikrodalga ve kızılötesi kurutma metotları arasında örneklerin renk özellikleri dışında önemli bir değişiklik kaydedilmemiştir. Sıcak hava ya da mikrodalga kurutma proseslerinin rengin önemli bir parametre olduğu koşullarda kızılötesi kurutma işlemine alternatif olarak rengi muhafa etme maksatlı kullanılabilecekleri ortaya konmuştur.

Öcal (2003) yaptığı bir çalışmada farklı kurutma sıcaklıklarının Amasya ve Golden delicious elma örneklerindeki renk ve polifenoloksidaz aktivitesi üzerine etkilerini

incelemiştir. Elma örneklerinde kurutma işlemi 60 ve 70 °C sıcaklıklarda 5 saat ve 80 °C sıcaklıkta 4 saat şeklinde uygulanmıştır. Elde edilen bulgulara göre kurutma sırasında farklı sıcaklık uygulamalarının ve sürelerinin elmaların parlaklık değerleri üzerine etkilerinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir.

Veres vd. (2004) yaptıkları bir çalışmada Granny Smith çeşidi elma silindirlerini sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu kurutma yöntemi ile kurutmuşlardır. Çalışmalarında 25, 30, 40 ve 50 °C hava sıcaklıkları ile 0, 3, 5, 7 ve 10 W/g mikrodalga güç yoğunluklarını kullanmışlardır. Kurutma deneylerinden önce ön işlem olarak bir izotonik çözelti ile vakum emdirme işlemi uygulamışlardır. Kurutma sürecinde, mikrodalga gücünün sıcak hava etkisinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmalarında elma örneklerinde meydana gelen yapısal değişiklikleri taramalı elektron mikroskobu ile incelemişler ve kurutma işleminden önce vakum emdirme uygulanan elma örneklerinin vakum emdirme işlemi uygulanmayan elma örneklerine göre görüntülerinin karşılaştırmasını yapmışlardır.

Sumnu vd. (2005) yaptıkları bir çalışmada mikrodalga-infrared kombinasyonu ile havuç dilimlerini kurutmuşlardır. Çalışmalarında, kurutma zamanı, rehidrasyon kapasitesi ve renk özelliklerini karşılaştırmışlardır. Uygulamış oldukları en yüksek mikrodalga ve infrared gücü kombinasyonunda sıcak hava ile kurutmaya oranla %98 oranında kurutma süresinde düşüş yaşandığı tespit edilmiş, bu kurutma kombinasyonu ile havuç dilimlerinin renklerinde diğer uygulamalara göre daha az değişim yaşanmış ve sıcak hava ile kurutulan örneklerle nazaran daha yüksek rehidrasyon kapasitesi değerlerine ulaşıldığı bildirilmiştir.

Chua ve Chou (2005) çalışmalarında patates ve havuç numunelerini mikrodalga ve kızılötesi enerjisi ile kurutmuşlardır. Mikrodalga enerjisi, enerjinin verildiği total zamanın bütün kurutma zamanına oranı şeklinde 1/9 ve 1/5 olarak kesikli bir biçimde uygulanmıştır. Sıcak hava ile kurutmaya nazaran kurutma zamanının patateslerde % 42 ve havuçlarda % 31 nispetinde azaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte örneklerde yanma gözlemlenmemiş ve negatif yöndeki renk değişiminin azaldığı tespit edilmiştir.

Wang ve Xi (2005) yaptıkları bir çalışmada havuç örneklerini, değişik güç düzeylerine sahip 2 basamaklı mikrodalga destekli konvektif kurutma işlemine tabi tutmuş, birinci aşamadaki 1.5 kW/kg'lık güç düzeyinin havuç örneklerinin rehidrasyon oranına etki ettiği, diğer taraftan 2. aşamadaki 1.0 kW/kg'lık güç düzeyinin hem rehidrasyon ve hem de havuç örneklerinin karoten oranına etki ettiği ortaya konmuştur.

Wang ve Sheng (2006) yaptıkları bir çalışmada şeftali örnekleri üzerinde mikrodalga ile kızılötesi kurutma işlemlerinin etkilerini araştırmışlardır. Gerçekleştirdikleri bu araştırmada, şeftali meyve örneklerinin aynı güç düzeyindeki kurutulma hızlarının mikrodalga kurutma prosesinde, kızılötesi kurutmadan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı ortamdaki mikrodalga sisteminin nüfuz etme derinliği kızılötesi sisteme kıyaslandığı zaman daha yüksek gözlemlenmiştir.

Böhm vd. (2006) yaptıkları bir çalışmada 3 değişik çilek çeşidini modifiye ettikleri mikrodalga-vakum (MV) kurutma, konvektif kurutma (CD) ve dondurarak kurutma (FD) uygulamalarına tabi tutmuş ve bu kurutma metotlarının kurutulmuş çilek örneklerindeki C vitamini, antosiyanin, fenolik madde ve

antioksidan kapasiteleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bunu takiben söz konusu sistemi ön kurutma ünitesi ile modifiye etmişlerdir. Konvektif kurutma ve mikrodalga kurutma işlemlerinde C vitamini miktarında baştaki orana nazaran % 40, fenolik maddelerde % 35 ve antioksidan kapasitesinde de % 60 civarında düşme meydana gelmiştir. Dondurularak kurutulan çilek örneklerinde ise herhangi bir düşüş tespit edilmemiştir.

Koca vd. (2007) yaptıkları bir çalışmalarında haşlanma sonrası kurutulan ve haşlamaya tabi tutulmadan kurutulan havuç örneklerinin 27, 37, 47 ve 57 °C sıcaklıklarda muhafaza edilmesi ile karotenoid degradasyonu ve renk kaybını incelemeye tabi tutmuşlardır. Karotenoid degradasyonu ile renk kaybı arasında kayda değer bir korelasyon tespit edilmiş, depolama derecesinin ve zamanının yükselmesi ile renk değerlerinde bir düşüş meydana gelmiş ve son olarak da haşlama işlemine maruz bırakılan havuç örneklerinde depolama süresince çok daha az seviyede karotenoid degradasyonu gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Fernandes ve Rodrigues (2007) yapmış oldukları bir araştırmalarında muz meyve örneklerinin sıcak hava yöntemi ile kurutulması işleminde ultrasonik ses dalgalarının ön işlem olarak uygulanmasının etkilerini araştırmışlardır. Ön işlem olarak ultrasonik ses dalgaları, 25 kHz frekanslı ultrasonik banyo sistemi ile 10, 20 ve 30 dakika süresince 30 °C sıcaklıkta uygulanmıştır. Ultrasonik ses dalgalarının uygulanmasını takiben muz numuneleri 60 °C'lık sıcak hava ile kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Analizlerden elde edilen bulgular dikkate alındığında, 20 dakika boyunca uygulanan ultrasonik ses dalgalarının suyun difüzyon katsayısını yükselttiği, total kuruma periyodunu ise yaklaşık % 10 civarında azalttığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak, ultrasonik ses dalgalarının uygulanması sonucunda muz örneklerinin total indirgen şeker oranında saf su içinde uygulanan 30 dakika boyuncaki ultrasonik ses dalgaları neticesinde yaklaşık % 21 civarında bir düşüş tespit edilmiştir. Çalışma neticesinde, ultrasonik ses dalga uygulamasının şeker miktarı düşürülmüş kurutulmuş gıda ve gıda maddeleri üretimi için imkan yaratabileceği belirtilmiştir.

2. GIDALARIN KURUTULMASINDA ULTRASES (ULTRASONİK SES DALGALARI) ÖN İŞLEMİ

Burada mikrodalga ve sıcak hava kurutma metotlarının literatürde yapılan çalışmalardaki etkilerini açıklamaya kısa bir ara vererek yukarıda da bahsedilen ısıl olmayan işlem olarak dikkat çeken ultrases sistemine bir parantez açarak bu uygulamayı biraz daha detaylandırılım:

Tarih boyunca insanlar gıdaların bozulmaması ve uzun süre muhafaza edilebilmesi için birçok yöntem geliştirmiştir. Gıdalar üzerinde fiziksel, kimyasal, biyolojik ve/veya mikrobiyolojik etmenlerin yol açtığı olumsuzluklar kontrol altına alınmak istenmiş ve uzun ömürlü, kaliteli, güvenilir gıda anlayışı benimsenmiştir. Bu amaç doğrultusunda gıdaların biyolojik ve kimyasal aktivitelerinin kontrolü en yaygın şekilde ısısal işlemlerle sağlanmaktadır. Ancak, ısıl işlem uygulamalarındaki yüksek sıcaklık ve süreden kaynaklanan besin değeri ve duyuşal özelliklerin olumsuz etkilenmesi nedeniyle ısıl olmayan gıda muhafaza teknikleri üzerine artan bir ilgi oluşmuştur. Isının uygulanmadığı bu yeni teknolojiler arasında ultrasonik ses dalgaları (ultrases), vurgulu elektrikli alan, vurgulu ışık, yüksek

basınç uygulamaları, mikrofiltrasyon, X ışınları, ultraviyole ışık, yüksek voltaj ve salınımlı manyetik alan metotları öne çıkmaktadır. Isıl olmayan bu prosesler bir taraftan bozulmaya yol açan mikroorganizmalar ile istenmeyen enzimlerin inaktivasyonunu sağlarken diğer taraftan işlemler esnasında sıcaklığın düşük olması nedeniyle ürünlerin tat, koku ve tekstür özellikleri de korunmaktadır.

Ultras, insan kulağının algılayabileceğinin üstünde, frekans değerleri 20 kHz ile 10 MHz arasında değişen ses dalgalarıdır. Gıda endüstrisinde ultras; pastörizasyon ve sterilizasyon gibi ısısal proseslere nazaran gıda ürünlerde daha az hasar yaratması, ısısal işlem süresinin kısaltılması, ısısal işlemlerde ısı transferinin hızlandırılması, kimyasal tepkime hızının arttırılması, gıdaların duysal kalitesinin iyileştirilmesinde önem arz ederken ekipmanların ulaşılabilirliğinin kolay ve maliyetinin düşük olması tercih nedenlerindendir. Ultreses gıda endüstrisinde;

- ekstraksiyon veriminin iyileştirilmesinde,
- meyve ve sebzelerin kurutulmasında,
- çeşitli özüt ve içeceklerin filtrasyonunda,
- emülsiyon stabilitesinin arttırılmasında,

- fermente içeceklerde köpük giderme işleminde,
- süt koagülasyonunda,
- yumurtaların kalitesinin belirlenmesinde,
- peynirdeki yüzey çatlaklarında,
- bisküvilerin dokusunda,
- şarap fermantasyonunun kontrolünde,
- hamurun karakterizasyonunda,
- şeker içeriği ve asitlik gibi fizikokimyasal özelliklerin belirlenmesi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.1. Ultrasonik Ses Dalgaları

Ultrasonik ses dalgalarının ortaya çıkışı dünya savaşları esnasında deniz altıların göndermiş olduğu ses dalgalarının toplu balık ölümlerine yol açması ile olmuştur. 1960'lı yıllarla beraber düşük frekansa sahip yüksek enerjili ultrasonik ses dalgaları endüstride de kullanılmaya başlamıştır (Abramov, 1998). İnsan kulağının duyabildiği ses aralığı 16 Hz'den 18 kHz'e kadardır. Ultrasonik ses dalgaları ise 20 kHz ve üzeri sonik dalgalarla üretilen bir enerji şeklidir. Ultrasonik ses dalgaları akustik bir enerjidir (Earnshaw vd., 1995). Ultrasonik ses dalgaları frekansının üst limiti kesin olarak

ispatlanamamakla birlikte, gazlarda 5 mHz ve katılarda 500 MHz şeklinde ifade edilmektedir. Ultrasonik ses dalgaları:

- ses gücü (W),
- ses yoğunluğu (W/m^2), ya da
- ses enerjisi yoğunluğu (Ws/m^3)

şeklinde ifade edilmektedir (Dolatowski vd., 2007).



Duyulabilir ses: 20 Hz-20 kHz

Yüksek enerjili ultrases: 20 kHz – 100 kHz

Sonokimyanın kullanım aralığı: 20 kHz – 2 MHz

Tanısal Ultrases: 5 MHz – 10 MHz

Şekil 1. Ultrasonik ses dalgalarının frekans aralığı (Mason, 1998)

Şekil 1’de de görüldüğü üzere ultrasonik ses dalgalarını 3 sınıf altında toplamak mümkündür. Bunlar:

- Frekans aralığı 20 kHz'den 100 kHz'e kadar olan **güç ultrasonik ses dalgaları**,
- Frekans aralığı 100 kHz - 1 MHz arası **yüksek frekanslı ultrasonik ses dalgaları**,
- 1 ile 10 MHz arası ise **tanıyıcı ultrasonik ses dalgalarıdır**.

Ultrasonik ses dalgaları genel itibariyle basınç elektriği (piezo elektrik) veya yüksek enerji titreşimleri meydana getiren manyetik sıkıştırımlı dönüştürücüler ile (transdücer) üretilmektedir (Jambrak vd., 2010).

Ultrasonik ses dalga uygulamaları gıda endüstrisindeki kullanımı açısından değerlendirildiğinde;

- a) yüksek yoğunluklu ve düşük frekanslı ultrasonik ses dalgaları, ve
 - b) düşük yoğunluklu yüksek frekanslı ultrasonik ses dalgaları
- olmak üzere başlıca 2 gruba ayrılmaktadır.

Düşük ultrasonik ses dalgalarının işlem yoğunluğu 1 W/m²

den daha az ve frekansı da 100 kHz'den daha fazladır. Bu işlem:

- yüzeylerin temizlenmesi,
- enzimlerin inaktivasyonu,
- kristalizasyon,
- emülsifikasyon,
- filtrasyon,
- dondurma, ve
- etlerin tenderizasyonunu

içeren bir çok uygulamada kullanılmaktadır.

Öte yandan, ***yüksek ultrasonik ses dalgaları*** 1 W/m² den daha yüksek yoğunlukta ve frekansı 18-100 kHz arasında olup;

- deaerasyon,
- oksidasyon/redüksiyon,
- enzim & protein ekstraksiyonu,
- enzimlerin inaktivasyonu, ve
- kristalizasyonda çekirdek oluşumu

gibi farklı işlemlerde uygulanmaktadır (Thakur ve Nelson, 1997).

Yüksek güçlü ultrasonik ses dalgaları uygulaması hücre parçalanması, parçacık boyutu küçültme ve bakteri sporlarının öldürülmesinde oldukça etkilidir (Murphy vd., 2009).

Literatürde ultrasonik ses dalgalarının farklı uygulamalarda etkili olduğunu gösteren bir çok çalışma yer almaktadır (Yildiz vd., 2016; Lee vd., 2016; Yıldız vd., 2017; Yıldız, 2018; Yıldız vd., 2018; Jiang vd., 2019; Yıldız, 2019; Yıldız ve İzli, 2019a; Yıldız ve İzli, 2019b, Yıldız ve Feng, 2019; Yıldız vd., 2019; Yıldız ve Aadil, 2020; Yıldız vd., 2020). Düşük yoğunluklu ultrasonik ses dalgaları uygulamalarında dalganın işlediği materyalde fiziksel ve kimyasal herhangi bir değişim meydana gelmemektedir. Düşük enerjili ultrasonik ses dalgaları en yaygın olarak gıdaların fizikokimyasal özelliklerinin (sertliği, olgunluğu, kompozisyonu, parçacık büyüklüğü, asitliği vb.) belirlenmesinde kullanılmaktadır (Knorr vd., 2004). Yüksek enerjili ultrasonik ses dalgaları işlemi ise gıdalarda mikrobiyal ve enzimatik inaktivasyon amaçlı kullanılır. Yüksek enerjili ultrasonik ses dalga uygulamaları gıdayı fiziksel, kimyasal ve mekanik açıdan etkilerken düşük enerjili ultrasonik ses dalga uygulamalarında böyle bir etki gözlenmemektedir (Demirdöven ve Baysal, 2009).

Ultrasonik ses dalgaları bir ortamda ilerlerken farklı proseslerde kullanılmasına olanak veren ve ses dalgalarının frekansı ve genliği ile ilişkili meydana gelen bir çok fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal etki oluşturmaktadır (Knorr vd., 2004). Ultrasonik ses dalgalarının asıl etkisi **kavitasyon** adı verilen ve bir sıvıdan geçerken ses dalgasının basıncının azaldığı kısımlarda moleküller arasındaki mesafenin normal seviyenin üzerinde seyretmesi ile kabarcıkların meydana gelişi, devamlı bir şekilde ses dalgalarına maruz bırakılan üründe oluşan kabarcıkların git gide genişlemesi, salınması ve artık daha çok enerji absorblayamayacak kritik hacme eriştiklerinde de iç kısma doğru sönümlenmesi şeklinde tanımlanan bir hadisedir (Kantaş, 2007; Uzunoğlu, 2012). Kavitasyon balonlarının iç patlamalarının gerçekleştiği bölgede enerji birikimi meydana gelmektedir. Bu enerji ise ortamı ısıtmakta ve kimyasal reaksiyonlara neden olmaktadır (Rahman, 2007). Sonuç olarak oluşan bu yüksek sıcaklık ve basınç sebebiyle kavitasyon alanında yüksek enerjili kesme dalgaları ile türbülans meydana gelmektedir (Patist ve Bates, 2008). Kavitasyon oluşumunda bir çok faktör etkilidir. Yüksek sıcaklıkta buhar basıncı yükselmekte ve yüzey gerilim kuvveti düşmekte ve böylece daha çok kabarcık oluşmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda daha

fazla kabarcık oluşmasına rağmen bu kabarcıkların sönümlendikleri andaki şiddet daha düşüktür. Düşük frekanslarda kabarcık oluşumu daha büyük boyutlarda meydana gelmekte ve sönümlendikleri zaman daha fazla bir enerji oluşmaktadır. Yüksek şiddette bir kavitasyon isteniyor ise ultrasonik ses dalgalarının büyüklüğü arttırılmalıdır (Tüfekçi ve Özkal, 2015).

Kavitasyon geçici veya kalıcı olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleşmektedir. *Geçici kavitasyon*, prob denilen sistemlerde 20 kHz ve üzeri frekanslarda ve 10 W/cm² dalga şiddetinde oluşmaktadır. Geçici kavitastasyonda meydana gelen kabarcıkların bir kaç akustik salınımla birlikte hacimleri genişleyerek hemen patlamaktadır. Oluşan baloncukların boyutları küçük olmaktadır (Uzunoğlu, 2012). *Kararlı kavitasyonda* ise kabarcıkların büyümesi 200 kHz ve daha yüksek frekanslarda ortalama 1000 akustik çevrim nihayetinde gerçekleşmektedir. Baloncukların patlama şiddeti geçici kavitasyona oranla daha yavaştır (Türkmen, 2012).

Mikrobiyal inaktivasyon ile ilişkili diğer bir mekanizma da serbest radikal oluşumu ile ifade edilmektedir. Ultrasonik ses dalgalarının uygulanması sırasında hidroksil, hidrojen veya hidroperoksitler gibi serbest radikaller meydana gelmekte ve oluşan bu bileşenlerin önemli bakterisidal etkileri bulunmaktadır (O'Donnell vd., 2010; Soria ve Williamiel, 2010).

Ultrasonik ses dalgaları sistemini meydana getiren temel parçalar:

- Jeneratör veya güç sağlayıcı,
- dönüştürücü (transdücer), ve
- iletici kısımdır (Mason 1998; Türkmen 2012).

Güç sağlayıcı olarak adlandırılan jeneratör, alternatif akımı yüksek frekanslı alternatif akıma çevirirken; transdücer de yüksek frekanslı elektrik akımını mekanik titreşimlere çevirmektedir. Bu mekanik titreşimler iletici kısımda ultrasonik ses dalgalarının uygulanacağı ortama iletilir.

Ultrasonik ses dalgalarının uygulanması üzerinde belirleyici olan;

- frekans,
- dalga boyu,
- genlik, ve
- ultrasonik güç gibi parametrelerdir.

Ayrıca reaktör tasarımı ve ultrasesin uygulanma şekli de işlem etkinliği üzerinde belirleyici olmaktadır.

Ultrasonik ses dalgaları;

- ultrasonik banyo, ve
- ultrasonik prob olmak üzere iki farklı yöntemle uygulanmaktadır.

Ultrasonik banyolar genellikle çözgenlerdeki havanın uzaklaştırılması veya küçük cam malzemelerinin temizliği için kullanılmaktadır. Ultrasonik banyolar; kimyasal reaksiyonların tekrarlanabilirliği çok az olduğu ve aktarılan enerjinin yoğunluğu düşük olduğu için gıda işleme akışlarında çok az kullanılmaktadır (Wen vd., 2018). Bir diğer yöntem ise ultrasonik ses dalgalarının ultrasonik problar ile uygulanmasıdır.

Bu yöntemde prob, örneğin içine daldırıldığı için ultrasonik yoğunluk daha küçük bir yüzeye (sadece prob ucuna) aktarılmaktadır. Bu yöntem, ultrasonik banyolara göre daha etkili olup küçük hacimli üretimlerde kullanılmaktadır (Chemat vd., 2011). Maliyet açısından prob sistemler, banyo sistemlerine nazaran daha pahalıdır.

2.2. Ultrasonik Ses Dalgalarının Gıda Endüstrisinde Kullanım Alanları

Ultrasonik ses dalgaları bazı uygulamalarda tek başına etkiliyken bazı uygulamalarda ise gerekli inaktivasyon seviyesine erişmek için ısı ve basınç gibi parametrelerle takviye edilme gereksinimi duymaktadır. Bu uygulamalar;

- ultrasonik ses dalgaları ve sıcaklık kombinasyonu (termosonikasyon, TS),
- ultrasonik ses dalgaları ve basınç kombinasyonu (manosonikasyon, MS),
- ultrasonik ses dalgaları, basınç ve sıcaklık (manotermosonikasyon, MTS)

prosesleridir (McClements, 1995; Rahman, 2007).

Termosonikasyon, ısıl-işlem ve ultrasonik ses dalgaları uygulamalarının kombinasyonu ile işlem sıcaklığı ve süresini azaltarak pastörizasyon ve sterilizasyon amaçlı kullanılmaktadır. Ortam sıcaklığının sıvı materyalin kaynama noktası seviyelerine yaklaştığı an sıvının buhar basıncının yükselmesi sonucu kavitasyon şiddetinde düşüş oluşmaktadır. Bu sorunu çözebilmek amacıyla termosonikasyon uygulaması basınç altında (100-700 kPa) yapılmakta ve bu işleme de manotermosonikasyon adı verilmektedir.

Manotermosonikasyon işlemi ile meydana gelen etki sinerjistik özelliktedir. Yani oluşan etkinin toplamı, bu etkiyi meydana getiren her bir parametrenin (ultrasonik ses dalgaları, ısıl işlem, basınç) tek başına kullanılmaları durumunda oluşturdukları etkilerin toplamından çok daha fazladır. Ultrasonik ses dalgaları, hedef molekülleri ve yapıları duyarlı hale getirirken ısı ve basınç ile etkisi daha fazla olabilmektedir (Rahman, 2007).

2.2.1. Ultrasonik Ses Dalgalarının Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkisi

Ultrasonik ses dalgaları meydana getirdiği kavitasyon etkisiyle mikroorganizmaları inaktive ederek ısıl işlem uygulamalarına kıyasla gıdalarda daha az değişikliğe neden olmaktadır. Ultrasonik ses dalgalarının mikroorganizmaları öldürme kuvveti bu ses dalgalarının hücre duvarlarını parçalaması sonucu meydana gelmektedir (Piyasena, 2003). Sonikasyon uygulaması neticesinde kavitasyon oluşmakta ve gaz kabarcıkları da bu ortamda meydana gelmektedir. Bu ultrasonik ses dalgalarının enerjisi gaz kabarcıklarındaki buharı etkili bir biçimde tutamadığından gaz kabarcıkları patlamakta ve bu şekilde ortam yoğunlaşmaktadır. Meydana gelen bu ortamda yer alan mikroorganizmaların hücre duvarları hasara uğramakta ve inaktif bir duruma gelmektedir. Sıcaklığı artırılan bu alan bakterilerin ölmesine neden olmaktadır, ama kısıtlı bir bölgeyi içermesinden dolayı bakterilerin hepsini öldürememektedir (Piyasena, 2003) Bu nedenle uygulanan sonikasyon işleminin sıvının her tarafına homojen bir şekilde ulaşması sağlanmalıdır.

Yapılan araştırmalar ultrasonik ses dalgalarının ısı ve basınç işlemleri ile birlikte kullanılması neticesinde mikroorganizmaları çok daha etkili bir biçimde inaktive ettiğini göstermektedir (Piyasena, 2003). Özellikle, MTS işlemi geleneksel yöntemlere göre ısıya karşı dirençli mikroorganizmalarda daha etkili olmaktadır (Yildiz vd., 2017).

Scherba ve arkadaşları ultrasonik ses dalga işleminin sulu süspansiyondaki *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* ve *Pseudomonas aeruginosa*'yı yok edebildiğini belirtmişlerdir (Bayraktaroğlu ve Obuz, 2006). Ayrıca, ultrasonik ses dalgaları uygulamasının *Trichophyton mentogrophytes* küfleri ile *Feline herpesvirüs* tip1 virüsünü de yok edebildiği belirtilmiştir. Gram-pozitif hücreler ise duvarlarının daha kalın oluşu nedeniyle gram-negatif hücrelere nispeten çok daha dirençlidirler. Yapılan bir araştırmada 5 ile 62 °C aralığındaki farklı sıcaklıklarda 20 kHz/160 W'lık bir uygulamada *Streptococcus faecium* ve *Streptococcus durans* inaktivasyonu çalışılmıştır (Ordenez vd., 1984).

Sütteki *Bacillus subtilis* sporları üzerinde 70 – 95 °C sıcaklık arasında ultrasonik ses dalgaları uygulanmıştır (Garcia vd., 1989). Tek başına ultrasonik ses dalgaları bir etki göstermezken ısı ile beraber ultrasonik ses dalgaları işlemi spor popülasyonunu % 63 - 73 civarında düşürmüştür. Başka bir araştırmada UHT sütte *Staphylococcus aureus* için önceki normlarla ultrasonik ses dalgaları uygulanmıştır (Ordenez vd., 1987). Tek başına ısıl yönteme nazaran ultrasonik ses dalgaları ile birlikte uygulanan ısıl işlemin D değerini % 43 oranında daha fazla düşürdüğü gözlemlenmiştir. Yüksek basınç ve ısısal işlemlerle beraber uygulanan ultrasonik ses dalgalarının *Listeria monocytogenes* üzerine etkili olduğu belirtilmiştir. Yoğun sıvı ve katılar ultrasonik ses dalgalarının yayılmasını önlediği için bu metotun süt ve meyve sularının sterilizasyonunda daha etkili olduğu düşünülmektedir (Bayraktaroğlu ve Obuz, 2006).

Şeftali suyunun kalite özellikleri üzerine ultrasonik ses dalgalarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 5 dk'lık ultrases uygulamasının *Escherichia coli* bakterisi üzerinde etkili olduğu ve Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi tarafından belirlenen mikroorganizma sayısında 5 log redüksiyon faktörlük bir azalma (%99.999) sağlanmıştır (Yildiz, 2019). Benzer bir çalışmada,

Yildiz ve Aadil (2020), ilek suyu üzerine uyguladıkları farklı süreli (5, 10 ve 15 dk) ultrasonik ses dalgalarının hedef olarak belirlenen mikroorganizma sayısındaki 5 log redüksiyon faktörlük bir azalmayı gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir.

2.2.2. Ultrasonik Ses Dalgalarının Gıda Enzimleri zerine Etkisi

Ultrasonik ses dalgalarının enzimlerin inaktivasyonu üzerine etkili olduğu bilinmektedir. Bazı araştırmacıların ultrasonik ses dalgalarının yalnız başına enzim üzerinde herhangi bir etki yaratmadığını belirtmesi ve bazılarının ise akustik kavitasyonun enzimi fiziksel ve kimyasal açıdan etkilediğini belirtmesi ile fikir ayrılığı yaşanmıştır. Kullanılan enzim ve işlem parametrelerine göre bu etkinin değiştii görülmektedir. Ama genel olarak ultrasonik ses dalgaları ile enzim inaktivasyonu, ultrasonik ses dalgalarının makromolekülleri depolimerize etmesiyle açıklanmaktadır. Ultrasonik dalgaların ısı ve basınç gibi farklı parametrelerle beraber uygulandığında daha etkin olduğu belirtilmiştir (Yildiz vd., 2017). Ultrases prosesi, termosonikasyon, monosonikasyon ve monotermosonikasyon işlemleriyle beraber süt ve meyvelerde bulunan lipoksijenaz (LOX), polifenoloksidaz (PPO), peroksidaz (POD) gibi

enzimler ile ısı karşısında dayanıklı olan lipaz ve protoaz enzimlerine karşı etkin bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (O'Donnell vd., 2010).

Bir çalışmada domates peroksidazına %15 - %75 ultrasonik güç ve 20-150 sn ile ultrasonik ses dalgaları uygulanmış ve % 50 ile %75 ultrasonik güç ve 150 sn nihayetinde enzimin tamamıyla inaktif olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada ayrıca ultrasonik ses dalgaları uygulanan domates suyunda C vitamini kaybının ısı işleme göre daha az miktarda olduğu da belirtilmiştir (Ercan ve Soysal, 2010). Başka bir çalışmada soya yağındaki LOX enzimi ultrasonik ses dalgaları ile birlikte %75 - 85 oranlarında inaktive edilmiştir. Günlük sütte ultrasonik ses dalgaları ile sütteki patojen ve bozulma nedeni mikroorganizmalar kolay bir biçimde inhibe edilebilirken, ortamda yer alan mikroorganizmaların büyük bir çoğunluğu ekstraselüler lipaz ve proteaz oluşturarak UHT ile meydana getirilen sütün kalitesi ile içilebilirliğini azaltabilmektedir (Lopez ve Burgos, 1995).

Aadil vd. (2013) 28 kHz frekans ile 30, 60, ve 90 dakika süresince ultrasonik ses dalgaları ile muamele ettikleri üzüm suyunda renk, asitlik, toplam çözünabilir madde, antioksidan

kapasitesi, toplam fenol, askorbik asit gibi kalite kriterlerini incelemişlerdir. Parametrelerin bir çoğunda taze sıkılmış meyve suyuna oranla önemli derecede farklılıklar gözlenmiştir. Ultrason uygulanan üzüm sularının toplam antioksidan miktarında, askorbik asit ve toplam fenol miktarında kayda değeri bir artış elde edilirken, meyve suyunun asitlik ve toplam çözünebilir miktarlarında önemli bir fark gözlemlenmemiştir. Çalışma sonucunda, uygulanan ultrason tekniğinin endüstriyel ölçekte üzüm suyunun işlenmesinde başarılı olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Abid vd. (2014) elma suyunda ultrasonik ses dalgalarının polifenolik maddeler, seker, karotenoidler ve mineraller üzerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında, taze sıkılmış elma sularına 25 kHz frekans ve %70 titreşim genliğinde 30 ve 60 dakika sürelerle ultrasonik ses dalgalarını uygulamışlardır. Analizler neticesinde, 30 dk boyunca ultrasonik ses dalgaları uyguladıkları elma sularında polifenolik madde ve seker miktarlarında yüksek bir artış elde ederlerken, 60 dakika süresince uygulanan ultrasonik ses dalgaları neticesinde toplam karotenoid ve sodyum, potasyum ve kalsiyum mineralleri ile viskozite değeriğinde önemli bir gelişme kaydetmişlerdir.

Ultrasonik ses dalgalarına tabi tutulan elma sularının elektrik iletkenliğinde ise herhangi bir değişim kaydedilmemiştir. Çalışma bulguları, ultrases uygulamasının elma suyunda hali hazırda bulunan besleyici öğeleri önemli miktarda artırdığını göstermiştir.

Cruz-Cansino vd. (2015) uyguladıkları ultrasonik ses dalgaları ile armut sularında meydana gelen fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve antioksidan özelliklerdeki değişimleri incelemiştir. 20 kHz frekans ve %80 titreşim genliğinde 15 ve 25 dk boyunca ultrases işleme tabi tuttıkları armut sularının özelliklerini 14 günlük depolama süresince gözlemlemiştir. 25 dk'lık ultrases işleminin 15 dk'lık ultrason işleme kıyasla armut sularının renk stabiliteleri ve viskozitelerinde daha fazla bir artışa yol açtığını gözlemlemiştir. Depolama süresince ultrasonik ses dalgaları ile muamele edilen armut sularının pektinmetilesteraz aktivitesinde çok küçük bir artış gözlemlemiştir. Ayrıca, uygulamış oldukları ultrases koşullarıyla pastörizasyon ile muamele edilen meyve suyuna eş değer bir mikrobiyolojik azalma elde etmişlerdir. Son olarak da, 14 gün sonunda özellikle 25 dk ultrases işleme tabi tutulan

armut sularının fenolik madde ve antioksidan aktivitesinde önemli bir artış kaydedilmiştir.

Rojas vd. (2016) ultrases teknolojisinin şeftali suyunun fiziksel kalitesi ve stabilitesi üzerine yaptıkları çalışmalarında 20 kHz frekans ile 3, 6, 10 ve 15 dk süresince ultrasonik ses dalgaları uygulamışlardır. Elde edilen bulgular, ultrases işleminin ürünün gerek kalite kriterleri ve dayanıklılığı gerekse de duyuusal özelliklerine olumlu yönde katkı sağladığını göstermiştir. Ultrasonik ses dalgaları ile muamele edilen meyve sularındaki renk değişimleri incelenmiş ve depolama süresince kayda değer bir değişim gözlemlenmemiştir.

Khandpur ve Gogate (2016) meyve ve sebze sularının kaliteleri üzerine yaptıkları bir araştırmada portakal, tatlı limon, havuç ve ıspanak suları ile çalışmışlardır. Bu çalışmada, 20 kHz frekans ve 15 dk süresince ultrasonik ses dalgaları uygulanan meyve ve sebze suları 10 dk - 80 °C'de uygulanan geleneksel pastörizasyon işlemi ile karşılaştırılmıştır. Kalite kriterleri olarak toplam fenolik madde, antioksidan aktivitesi, Vitamin C ile karbonhidratlar değerlendirmeye alınmıştır. Ultrasonik ses dalgaları ile muamele edilen örnekler besleyici özelliklerinin

büyük bir kısmını korumakla beraber, raf ömürleri pastörizasyon işlemi uygulanan örneklerle nazaran 18 gün daha fazla bulunmuştur.

Ultrasonik ses dalgalarının diğer bir kullanım alanı olan ultrasonik kesim ile yapılan bir çalışmada red delicious ve golden delicious elma çeşitleri ultrasonik kesime tabi tutulmuş, ve bu teknoloji uygulanarak kesilen ürünlerin polifenol oksidaz enzimine karşı 2 haftalık bir depolama süresi boyunca etkili olduğu tespit edilmiştir (Yildiz vd., 2019).

2.2.3. Ultrasonik Ses Dalgalarının Dondurma Teknolojisi Üzerine Etkisi

Ultrasonik ses dalgalarının diğer bir çok alanda olduğu gibi dondurma işlemi üzerinde de olumlu sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. Ultrasonik ses dalgaları teknolojisinin ürettiği ses enerjisinin faydası ortamdaki geçerken meydana getirdiği farklı etkiler ile açıklanabilmektedir. Ses dalgalarının neden olduğu etkilerden en önemlisi öncesinde de bahsedildiği gibi kavitasyon etkisidir. Ultrases vasıtasıyla meydana gelen gaz kabarcıkları küçük çaplıdır ve bu uygulama devamlı bir şekilde sürmektedir. Bu esnada buz çekirdekçikleri (buzlanma) oluşmaktadır. Bu kristaller donma prosesinin çok daha verimli

olmasına yardımcı olmaktadır. Öte yandan yoğun ve sıkıştırılamayan materyaller değişken akustik strese tabi tutulduklarında buz kristalleri parçalanır ve eş boyutlarda buz kristal parçacıklarının meydana gelmesine neden olurlar. Bu hadise dondurma prosesinde arzu edilen bir olaydır (Zheng ve Sun, 2006).

Ultrases işleminin;

- kısmi dondurulmuş materyalin içinde dondurulmuş yüzeyin meydana gelmesi,
- buz kristallerinin azaltılması ve kristallerinin boyutunun kontrol altına alınması,
- donmuş yüzeyde kabuk oluşumunun önlenmesi

gibi faydaları bulunmaktadır.

Ultrases işleminin yer aldığı bir dondurma prosesi gerek yüksek kaliteli bir gıda maddesi gerekse de farmasötik ürün oluşumuna katkı sağlamaktadır (Zheng ve Sun, 2006). Ultrases işleminin donma süresi üzerine etkisinin incelendiği bir araştırmada ultrases uygulamasının patates parçacıklarının dondurulması işleminde ürünün donma süresini kısalttığı gözlemlenmiştir (Li ve Sun, 2002).

2.2.4. Ultrasonik Ses Dalgalarının Homojenizasyon/Emülsifikasyon Üzerine Etkisi

Birbirine karışmayan iki sıvıya ultrasonik ses dalgaları uygulanması durumunda iyi bir homojenizasyon/emülsifikasyon işlemi gerçekleşmektedir. Ultrases işleminin neden olduğu kavitasyon sonucunda meydana gelen kabarcıkların bu iki sıvı arasında patlaması ile şok etkisi oluşmakta ve bu sıvılar daha homojenize bir biçimde karışmaktadır. Düşük enerjili uygulanan ultrases prosesine oranla yüksek enerjili ultrases uygulaması daha kararlı yapıya sahip bir emülsiyon oluşturur (Soria ve Willamiel, 2010).

Palm yağının β -lactoglobulin alginate ile birlikte gerçekleşen bir karıştırma prosesinde uygulanan ultrases işleminin ardından pıhtılaşan damlacıkları çok küçük hale getirebildiği ve emülsiyon için münasip bir ortam yarattığı gözlemlenmiştir (Pongsawatmanit vd., 2006). Gaikwad ve Pandit (2008) gerçekleştirdikleri bir araştırmada yağdaki disperse fazdaki damlacık büyüklüğü, disperse fazın hacmi ile fizikokimyasal özellikleri, zaman ve güç parametreleri üzerine ultrases işleminin etkilerini araştırmışlardır. Nihayetinde normalde oluşan damlacık boyutlarına kıyasla ultrasonik ses dalgaları

uygulanarak üretilen damlacıkların daha küçük boyuta sahip olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda ketçap ve mayonez gibi sosların üretiminde ultrasonik ses dalgaları uygulamasının emülsiyon stabilitesini arttırabileceği beyan edilmiştir (Povey, 1998).

Lee vd. (2016) soya proteini ile yaptıkları bir çalışmada ultrasonik ses dalgaları ve pH değişim işlemlerini birlikte kullanarak soya proteini emülsiyonunda parçacık büyüklüğünü önemli ölçüde azaltmışlardır. Normalde 376 nm civarındaki soya protein solüsyonunun parçacık büyüklüğü ultrasonik ses dalgalarının yardımıyla 21 nm civarına düşürülmüştür.

Benzer şekilde hiç işlem görmemiş soy protein izolat örneklerinin parçacık büyüklüğü 192 nm iken, MTS işlemiyle bu boyut 40 nm civarına düşürülmüş, ve bir adım daha ilerlenerek MTS işlemi pH'nın da etkisiyle birleştirilerek uygulanmış ve işlem neticesinde parçacık boyutu 27 nm olarak gözlemlenmiştir (Yildiz vd., 2017)

2.2.5. Ultrasonik Ses Dalgalarının Et Teknolojisi Üzerine Etkisi

Ette gevreklik ve renk parametreleri tüketici tarafından aranan en önemli özellikler arasında yer almaktadır. Ses dalgaları ile gıdanın mevcut özellikleri değiştirilebildiği için ultrasonik ses dalgaları ete gevreklik kazandırmada kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem ile kas proteinlerinin ekstraksiyonunun arttırıldığı ve kürlenmiş jambonun tekstürünün geliştirildiği tespit edilmiştir (Pohlman, 1994).

Ultrasonik ses dalgalarına maruz bırakılan etlerde, tuz ilave edilmeksizin daha kırmızı renk ve daha taze kas görüntüsü elde edilmiş ve kas liflerinin kolayca ayrıldığı gözlemlenmiştir (Reynolds vd., 1978).

Başka bir çalışmada gazı alınmış maden tuzu solüsyonuna eklenmiş bütün bir ete uygulanan kısa süreli, düşük frekanslı ve yüksek yoğunluklu ultrases işleminin aynı süre zarfında maden tuzu içine konulmayan ete nazaran daha az bir sertliğe sahip olduğu belirtilmiştir (Smith vd., 1991).

Ayrıca kuru jambona uygulanan ultrases işleminin (%2'lik tuz ilavesi ile) moleküller arası yapışkanlığı arttırabileceği rapor edilmiştir (Reynolds vd., 1978).

2.2.6. Ultrasonik Ses Dalgalarının Filtrasyon İşlemine Etkisi

Filtrasyon işleminde katı maddelerin filtre membranının yüzeyinde çökelti oluşturması, filtre gözeneklerinin tıkanması ve beraberinde filtrasyon prosesinin olumsuz etkilenmesine sebep olur. Ultrases işlemi uygulanan filtrasyon işleminde filtre membranının yüzeyinde oluşan polarize materyalleri parçalayarak akışın daha hızlı olmasını sağlanmaktadır. Ek olarak, membran filtre ile birlikte uygulanan ultrasonik ses dalgalarının sadece ultrasonik ses dalgaları uygulamasına nazaran daha etkili sonuç verdiği gözlenmiştir (Chemat vd., 2011).

2.2.7. Ultrasonik Ses Dalgalarının Ekstraksiyon İşlemi Üzerine Etkisi

Ultrasonik ses dalgaları uygulaması hücre duvarını mekaniksel bir biçimde parçalamakta ve materyal aktarımına sebep olmaktadır. Hücre duvarının parçalanması sonucu hücre içinde

bulunan sıvı ektrat hücrenin dışına kolay bir şekilde çıkabilmektedir. Ultrasonik ses dalgalarının uygulanması sonucu partikül çapının azalması neticesinde katı ve sıvı fazlar arasındaki yüzey alanı artmaktadır (Bayraktaroğlu ve Obuz, 2006). Ultrasonik ses dalgalarının mekanik etkisi çözücünün hücre dokusuna olan hareketini hızlandırmakta ve hücre içi bileşen çözücüye kolay bir şekilde geçmektedir (Kim ve Zayas, 1989).

Ultrases işleminin turşu salamurasına uygulanmasında pozitif sonuçlar gözlemlenmiştir. Salamura sırasında ortaya çıkan tuz kayıpları sebebiyle salamuraya devamlı bir şekilde tuz eklenmekte ve bu uygulama gerek zaman gerekse de maddi kayıplara yol açmaktadır. Ultrasonik ses dalgalarının uygulandığı salamura turşularında tuzun materyallere nüfuz etmesi hızlanmış ve salamura prosesi kısa bir zamanda gerçekleştirilmiştir (Chemat vd., 2011).

Ultrasonik ses dalgalarının protein çözünürlüğü üzerinde önemli ve olumlu etkileri gözlemlenmiştir. Bezelye proteinlerinin pektin ile oluşturdukları karışımlarda çözünürlük ultrasonik ses dalgaları uygulamasıyla %8.0'den %60'a kadar çıkarılmıştır

(Yildiz vd., 2018). Aynı çalışmada, bezelye proteinleri modifiye nişastayla kompleks oluşturmuş ve burada da çözünürlük, %8'den yaklaşık %73'e kadar çıkarılmıştır (Yildiz vd, 2018).

2.2.8. Ultrasonik Ses Dalgalarının Gıdaların Kurutulması Üzerine Etkisi

Yüksek şiddetli ses alanı vasıtası ile bir materyalden suyun uzaklaştırılması hadisesi “**Akustik Kurutma**” olarak adlandırılmaktadır. Ultrases enerjisi, düşük sıcaklıklarda anlamlı bir etki sağlaması nedeniyle ısıya hassas materyallerin kurutulması için gayet uygundur (Kantaş, 2007).

Yüksek şiddetli ultrasonik ses dalgaları kurutulacak ürüne direk uygulandığında, bir süngerin sıkıştırılıp serbest bırakılması gibi ürün içerisinde bir dizi sıkıştırma ve genleşme hareketi meydana getirmektedir. Bu mekanizma ile meydana gelen etki, suyu ürün içerisinde tutan yüzey geriliminden daha fazla bir güç meydana getirmesi neticesinde ortaya çıkan mikroskobik kanallar vasıtasıyla materyalden suyun uzaklaştırılmasını kolay bir şekilde gerçekleştirmektedir (Rastogi, 2011).

Bunlara ilaveten, ultrases enerjisiyle ortaya çıkan kavitasyonun hadisesinin de suyun uzaklaştırılmasında etkili bir faktör olduğu düşünülmektedir (De La Fuente-Blanco vd., 2006).

Ultrases enerjisinin tek başına kullanımının yanı sıra;

- sıcak hava,
- ışınlama,
- dondurarak kurutma,
- yüksek basınç,
- ozmotik kurutma

gibi işlemlerle beraber de uygulanması mümkündür (Topdaş vd., 2011).

Gıdaların kurutulmasında ultrases enerjisi çoğu zaman farklı kurutma teknikleri ile kombine edilmektedir. Bu teknikler ultrases ile birlikte ya eş zamanlı ya da ön işlem olarak kullanılmaktadır. Ozmotik kurutmada eş zamanlı olarak uygulanan ultrasonik ses dalgaları, diğer kurutma tekniklerinde ön işlem olarak uygulanmıştır (Yildiz ve İzli, 2019a).

Ultras es ve ozmotik kurutma uygulamalarında daha sıklıkla ultrasonik banyo cihazı kullanılmakta ve bu proses eş zamanlı bir şekilde uygulanmaktadır. Ozmotik olarak kurutulan elma parçacıkları ile gerçekleşen bir araştırmada 50 kHz frekans ve 150 W enerjiye sahip bir ultrasonik banyoda uygulanan ozmotik kurutma prosesi neticesinde, ultrasonik ses dalgalarının kütle aktarımında etkin olduğu ve su kaybı ile şeker kazanımını arttırdığı ifade edilmiştir (Simal vd., 1998).

Sıcak hava ile kurutmada ultrasonik ses dalgaları, ultrasonik bir banyo ile kurutmadan önce ön işlem şeklinde uygulanabilir veya kurutucu içerisine yerleştirilen bir prob ile kurutma anında da gerçekleştirilebilir. Fernandes ve Rodrigues (2007) gerçekleştirdikleri araştırmalar sonucunda muz meyvesinin sıcak hava ile kurutulmasında ultrasonik ses dalgalarını ön işlem olarak uygulamışlar ve bu uygulamanın etkilerini araştırmışlardır. 25 kHz frekansa sahip ultrasonik banyo ile 10, 20 ve 30 dakikalık süre zarfında 30 °C’de ultras es ön işlemi uygulanan muzun sonuç olarak 20 dakikalık uygulama sonrasında suyun difüzyonunu arttırdığı ve total kurutma zamanını %10.3 civarında kısalttığı rapor edilmiştir (Fernandes ve Rodrigues, 2007). Bunun yanı sıra ultras es işlemi neticesinde

muz meyvesinin şeker oranında % 21.3 dolaylarında bir düşüş ortaya çıkmıştır. Ultrases işleminin şeker miktarı azaltılmış kurutulmuş ürünleri üretmeye olanak verebileceği ifade edilmiştir (Fernandes vd., 2009).

Bir başka çalışmada çilek meyvesinin farklı derecelerde gerçekleşen sıcak hava yöntemi ile kurutulması esnasında su difüzyon katsayısı ile kütle aktarım katsayılarında yükseliş meydana geldiği, bu yükselişin artan kurutma derecelerinde düştüğü ve ilaveten ultrasonik ses dalgaları uygulamasıyla da çeşitli kurutma sıcaklıklarında total kuruma zamanında %13-%44 aralığında değişen oranlarda kısalma olduğu rapor edilmiştir (Izidoro vd., 2011).

Ultrasonik ses dalgalarının patates küplerinin sıcak hava ile kurutulması sonucunda kurutma kinetiği üzerine etkisinin araştırıldığı başka bir çalışmada, patateslerin kurutma kinetiğinin ultrasonik ses dalgaları ile istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gösterdiği belirtilmiştir. 21,8 kHz frekans ve 37 kW/m² güce sahip ultrasonik ses dalgaları, ultrases kullanılmadan kurutulan örneklerle kıyasla kuruma zamanını %40 civarında düşürdüğü, su difüzyon katsayısını %64 ve kütle

transfer katsayısını da %58 oranında arttırdığı tespit edilmiştir (Ozuna vd., 2011).

Ultrasonik ses dalgalarının ön işlem olarak kullanıldığı ham muz meyvesinden izole edilmiş nişastanın kurutulmasında bir dakikalık aralıklarla titreşim veren prob ve 20 kHz frekansa haiz 24 W enerjisinde ultrases 60 dk süresince uygulanmıştır. Hemen arkasından mini spreyci kurutucuda kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda ultrases uygulaması ile meydana gelen kavitasyon sebebiyle nişasta moleküllerinin yapısında bozulmalar meydana geldiği, suyun difüzyonu, nişastanın şişme özelliği ile su emme kapasitesini yükselttiği tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak, aynı araştırmada, ultrasonik ses dalgalarının meydana getirdiği titreşimlerin nişasta jellerinin eşik kayma gerilimi ile kıvam katsayısını düşürdüğü de rapor edilmiştir (Izidoro vd., 2011).

Jambrak vd. (2007) mantar, brüksel lahanası ve karnabahar ürünlerinde 20 kHz frekansa sahip prob ve 40 kHz frekansa sahip ultrasonik banyo ile 3 ve 10 dakikalık süre boyunca ultrasonik ses dalgaları uygulanan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sıcak hava (60 °C) ve dondurularak

kurutma (-45 °C) metotlarıyla kurutulan ürünlerde ultrasonik ses dalgalarının 40 kHz frekans ve 10 dk boyunca ultrasonik banyoda uygulanan ön işlem dışında bütün ürünlerde kuruma hızını arttırdığı, dondurularak kurutulmuş ve düşük frekans (20 kHz) ile gerçekleşen işlemde örneklerin rehidre olma özelliklerinin çok daha fazla olduğu saptanmıştır (Jambrak vd., 2007).

Garcia vd. (2014) gerçekleştirdikleri bir araştırmada çilek meyvesinin renk özellikleri üzerine dondurarak kurutma işleminden önce uygulanan ultrasonik ses dalgaları ön işleminin etkisi incelenmiş ve sonuç olarak ultrasese tabi tutulmuş çileklerin ultrases ön işlemi uygulanmayan örneklerle nazaran daha kırmızımsı ve parlak renge sahip oldukları rapor edilmiştir (Garcia vd., 2014).

Yildiz ve Izli (2019a) yaptıkları bir çalışmada ayvanın renk ve biyoaktif bileşenleri üzerine dondurularak kurutma öncesinde uygulanan ultrases ön işleminin etkisini incelemiş ve sonuç olarak ultrasonik ses dalgalarına tabi tutulmuş ayvaların daha iyi renk özelliklerine, daha düşük su aktivitesine ve daha yüksek antioksidan kapasitesine sahip olduklarını belirtmişlerdir.

Armut meyvesinin infrared kurutulmasında ultrasonik ses dalgalarının kuruma ve yapısal özellikler üzerindeki etkisinin çalışıldığı bir araştırmada armutlar, 24 kHz frekansa sahip ultrasonik prob ile 5 dk boyunca %25, %50, %75 ve %100 genlikte ultrasonik ses dalgalarına maruz bırakılmış ve hemen arkasından 70 °C’de infrared kurutma işlemi uygulanmıştır. Sonuç olarak ultrases ön işleminin artan genliklerde kuruma zamanını kavitasyon sonucu ortaya çıkan değişikliklere bağlı olarak düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bu çalışmada tekstür analizleri neticesinde sertlik ve elastisitenin artan genlikle azaldığı gözlemlenmiş ve uygulanan ultrases ön işleminin tekstür özellikleri açısından en verimli sonucu verdiği rapor edilmiştir (Jambrak vd., 2010).

Pastörizasyon ve sterilizasyon başta olmak üzere gıda endüstrisinde kullanılan ısıtma işlemleri gıdaların genel kalitesini ve besinsel değerlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuzlukları en aza indirmek için ısıtma olmayan yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Ultrasonik ses dalgaları;

- uygulandığı ürüne zarar vermeyişi,
- uygulanabilirliğinin kolay oluşu, ve
- çevre dostu oluşu

nedeniyle büyük öneme sahiptir.

Ultrasonik ses dalgaları tek başına kullanıldığında gıda muhafazasında yeterli olmayabilmektedir. Bu yüzden ultrases teknolojisi;

- ultrases-ısıl işlem (TS),
- ultrases-basınç (MS),
- ultrases-ısıl işlem-basınç (MTS)

ile birlikte kullanıldığında duyuusal ve besinsel kompozisyon bakımından kaliteli ürün elde edilmesinde etkili olmaktadır.

Bu uygulamalarla gıdanın yapısında yüksek sıcaklık etkisiyle ortaya çıkan,

- uçucu tat-koku maddeleri,
- vitaminler, ve
- diğer besin öğeleri kaybı

gibi olumsuzluklar ortadan kaldırılabilmektedir.

Ultrasonik ses dalgalarının farklı kurutma teknikleriyle kombinasyonunun gerçekleştirildiği uygulamalarda;

- suyun difüzyonunun arttığı,
- proses zamanının kısaldığı,
- ultrasonik ses dalgaları ile kurutulmuş materyalin kolay rehidre olduğu,
- geleneksel kurutma proseslerinin yol açtığı kalite kaybı gibi negatif durumların ortadan kaldırıldığı görülmektedir.

3. GIDALARIN KURUTULMASINDA MİKRODALGA VE SICAK HAVA YÖNTEM ÇALIŞMALARI

Ultrasonik ses dalgaları hakkında bu detaylı bilgilendirmeden sonra mikrodalga ve sıcak hava kurutma metotlarının detaylarına kaldığımız yerden devam ediyoruz:

Kantaş (2007) gerçekleştirmiş olduğu bir çalışmada yüksek güçlü doğrudan temasa sahip ultrasesin (24 kHz frekansa sahip prob sistemi) elma, kereviz, havuç ve patates örneklerinin 30 °C, 40 °C ve 50 °C sıcaklıklarındaki ve 3.9 m/s hava hızı şartlarındaki kuruma hızı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. En iyi kurutma şartları sırasıyla, kereviz örneği için % 100 genlik, 1,0 vurum ve 30 °C sıcaklık; elma örneği için % 100 genlik, 1,0 vurum ve 30 °C sıcaklık; havuç örneği için % 70 genlik, 1,0 vurum ve 50 °C sıcaklık ve son olarak da patates örneği için % 70 genlik, 0,7 vurum ve 50 °C sıcaklık şeklinde tespit edilmiştir. Ultrasonik ses dalgalarının kuruma hızı üzerindeki etkilerinin elma > kereviz > havuç > patates sırasına göre yükseldiği; sıralamanın bu şekildeki dağılımının yapıda ve bileşimdeki hava boşluklarının etkiyi artırıcı, şeker ile nişasta varlığının da etkiyi düşürücü fonksiyona sahip oluşundan

kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Garcia-Perez vd. (2007) havuç, limon kabuğu ve trabzon hurması örneklerinin ultrasonik ses dalga destekli kurutulmalarını inceledikleri bir çalışmalarında ultrases gücü uygulayabilecek şekilde modifiye edilmiş pilot ölçekli bir kurutucu düzenek kullanmışlardır. 0,5 – 1,2 m/s hava hızında havuç ve limon kabuğu için 40 °C sıcaklık, trabzon hurması için 50 °C sıcaklık değerlerinde gerçekleştirilen kurutma işlemi sırasında 21,8 kHz frekansa sahip 75 W ultrases gücü kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları dikkate alındığında, ultrases enerjisinin, yüksek hava hızlarında hava akımı nedeniyle akustik alanın bozulmasına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Ultrasonik ses dalgalarının düşük gözenekliliğe sahip havuç ve trabzon hurması örneklerinde kütle transferini düşük hava hızlarında arttırdığı, limon kabuğu gibi yüksek gözenekli gıdalarda ise bütün hava hızlarında kütle transferini arttırdığı tespit edilmiştir.

Özkan vd. (2007) gerçekleştirdikleri bir çalışmada % 9 nem içeriğine sahip ıspanak örneklerini mikrodalga kurutma yöntemi ile % 0.1 nem içeriğine dek kurutmuşlardır. Kurutma işleminde kullanılan mikrodalga fırında 90 W ile 1000 W aralığında

değişen 8 farklı güç düzeyi uygulanmış olup kurutma uygulaması mikrodalga güç düzeyine bağlı olarak 290-4005 saniye aralığında farklı zamanlarda gerçekleşmiştir. Mikrodalga metodu ile kurutulmuş ıspanak yapraklarında kurutma zamanı, enerji sarfiyatı, C vitamini ve renk kalitesi bakımından en uygun neticelere 750 W mikrodalga gücünde uygulanan kurutma uygulamasıyla ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Fernandes vd. (2008a) ultrases ve ozmotik dehidrasyon ön işlemlerinin kavun örneklerinin sıcak hava ile kurutulması prosesinde hücre yapısının üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmalarında, 25 kHz frekans ile 4870 W/m² enerjiye sahip olan ultrasonik banyo vasıtasıyla 20 ve 30 dakikalık sürelerde, 30 °C sıcaklıkta ultrasonik ön işlem uygulamışlardır. Araştırmacılar; ozmotik dehidrasyonda kavun örneklerinin su kaybederek şeker kazandıklarını, ultrasonik ses dalgalarına maruz bırakılan kavun örneklerinin ise şeker kaybederek su kazandığını tespit etmişlerdir. Buna ilave olarak, her iki uygulamanın sıcak hava ile kurutma esnasındaki suyun difüzyonunu yükselttiği; ultrasonik ses dalgalarının hücrenin yapısında değişimlere yol açtığı fakat ozmotik dehidrasyondan farklı bir şekilde hücre yapısında meydana gelen bozulmaların

aksine mikroskobik kanal oluşumuna neden olduğu tespit edilmiştir.

Fernandes vd. (2008b) yaptıkları bir çalışmada papaya meyve örneklerinin 60 °C’de sıcak hava ile kurutulması işleminden önce 25 kHz frekanslı ve 100 W/m³ enerjili ultrasonik banyo sistemi ile 30 °C sıcaklıkta 10, 20, 30, 45 ve 90 dakika boyunca gerçekleştirdikleri ultrasonik ses dalgaları ön işleminin; papaya örneklerinin şeker miktarını 30 dakika içinde % 13.8, 90 dk içinde ise % 30.6 civarında azalttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, kurutma prosesi esnasında su difüzyon kat sayısının 20 dakika boyunca ultrasonik ses dalgalarına tabi tutulan papaya meyve örneklerinde ön işlem süresince ortaya çıkan mikro kanal oluşumuna bağlı olarak % 28.8 civarında yükseldiği ve kuruma zamanının % 16 civarında azaldığı tespit edilmiştir.

Schössler vd. (2008) gerçekleştirdikleri bir araştırmada elma ile kırmızı dolmalık biberin ultrasonik ses dalga destekli sıcak hava ile kurutulmasını çalışmışlardır. Kurutma prosesi, 24 kHz frekanslı ultrasonik ses dalgalarının 70 °C’deki sıcak hava ile birleştirildiği bir sistemde uygulanmıştır. Ultrasonik ses dalga destekli kurutma uygulaması ve geleneksel metot neticesinde

ortaya çıkan son ürünün su miktarları arasında istatistiki bakımdan önemli bir fark elde edilmiştir ($p<0.05$). Total kuruma zamanının kırmızı dolmalık biber örneklerinde % 23 civarında (250 dakikadan 204 dk'ya), elma örneklerinde ise % 27 (313 dk'dan 230 dk'ya) civarında düştüğü tespit edilmiştir.

Contreras vd. (2008) yaptıkları bir çalışmada elma ve çilek örneklerini konvektif ve mikrodalga-konvektif kombinasyonunu kullanarak kurutmuşlardır. Konvektif kurutma için 30, 40 ve 50 °C sıcaklıkları uygulanırken mikrodalga kurutma yönteminde çilek için 0,2 ve elma için 0,5 W/g mikrodalga yoğunlukları kullanılmıştır. Ayrıca kurutma öncesi vakum emilim ön işlemi uyguladıkları kurutulan ürünler üzerinde görsel ve mekaniksel özellikleri incelemiştir. Yüksek mikrodalga ve sıcak hava uygulamalarının elma ve çilek örneklerinin kuruma zamanını kısaltırken düşük renk değişimleri meydana geldiği ve kurutulan ürünlerin daha sıkı ve sert yapı sergiledikleri bildirilmiştir. Ön işlem uygulamasının kurutulan ürünler üzerinde mekanik direnci artırırken, örneklerin renklerinde olumsuz bir etki yapmadığı tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda elma ve çilek kurutmada

kullanılan tüm kurutma şartları için ön işlem uygulaması önerilmiştir.

Witrowa-Rajchert ve Rzaca (2009) konveksiyonel, mikrodalga-konveksiyonel ve kızılötesi-konveksiyonel kurutma yöntemlerini kullanarak elma dilimlerini kurutmuşlardır. Çalışmalarında kurutmuş oldukları elma dilimlerinin hem mikroyapılarını hem de yoğunluk, porozite ve büzülme gibi fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Elde ettikleri deneysel verilerin sonucunda mikrodalga ve kızılötesi kurutma yöntemiyle kurutulan elma dilimlerinde konveksiyonel kurutma yöntemiyle kurutulan elma dilimlerine göre % 11-12 daha az büzülme ve % 30-34 daha az hacimsel değişiklik elde edilmiştir. Ayrıca, yine bu şekilde kurutulan elma örneklerinin % 25-28 oranında daha yüksek porozite oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Elma dilimlerinin yapısal değişikliklerini gözlemek amacıyla taramalı elektron mikroskopu kullanılmıştır. Elde edilen görüntülere göre konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan elma dilimlerinin hücre dağılım boyutlarında önemli değişimler gözlemlenirken, mikrodalga ve kızılötesi kurutma yöntemiyle kurutulan elmaların hücrelerinde bu değişimlerin daha geniş bir kesit alana yayıldıkları tespit edilmiştir.

Kuljarachanan vd. (2009) yaptıkları bir çalışmada lime kabuğu ile posasının haşlama ve kurutma uygulamaları sonucunda askorbik asit, fenolik bileşenler, limonin, nomilin ve antioksidan aktivitelerinde ortaya çıkan değişiklikleri incelemişlerdir. Haşlama işlemi neticesinde besleyici öğeler ile antioksidan kapasitede bir düşüş tespit edilmiştir. Kurutma uygulamasında; limonin ve nomilin miktarında kurutma işleminin baştaki basamaklarında yükseliş, sonraki aşamalarında ise bir düşüş tespit edilmiştir. Kurutma uygulaması sonrasında askorbik asit, toplam fenolik bileşenler ve antioksidan kapasitede bir düşme tespit edilmiştir.

Demiray (2009) gerçekleştirmiş olduğu bir araştırma kapsamında “Rio Grande” cinsi domates örneklerinin 5 kurutma sıcaklık derecesi ile % 20 nem içeriğinde sergilediği kuruma özelliklerini incelemiştir. Bu amaç doğrultusunda analizler için 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C ve 100 °C sıcaklık dereceleri kullanılarak, herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan domates örnekleri ortalama olarak % 10 nem oranına dek kurutulmuştur. Domates örneklerinin kuruma kinetikleri araştırılmış ve kurutma işlemi esnasında ortaya çıkan likopen, beta karoten, C vitamini ve renk farklılığı incelemeye tabi tutulmuştur. Gerçekleşen

analizler neticesinde, uygulanan sıcaklık dereceleri yükseldikçe örneklerin kuruma zamanlarının kısaldığı tespit edilmiştir. Domates örneklerinin kurutulma işleminden önce C vitamini miktarı 544.84 mg/100g kuru madde şeklinde gözlenmiştir. 60 °C sıcaklıkta 20 saat devam eden kurutma prosesinde C vitamini içeriğinde % 75 civarında bir düşüş ortaya çıkmıştır. 90 °C sıcaklıkta 10 saat devam eden kurutma uygulamasında 8. saatten itibaren ortamda C vitamini bulunamamıştır. 100 °C sıcaklıkta 8 saat devam eden kurutma prosesinde ise 5. saatten sonra domates örneklerinde C vitaminine rastlanmamıştır. Domates örneklerindeki likopen oranındaki değişikliklerin analiz edilmesi neticesinde, 60 °C sıcaklıkta % 75 civarında kayıp oluşurken, 100 °C sıcaklıkta uygulanan kurutma prosesinde % 98 civarında bir düşüş tespit edilmiştir. Beta karoten oranına bakıldığında ise 60 °C sıcaklıkta % 81 civarında ve 100 °C sıcaklıkta ise % 96 civarında bir düşüş ortaya çıkmıştır. Çalışma kapsamında kuruma kinetiğine, C vitamini, likopen, beta karoten ve renk değişimi kinetikleri ile alakalı modelleme analizleri de gerçekleştirilmiştir. İncelenen modeller içerisinde 60 °C ve 100 °C sıcaklık dereceleri arasında ve % 20 nem içeriğinde domates örneklerinin kurutulmasını tanımlamada en uygun model olarak Modifiye Page model ön plana çıkmıştır. C

vitamini, likopen ve beta karoten değişim kinetiklerinin 1. derece kinetik modele, renk değişim kinetiklerinin ise 0. ve 1. dereceden kinetik modele uygun olduğu tespit edilmiştir. Kurutulmuş domates örnekleri için likopen, beta karoten ve C vitamini değişikliklerine ait aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 46.96, 40.17 ve 46.99 kJ/mol şeklinde hesaplanmıştır.

Wega-Galvez vd. (2009) yaptıkları bir çalışmada 50 ve 90 °C sıcaklık dereceleri aralığında uygulanan kurutma işleminin kırmızı biberin fizikokimyasal karakteristikleri, rehidrasyon oranı, renk parametreleri, yapısal özellikleri, askorbik asit miktarı, antioksidan aktivitesi ve toplam fenolik madde üzerine etkileri incelenmiştir. Kurutmada uygulanan sıcaklık değerlerindeki yükselişin askorbik asit miktarını kayda değer bir ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Bu sebeple de 90 °C sıcaklıkta kurutulmuş kırmızı biber numunelerinde askorbik asit kaybının % 98 oranı ile maksimum seviyede gerçekleştiği ve 80–90 °C sıcaklık aralığında daha fazla antioksidan kapasitesi sergilediği tespit edilmiştir.

Madrau vd. (2009) gerçekleştirdikleri bir araştırmada Cafona ve Pelese cinsi 2 kayısı meyve örneğini 55 ve 75  C sıcaklıklarda kurutmuşlar ve kurutulan bu 2 kayısı cinsinde polifenolik maddeler ile antioksidan kapasitesinde sıcaklık değerlerinin etkilerini incelemişlerdir. Cafona cinsi kayısı örneğinde klorogenik ve neoklorogenik asit miktarlarındaki dūřuřun dūřuk kurutma sıcaklıklarında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 75  C sıcaklıkta kurutulmuş kayısı numunelerindeki diğer bileşenlerde gözlemlenen azalış üzerinde daha çok durulurken, kateşin miktarı her 2 cins kayısıda da hidroksisinamik asitle benzer bir durum sergilemiştir. Toplam fenolik madde miktarı spesifik olarak daha dūřuk sıcaklık derecelerinde kurutulmuş kayısı numunelerinde kayda değer bir ölçüde azalma sergilemiştir. Taze Cafona kayısı örneklerinde antioksidan kapasitesinin 75  C sıcaklıkta kurutulmuş kayısı numunelerinden 4 kat daha çok olduğu tespit edilmiştir.

Fernandes vd. (2009) ananas ile yaptıkları bir çalışmada 25 kHz frekanslı ve 4870 W/m² enerjili ultrasonik banyo ile 10, 20 ve 30 dk boyunca uyguladıkları ultrases n işleminin peşinden 60  C sıcaklıkta gerçekleştirdikleri sıcak hava ile kurutmanın sonucunda; 30 dk'lık ultrasonik n işleminin su difüzyonunu

arttırdığı, işlem süresini (249 dakikadan 202 dk'ya) kısalttığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak, ışık mikroskobu ile hücre yapısında meydana gelen değişimler analiz edilmiş ve saf su içinde uygulanan ultrasonik ses dalga ön işleminin ancak 20 dk ve üstündeki zaman aralıklarında hücre yapısı üzerinde değişime neden olduğu tespit edilmiştir.

Tarhan vd. (2009) gerçekleştirdikleri bir araştırmada Amasya elma çeşidini 5 mm boyutlarında dilimleyerek farklı kimyasal solusyonlarda bekletmenin ardından kurutma işlemine tabi tutmuşlardır. Kurutma metodu olarak çevrenin havasıyla gerçekleşen doğal kurutma işlemi, etüvde 65 °C sıcaklık derecesindeki hava kullanılarak gerçekleşen kurutma işlemi ve mikrodalga ile kurutma metotları uygulanmıştır. 3 gün devam eden kurutma prosesi neticesinde doğal kurutma metodu ile yüzeyde meydana gelen kararma sorunu sebebiyle mikrodalga ile kurutma işlemi, elma meyve örneklerini kurutmada uygun olarak bulunmamıştır. % 2 oranındaki sitrik asit solusyonu ile muamele gören elma dilimlerinin 65 °C'deki sıcak hava ile kurutulması ürün kalitesi ve kurutma zamanı bakımından en uygun sonucu göstermiştir.

Polatcı ve Tarhan (2009) tarafından yapılan bir çalışmada reyhan bitkisi, gölgede, güneşte, etüvde, mikrodalgada ve kondüksiyonel metotla olmak üzere 5 farklı yöntemle kurutmaya tabi tutulmuştur. Kondüksiyonel kurutucularda 2 farklı hız parametresi kullanılarak kurutma işlemi uygulanmış ve neticede ürün kalitesi ile kurutma süresinde kayda değer bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Etüvde 45 °C ile 55 °C sıcaklıklar derecelerinde uygulanan kurutma prosesleri 50 ve 34 saat sürmüşken, mikrodalgada ile kurutulan reyhan örneklerinin kuruma zamanı azalmış ve 9-22 dk içinde tamamlandığı bildirilmiştir. Diğer taraftan, mikrodalga ile kurutma uygulaması, reyhan bitki örneğinin kalite karakteristiklerinin muhafaza edilmesi açısından uygun bulunmamıştır. Buna ilaveten, güneşte ve gölgede kurutma metotlarının reyhan bitki örneklerinin kalite karakteristiklerini negatif yönde etkilediği tespit edilmiştir. Çalışmanın neticesinde reyhan bitkisinin kurutulmasında 45-55 °C sıcaklıktaki hava ile kurutma işleminin en uygun yöntem olduğu tespit edilmiştir.

Ayan (2010)'ın yaptığı bir çalışmada güneşte ve hava ile desteklenmiş fırınlarda 40 °C, 50 °C ve 60 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklık derecesinde yapay bir şekilde kurutulmuş

domates örneklerinin özellikleri analiz edilmiştir. Fırın ve güneşte kurutma yöntemi neticesindeki domates numunelerindeki likopen miktarları taze domatese kıyasla daha yüksek oranda tespit edilmiştir. Fakat bu farklılık istatistiksel açıdan önemli oranda bulunmamıştır. Bütün bulgular değerlendirildiğinde likopen açısından yapılan varyans analizi neticesinde kurutma metotları arasındaki farklılığın tesadüfen olduğu sonucuna varılmıştır. Bu yüzden de çalışmada uygulanan sıcaklık derecelerinde kurutulmuş domates örnekleri ve güneşte kurutulmuş domates örnekleri arasında likopen miktarı bakımından kayda değer bir farklılık tespit edilmemiştir. Sonuç olarak, çalışmada uygulanan farklı kurutma yöntemleri ve sıcaklık değerlerinin domates örneklerinin likopen miktarında önemli bir değişime neden olmadığı tespit edilmiştir.

Azoubel vd. (2010) ultrasonik ses dalgalarının muz meyvesinin kurutma özellikleri üzerine etkilerini hedef alarak gerçekleştirdikleri bir çalışmada 25 kHz frekanslı ultrases banyosu ile 10, 20 ve 30 dk boyunca 30 °C sıcaklıkta ultrases ön işleminin peşinden 50 ve 70 °C sıcaklıklarda, 3 m/s hava hızında muz örneklerini kurutmuşlardır. Ultrasonik ses dalgalarının uygulanması sonucu muz numunelerinin nem içerikleri 30

dk'lık ön işlem sonrasında % 5 civarında yükselmiştir. Buna ek olarak, 30 dk'lık ultrasonik ses dalgalarının ön işlem olarak uygulanması sonrası toplam kurutma zamanı 50 °C'deki sıcaklıkta hava ile kurutma işleminde 345 dk'dan 207 dk'ya, 70 °C sıcaklıkta uygulanan hava ile kurutmada ise 111 dakikadan 106 dk'ya düşmüştür. Araştırma sonucunda ultrasonik ses dalga ön işlemi ile önemli derecede bir enerji ekonomisi oluşturulabileceği tespit edilmiştir.

Garcia-Perez vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada silindirik bir şekilde dilimlenen ve 2 cm kalınlık ile 2,4 cm çaptaki boyutlara sahip olan patlıcan örneklerinin 40 °C sıcaklık ve 1 m/s hızda hava ile kurutulma işlemi esnasında 15 ile 90 W arasında akustik enerji uygulanmış ve akustik gücün artması ile kurutma kinetiğinin de hızlandığı ve kurutma zamanının da kısaldığı, kuruma zamanındaki en fazla düşüşün % 70'lik bir oran ile 90 W akustik enerjinin uygulandığı patlıcan numunelerinde tespit edildiği bildirilmiştir. Bunlara ilaveten, gerçekleştirilen elektron mikroskobu analizi ile ultrases uygulaması neticesinde ara yüzeyler arasında meydana gelen farklı hızlar, basınç dalgalanmaları ile mikro akışın, sınır katmanını incelterek kütle transferini arttırmasının yanı sıra ara

yüzeylerde bozunma ve parçalanmaya yol açtığı tespit edilmiştir.

Oliviera vd. (2010) tarafından gerçekleştirilen jambu meyve örneğinin 60 °C sıcaklıktaki sıcak hava ile kurutma işlemi öncesinde 25 kHz frekanslı ve 60 W güce sahip ultrasonik banyo ile 10, 20, 30, 45 ve 60 dk süresince; saf su, 25 ve 50 °Briks sakkaroz solusyonları içinde uygulanan ultrasonik ses dalga ön işlemi ile suyun difüzyonunun; 25 °Briks sakkaroz solusyonu içerisinde 30 dk ultrases ile muamele edilen Jambu meyve örneği için % 28 civarında yükseldiği, 1 saatlik ön işlem neticesinde toplam kurutma zamanının % 27 (854 dakikadan 621 dk'ya) civarında kısaldığı tespit edilmiştir. Buna ilave olarak, saf su içinde uygulanan ultrases ön işlemi esnasında meyve örneğinin şeker miktarının azaldığı ve ultrasesin şeker miktarı düşük kuru meyvenin üretilmesi amacıyla kullanılabilecek alternatif bir metot olduğu tespit edilmiştir.

Soria vd. (2010) ultrasonik ses dalgaları destekli sıcak hava ile kurutma işlemi (20, 40 ve 60 °C sıcaklıklar ve 75, 90, 120 dakika) esnasında havuç örneklerinin kimyasal ve fizikokimyasal özelliklerini inceledikleri araştırmalarında, 20

kHz frekanslı ve 100 W/cm² güçteki ultrases ön işleminin oluşan kavitasyon ve mikroskobik kanallar neticesinde suyun uzaklaştırılmasını kolaylaştırdığı tespit edilmiştir.

Er (2011) gerçekleştirdiği bir çalışmada suda haşlama ve mikrodalga prosesi gibi 2 farklı ön işlem ile muamele edilen kırmızı pancar örneklerini, 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklık derecelerinde kurutma işlemine tabi tutmuştur. Gerçekleştirilen bu kurutma uygulamaları neticesinde kırmızı pancar örneklerinin toplam fenolik bileşenler, toplam betalain, betaksantin, betasiyanin içerikleri, antioksidan kapasitesi, mineral madde ve renk parametrelerindeki değişim süreci araştırılmıştır. Çalışmanın neticesinde, bütün kurutma koşulları altında kırmızı pancar örneklerinin kayda değer kimyasal maddelerinde azalmalar yaşanmakla beraber, bu azalışın ön işleme tabi tutulan numunelerde ön işlem uygulanmadan kurutulmuş kırmızı pancar numunelerine kıyasla daha düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga ve suda haşlama uygulamalarının DPPH üzerindeki etkisi kıyaslandığı zaman metanol ekstraksiyonu bakımından en etkili sonucun suda haşlama işlemi ile sağlandığı ortaya çıkmış olup kurutma işlemi sıcaklığı açısından ise en uygun değer 70 °C sıcaklık ile elde

edilmiştir. Mineral madde bakımından kurutma öncesi uygulanan suda haşlama işlemi ile kalsiyum, demir, potasyum, magnezyum, mangan, sodyum ve fosfor miktarlarında azalma meydana gelirken bor, krom, bakır, nikel ve çinko değerlerinde ise artış tespit edilmiştir. Buna ek olarak, mikrodalga ön işlemi sonucu sodyum, nikel ve fosfor elementleri dışında öteki bütün mineral maddelerin miktarlarında bir yükseliş tespit edilmiştir. Kurutma sıcaklık değerleri mineral maddeler üzerindeki etkisi açısından değerlendirildiğinde en uygun sonucu 70 °C sıcaklıkta kurutulan kırmızı pancar örneklerinin verdiğini söylemek yanlış olmayacaktır. Bütün bu bulgular dikkatle incelendiği zaman kırmızı pancar örneklerinin kurutulması işleminde suda haşlama ile ön işleme tabi tutulan numunelerin 70 °C sıcaklıktaki sıcak hava ile kurutma işleminin en iyi kurutma şartlarını sağladığını söylemek mümkündür.

Ozuna vd. (2011) patates örneklerinin sıcak hava yöntemi ile kurutulması işleminde ultrases enerjisinin kurutma özellikleri üzerine etkisini araştırdıkları bir çalışmada, küp şeklinde kesilen patates örneklerinin kurutma kinetiğinin ultrasonik ses dalga enerjisi ile istatistiksel bakımdan önemli oranda bir değişim gösterdiği ($p < 0,05$), 21.8 kHz frekanslı ve 37 kW/m² güce sahip

ultrases enerjisinin, ultrasesin uygulanmadığı prosese kıyasla kuruma zamanını % 40 civarında kısalttığı, su difüzyonunu % 64 oranında ve kütle transferini de % 58 nispetinde arttırdığı tespit edilmiştir.

Mrad vd. (2012) armutun kalite ve yapısal özelliklerinin değişimi üzerine yaptıkları bir çalışmada 30'dan 70 °C'ye kadar değişen 5 farklı sıcaklık koşullarında armut meyvesini konvektif olarak kurutmuşlardır. Çalışma neticesinde kurutma sıcaklığı ve zamanının renk, toplam fenol bileşikleri ve askorbik asit içeriğinde önemli bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Yüksek sıcaklık uygulaması en büyük renk değişimine neden olmuştur. Askorbik asit bozunması da yüksek sıcaklıktaki kurutmadan daha fazla etkilenmiştir.

Alibaş (2012) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada, baştaki nem miktarı %75 civarında olan asma yaprakları, nem düzeyi % 9'a ulaşınca dek 13, 15 ve 17 W/g mikrodalga güçlü kurutma işlemi ile muamele edilmiştir. Kurutma prosesi 210 ile 270 saniye sonucunda tamamlanmıştır. Mikrodalga ile kurutulmuş asma yapraklarının renk değerleri ve C vitamin miktarları taze asma yaprak örnekleri ile kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda,

taze örneğe en yakın renk değerleri ve C vitamin içeriğinin 15 W/g güç'teki mikrodalga ile kurutma işlemi sonucu ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Botha vd. (2012) yaptıkları bir çalışmada, dilimledikleri ananas örneklerini mikrodalga destekli ozmotik kurutma işlemi ile muamele etmişlerdir. Kurutma prosesi; 40 °C sıcaklık, 1.5 saat süre ve 55 °Brikslik sakkaroz solusyonu ile gerçekleşmiştir. Kullandıkları mikrodalga sistemini en fazla 1000 W güç ve 2450 MHz frekanslı olacak şekilde uygulamışlardır. Çalışmaya özgü olarak 30 ve 70 °C sıcaklık aralığındaki çeşitli giriş sıcaklık değerlerine karşı farklı mikrodalga güç çıkış sistemleri oluşturulmuştur. Mikrodalga güç düzeyi, kurutma işleminin ilk 90 dk'lık basamağında en iyi ve uygun neticeleri göstermiştir. Yüksek mikrodalga gücü ile 30 ve 50 °C aralığındaki düşük sıcaklık derecelerinde gerçekleşen işlemin, kurutma uygulamasının ilk basamağında avantajlı olduğu ancak uygulamanın sonuna doğru kurutma işlemini yavaşlattığı belirtilmiştir.

Çelen ve Kahveci (2013) yaptıkları bir çalışmada, mikrodalga fırın gücünün domates örnekleri üzerine etkisini kurutma hızı, enerji sarfıyatı ve kurutulan son ürünün renk kalitesi açısından incelemişlerdir. Araştırma esnasında 90, 180, 360 ve 600 W mikrodalga güçleri kullanılmış ve çalışma neticesinde mikrodalga gücündeki artışın kurutma süresi ve enerji sarfıyatını azalttığı bildirilmiştir. Buna ilaveten, kuruma hızının ilk aşamalarda yükseldiği, sonraki aşamalarda ise düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca, domates örneklerinin renk değerleri, mikrodalga güç yükselişine bağlı olarak negatif bir şekilde etkilenmiştir.

Sangwan vd. (2014) gerçekleştirdikleri bir araştırmada zencefil örneklerini gölgede, güneşte, fırında ve mikrodalga fırında kurutmaya tabi tutmuş ve elde ettikleri zencefil tozunun besin içeriğindeki değişiklikleri incelemişlerdir. Toz haline getirilmiş zencefil numunelerinde nem miktarı, güneşte kurutululan zencefil tozlarında % 3.55 civarında ve gölgede kurutululan zencefil tozu numunelerinde % 3.78 oranında tespit edilmiştir. Protein, ham lif, yağ ve kül içeriklerine bakıldığında ise sırası ile % 5.02-5.82, % 4.97-5.61, % 0.76-0.90 ve % 3.38-3.66 değerleri aralığında bir değişim bildirilmiştir. En fazla beta - karoten ve C

vitamini miktarı gölgede kurutulan zencefil tozu örneklerinde tespit edilmiştir. Gölge, güneş, fırın ve mikrodalga ile kurutulan zencefil tozu numunelerinin polifenol miktarları sırası ile 12.5, 11.8, 12.4 ve 12.4 mg/100 g bulunmuş olup birbirlerine hayli benzer değerler sergilemişlerdir. Diğer taraftan, farklı kurutma metotlarına tabi tutularak elde edilen zencefil tozu örnekleri duyuusal ve besin kalitesi bakımından güzel sonuçlar sergilemişlerdir.

Mohanta vd. (2014) zencefil dilimlerini (4 mm kalınlıkta) konvektif (25, 40, 50 ve 60 °C), mikrodalga (120, 240 ve 360 W) ve mikrodalga-konvektif kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuşlardır. Çalışmalarında kurutmuş oldukları ürünlerin yeniden su alma özelliklerini incelediklerinde 50 ve 60 °C sıcaklıklardaki konvektif kurutma yöntemi ve 120W-40°C kombinasyonu konvektif-mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerin yeniden su alma sonuçlarının kabul edilebilir olduklarını ancak diğer kurutma yöntemleri ile kurutulan ürünlerin yeniden su alma sonuçlarının kabul edilebilir sonuçlar sağlamadıklarını belirtmişlerdir. Buna bağlı olarak maksimum yeniden su alma kapasitesi hız sonuçlarını 50 °C sıcaklıkta konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan

ürünlerden elde etmişlerdir. En iyi renk değerlerini ise 120W-50 °C ve 120W- 60°C koşullarında kuruttukları ürünlerden elde etmişlerdir. Duyusal analiz sonuçlarına göre 120W-50 °C ve 240W-50 °C kombinasyonlarında kurutulan ürünlerden en iyi sonuçları elde etmişlerdir. Çalışmalarında 120W-50°C kombinasyonunda kurutulan ürünlerin kurutma süresi bakımından 50 ve 60 °C sıcaklıklarda konvektif kurutma yöntemine göre kurutulan ürünlerden sırasıyla %44 ve %53 zaman kazanımı sağladığı, 240W-50 °C için ise bu oranın %89 ve %91 olduğu tespit edilmiştir.

Wojdyło vd. (2014) vişne kurutmada konvektif ve mikrodalga-vakum yöntemlerinin ürün üzerinde bazı kalite faktörlerini incelemişlerdir. Bu faktörleri ise, fenolik bileşikler, antioksidan kapasite ve renk parametrelerini olarak belirlemişlerdir. Konvektif kurutmada 50, 60 ve 70 °C sıcaklıkları, mikrodalga-vakum yöntemimde ise 240, 360 ve 480 W mikrodalga güçleri ile 4 ve 6 kPa vakum basınçlarını kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre sıcaklık ya da mikrodalga seviyesinin artmasının fenolik bileşikler, antioksidan aktivitesi ve renk içeriği açısından, ürün kalitesini düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

Nowacka vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen bir başka araştırmada da, konvansiyonel kurutma metoduna ek olarak bu yöntemin mikrodalga uygulaması ile birleştirilerek mikrodalga-konvansiyonel ve de kızılötesi ile beraber uygulanarak kızılötesi-konvansiyonel olacak şekilde 3 farklı kurutma metodu ile elma örneklerinin kurutma sonrası ve 1 senelik muhafazasını takiben polifenol içerikleri ile radikal tutma aktiviteleri incelenmiştir. Kurutma zamanının süresine bağlı olarak radikal tutma kapasitesinde ve polifenol miktarında kurutma esnasında ve aynı zamanda da depolama süresince bir azalma tespit edilmiştir

Alibaş ve Köksal (2014) yaptıkları bir çalışmada kuru madde üzerinden yaklaşık 5 g başlangıç nem değerine sahip ebegümeci örneklerini mikrodalga ile kurutma, konvansiyonel kurutma ve de vakum kurutma olmak üzere 3 farklı kurutma metodu ile kurutmuşlardır. Ebegümeci örnekleri, nem içerikleri 0.10 g'a ulaşıncaya kadar kurutma işlemine tabi tutulmuşlardır. Kurutma uygulaması, 6.67, 8.67, 10, 11.33 W mikrodalga güç aralıkları ile 50, 75, 100 ve 125 °C konvansiyonel kurutma sıcaklık derecelerinde ve 3,7 kPa vakum şartlarında 2 farklı sıcaklıkta (50 °C ve 75 °C) uygulanmıştır. C vitamin miktarı ile renk

değerleri bakımından en uygun mikrodalga güç seviyesi kurutma işleminin yaklaşık 6.5'inci dk'sında 10 W/g şeklinde tespit edilmiştir

Tüfekçi (2014) tarafından gerçekleştirilmiş bir araştırmanın hedefi ise ultrasonik ses dalgaları uygulamasının bamya ve elma meyve örneklerinin kuruma performansları üzerinde ortaya çıkardığı etkileri tespit etmek olmuştur. Bu amaç doğrultusunda 20 kHz frekanslı ultrasonik ses dalgaları meydana getiren prob sistem kullanılarak bamya ve elma numunelerine ön işlem olarak uygulanmış ve ön işlem sonunda da sıcak hava ile kurutma yöntemi uygulanmıştır. Ultrasonik ses dalga ön işleminde kullanılan zaman ve genlik değerleri sırası ile 10, 20 ve 30 dk ve % 55 ve % 100 şeklinde uygulanmıştır. Kurutma sıcaklık değerleri 60 °C ve 70 °C olarak seçilmiş ve hava hızı da 0,3 m/s şeklinde uygulanmıştır. Sıcak hava ile kurutma uygulaması öncesinde yapılan ultrasonik ses dalga ön işleminin bamya ve elma numunelerinin kuruma hızını, ürünün bazı yapısal karakteristiklerine bağlı olarak bazı şartlarda yükselttiği tespit edilmiştir. Buradan hareketle, kuruma hızının en fazla olduğu durumlar bamya örneği için, % 100 genlik ve 20 dk; elma örneği için de % 100 genlik ve 30 dk şeklinde tespit edilmiştir. En fazla

rehidrasyon oranlarına 30 dk boyunca % 100 genlikte ultrasonik ses dalgalarına tabi tutulan numunelerde rastlanmış, bu şartlarda rehidrasyon oranı bamya ve elma örnekleri için sırası ile 8.37 ve 7.10 şeklinde tespit edilmiştir.

Zielinska vd. (2015) tarafından gerçekleşen bir çalışmada yaban mersini numunelerinde kurutma işlemi boyunca enerji tüketimi ile kalite karakteristikleri üzerinde dondurarak kurutma ve mikrodalga destekli kurutma uygulamalarının etkileri araştırılmıştır. Dondurularak kurutulan yaban mersini numunelerinin kurutma zamanı ile enerji sarfıyatı kayda değer bir ölçüde düşmüştür. Dondurulmuş yaban mersini numunelerinin son ürün kalitesi göz önünde tutulduğunda, herhangi bir ön işleme tabi tutulmamış numunelere nazaran daha fazla çiğnenebilir özellikte ve sertlikte oldukları tespit edilmiştir.

Calin-Sanchez vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı metotlarda kurutululan *Arania melanocarpa* meyve örneklerinin Page modeli ile kuruma kinetikleri, mikro yapıları ile sensoriyel karakteristikleri araştırılmıştır. En kısa kurutma zamanı mikrodalga destekli vakum kurutma uygulaması esnasında gerçekleşmiştir. En çok seviyede gözenekliliğe sebep

olan kurutma işlemleri sırasıyla % 76'lık oranla dondurarak kurutma işlemi ve % 39'luk mikrodalga destekli vakum kurutma işlemi şeklinde tespit edilmiştir. Buna ek olarak, 360 W koşullarında gerçekleşen mikrodalga destekli vakum kurutma uygulaması en iyi duyuusal sonuçları vermiştir.

Demiray (2015) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada endüstriyel ve geleneksel bir şekilde kurutulmuş havuç ve kırmızı biber örneklerine, sıcak hava ile kurutma, vakumlu kurutma ve mikrodalga kurutma metotlarına ek olarak mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutma ve mikrodalga destekli vakumlu kurutma kombinasyonları kullanılarak kurutma işlemleri uygulanmıştır. Sıcak hava ile kurutma uygulaması 45, 55 ve 65 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklık ve % 20 nem içeriğinde gerçekleşmiştir. Vakumlu kurutma işlemi ile havuç ve kırmızı biber numuneleri, 21.5 ve 48 kPa mutlak basıncı altında, 45, 55 ve 65 °C sıcaklık derecelerinde kurutulmuşlardır. Mikrodalga kurutma prosesi 780 W mikrodalga gücünde uygulanmıştır. Havuç ve kırmızı biber numunelerinin kuruma özellikleri incelenmiştir. Kurutma işlemi boyunca bazı kalite özellikleri ve besin değerlerindeki değişikliğin belirlenmesi amacıyla renk, toplam kuru madde, C

vitamini, beta karoten ve su aktivitesi gibi farklı analizler gerçekleştirilmiştir. Kurutma prosesi boyunca havuç örneklerinde beta karoten ve kırmızı biber örneklerinde ise C vitamini değişiminin 1. derece kinetik modele uygunluk gösterdiği bildirilmiştir. Beta karoten kaybı en çok mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulmuş numunelerde tespit edilirken, en az kayıp 21.5 kPa mutlak basınç altında 45 °C sıcaklıkta kurutulmuş havuç numunelerinde tespit edilmiştir. Mikrodalga ile kurutma, 65 °C’de sıcak hava ile kurutma, 65 °C ‘de vakum ile kurutma ve mikrodalga destekli 65 °C’de uygulanan hem sıcak hava hem de vakumlu kurutma prosesleri sonrasında kırmızı biber numunelerinde C vitamini tespit edilmemiştir. Sarılık değerini ifade eden Hunter b^* değeri, havuç örneklerinin kurutulması esnasında, gerek kurutma metotları ve gerekse de kurutma şartlarından önemli oranda etkilenmiş olup taze havuç numunelerine kıyasla Hunter b^* değerlerinin istatistiksel açıdan farklı olduğu ($p < 0,05$) tespit edilmiştir. Benzer biçimde, taze kırmızı biber numunelerinin kırmızılığını ifade eden Hunter a^* değerleri ile kurutulan kırmızı biber numunelerinin Hunter a^* değerleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p < 0,05$) tespit edilmiştir.

El-Mesery ve Mwithiga (2015) yaptıkları bir çalışmada konvektif, infrared ve infrared-konvektif kombinasyonu yöntemleri ile çalışan bir kurutucu geliştirmişlerdir. Çalışmalarında, 2000 W/m² infrared gücü 0,6 m/s hava hızında 30 °C'lik hava ve 2000 W/m² infrared gücünde 0,6 m/s hava hızında 60 °C'lik hava kullanmışlardır. Elma ile yaptıkları çalışmalarında kalite ve enerji gereksinimini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda infrared-konvektif kombinasyonu ile yapılan kurutmanın konvektif kurutmaya göre % 57.5 oranında daha hızlı gerçekleştiği, spesifik enerji tüketiminin düşük ve termal etkinliğin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yeniden su alma kapasitesi, büzülme ve renk özellikleri bakımından infrared-konvektif kombinasyonu yönteminin daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur.

İzli (2017) yaptığı bir çalışmada hurma dilimlerinin kurutma özelliklerini belirlemek ve kurutulmuş meyve kalitesini karşılaştırmak için üç kurutma yöntemi: konvektif (60, 70 ve 80 °C), mikrodalga (120 W) ve dondurarak kurutma kullanmıştır. Tüm renk parametreleri, kurutma yöntemine bağlı olarak değişkenlik göstermiş ve taze numuneye en yakın renkler konvektif ya da mikrodalga kurutma yöntemleri ile değil de

dondurarak kurutma ile elde edilmiştir. Bütün kurutulan örneklerde yönteme bağlı olmaksızın numunedeki toplam fenolik içerik ve antioksidan kapasite, taze numuneye göre yükselmiştir. Özellikle, mikrodalgada kurutulmuş numunelerin en fazla toplam fenolik maddeye ve en yüksek antioksidan aktivitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma, mikrodalga kurutmanın konvektif ve dondurarak kurutmaya kıyasla daha düşük kurutma süreleri avantajı ile yüksek kalitede hurma dilimleri üretebileceğini göstermiştir.

Galaz vd. (2017) kurutmaya maruz bıraktıkları nar kabuğunun kurutma kinetikleri ve polifenol içerikleri üzerine yaptıkları çalışmada farklı sıcaklık ve zamanlar kullanmışlardır. Nar kabuğu örnekleri 100, 110, ve 120 °C’lerde sırasıyla 422 s, 400 s, ve 257 s süresince kurutulmuşlardır. Çalışma neticesinde yüksek sıcaklığın kısa kurutma süresiyle kombinasyonunun kurutulmuş üründe en iyi toplam polifenol ve antioksidan aktivitesine neden olduğu ortaya çıkmıştır.

Tontul ve Topuz (2017) nar meyvesinin fizikokimyasal özellikleri üzerine yaptıkları çalışmalarında 3 farklı kurutma tekniği (sıcak hava ile kurutma prosesi, mikrodalga ile kurutma

uygulamasý ve refraktif kurutma) kullanmýþlardır. Çalışma sonucunda, refraktif kurutmaya maruz kalan örnekler daha iyi renk ve yapısal özellikler sergilemiştir. Ayrıca refraktif kurutmaya tabi tutulan üründe hem besleyici hem de askorbik asit ve antosiyanin gibi fonksiyonel bileşikler de sıcak hava ve mikrodalgayla kurutulan örneklere kıyasla da iyi korunmuş olup, kurutma esnasında enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları azaltılmıştır.

İzli (2018) mikrodalga-sıcak hava kombinasyonunun armut meyvesi üzerine etkilerini incelediği çalışmasında 90W-55 °C, 90W-65 °C, 90W-75 °C, 160W-55 °C, 160W-65 °C ve 160W-75 °C olmak üzere 6 farklı kombinasyon uygulamıştır. Uygulanan mikrodalga gücü ve kurutma sıcaklığının artması ile armut örneklerinin L^* (parlaklık) değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Taze armut örneklerinin renk parametrelerine en yakın değerler halka şeklinde hazırlanıp 160W-55 °C uygulaması ile kurutulan örneklerden elde edilmiştir. En yüksek toplam fenolik madde miktarı, halka kesim şekli ve 160W-65 °C uygulamasında belirlenirken, en yüksek antioksidan kapasite değeri taze örnekte saptanmıştır. Bu çalışmada, uygulanan kurutma parametreleri ve kesim şeklinin ürün kalitesini

doğrudan etkilediği belirlenmiştir. Özellikle halka şeklinde kesilerek kurutulan armut örneklerinden hem renk değerleri hem de toplam fenolik madde miktarı açısından daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

İzli vd. (2018) yaptıkları bir çalışmada 4 farklı kurutma sıcaklık derecesinin (50, 60, 70 ve 80 °C) kumkuat dilimlerinin kurutma kinetiği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca, taze kumkuat meyvesini çeşitli sıcaklıklarda kurutulmuş numunelerin renk, toplam fenolik (TP) içeriği ve antioksidan kapasitesi (ATC) gibi kalite özellikleri açısından karşılaştırmışlardır. Farklı kurutma sıcaklıklarının kumkuat meyvesinin tüm renk parametrelerinde (L^* : parlaklık, a^* : yeşillik (-)/ kırmızılık (+) ve b^* : mavilik (-) / sarılık (+)) önemli değişimlere neden olduğu tespit edilmiş ve aralarında 50 °C' de kurutulmuş kumkuat numunelerinin taze numuneye en yakın renk değerlerine sahip olduğu bulunmuştur ($P < 0.05$). Taze kumkuat numunelerine kıyasla kurutulmuş numunelerin diğer kalite özelliklerinde bir azalma gözlemlenmiştir. Spesifik olarak, 70 °C' de kurutulan kumkuat numunelerinin, farklı sıcaklıklarda kurutulmuş (50, 60, 70 ve 80 °C) numuneler

arasında en fazla toplam fenolik maddeye ve antioksidan kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Horuz vd. (2018) yaptıkları bir çalışmada mikrodalga-konveksiyonel ve konveksiyonel kurutma yöntemlerini kullanarak kuruttukları kayısı örneklerinin toplam fenolik, antioksidan kapasite, C vitamini, renk, yeniden su alma, tekstür profili ve duyuşal karakteristiklerini araştırmışlardır. Kurutma uygulamalarında 50, 60 ve 70 °C hava sıcaklıkları ile 120, 150 ve 180 W mikrodalga güç seviyelerini kullanmışlardır. Mikrodalga-konveksiyonel kombinasyonları ile kurutulan örneklerin toplam fenolik, antioksidan kapasite ve C vitamin içeriğı bakımından kullanılan sıcak hava uygulamalarına göre daha iyi sonuçlar sağladığı belirlenmiştir. Renk sonuçlarına göre artan sıcak hava sıcaklığı ve mikrodalga güç seviyesi ile kayısı örneklerinin L^* ve b^* değerlerinde azalma meydana geldiğı saptanmıştır. Elde ettikleri veriler sonucunda mikrodalga-konveksiyonel kombinasyonunun kayısının kurutulmasında alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Uysal (2019) tarafından yapılan bir araştırmada ise, limon ile portakal kabuk numunelerinin mikrodalga, sıcak hava ve kombine edilmiş sıcak hava-mikrodalga kullanılarak gerçekleşen kurutma işlemlerine dair kuruma performansları değerlendirilmiştir. 40, 50 ve 60 °C olacak şekilde 3 farklı sıcaklık derecesi ile 90, 180 ve 360 W olmak üzere 3 farklı mikrodalga gücü tek başlarına ve ayrıca kombinasyonlar halinde uygulanmıştır. Bu farklı kurutma şartlarının limon ve portakal kabuğu numunelerinin kuruma zamanı ile kuruma hızına olan etkileri incelenmiştir. Bu alışma kapsamında farklı şartlarda kurutma prosesi uygulanarak antioksidan kapasite ve toplam fenolik bileşen miktarındaki değişiklikler belirtilmiş ve farklı şartlarda gerçekleştirilen kurutma uygulamalarının söz konusu limon ve portakal kabuk örnekleri üzerindeki etkisi tespit edilmiştir. Farklı kurutma metotları ile kurutma şartlarının limon ve portakal kabuk renkleri üzerine etkisi L^* , a^* , b^* , Hue açısı, Kroma ve ΔE^* parametreleri belirlenerek taze ve kurutulmuş numuneler arasındaki renk farklılıkları analiz edilmiş, mikrodalga ile kurutmanın ve sıcak hava ile kurutmanın renk değerleri üzerine olan etkileri tespit edilmiştir. Neticede, limon ile portakal kabuk örneklerine sıcak hava ile beraber uygulanan mikrodalga gücünün kuruma zamanını düşürdüğü, diğer yandan

da kuruma hızı ile etkin difüzyon katsayısını yükselttiği tespit edilmiştir. Limon ile portakal kabuk numunelerinin kurutma işlemini takiben genel itibariyle rengini muhafaza ettiği gözlemlenirken 360 W ile gerçekleşen bütün kurutma uygulamalarında limon ve portakal kabuğu örnekleri kararmıştır. Limon ve portakal kabuğu numunelerinin kurutulmasını takiben antioksidan kapasite miktarlarında azalma ortaya çıkmıştır. Total fenolik madde içeriği açısından değerlendirildiğinde ise kurutma uygulamaları neticesinde bütün numunelerde bir yükseliş tespit edilmiştir.

Yildiz ve Izli (2019b) gerçekleştirdikleri bir çalışmada, 2 farklı mikrodalga gücü (90 ve 160 W) ve 6 farklı mikrodalga - konvektif parametrelerini (90 W - 55 °C, 90 W - 65 °C, 90 W - 75 °C, 160 W - 55 °C, 160 W - 65 °C ve 160 W - 75 °C) kullanarak pomelo meyve numunelerinde meydana gelen renk değerleri (L^* , a^* , b^* , C , α° ve ΔE), toplam fenolik içerik (TPC) ve antioksidan kapasite (ATC) değişimlerini incelemişlerdir. Kurutma sıcaklığı ve / veya mikrodalga gücünün tüm renk parametrelerini, toplam fenolik içeriğini (TPC) ve antioksidan kapasitesini önemli ölçüde değiştirdiği gözlemlenmiştir. Sadece mikrodalgada kurutulan örneklerle kıyasla kombine mikrodalga

- konvektif kurutmanın, daha kısa kurutma süreleri ile sonuçlandığı ve daha yüksek kalitede kurutulmuş pomelo örneklerinin elde edilmesini sağladığı tespit edilmistir.

4. SONUÇ

Günümüzde ilerleyen teknoloji ve değişikliğe uğrayan beslenme tarzlarıyla alakakalı olarak, özellikle son zamanlarda gıda ve gıda maddelerinin muhafaza edilebilmesi amacıyla farklı metotlar gündeme gelmiştir. Bu yöntemler arasından öne çıkan mikrodalga ile kurutma metodu gibi hem pratik ve hem de kolay bir şekilde gerçekleştirilen uygulamalar insanlar tarafından ön sıralarda tercih edilmekte ve yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Mikrodalga ile gıdaları kurutma yöntemi, geleneksel kurutma metotları ile kıyaslandığında çok daha çabuk bir nem aktarımı olmasının yanında, gıda ürünlerinin besin değerlerinin de daha iyi bir şekilde muhafazası sağlanmaktadır. Öte yandan, her gıda maddesi mikrodalga ile kurutma işlemine uygun olmayıp, son ürün kalitesinin belirlenmesinde uygulanacak dalga boyu ile frekans değerinin epeyce önem teşkil ettiği ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, mikrodalga ile kurutma sektörel açıdan, baştaki yatırım masraflarının fazla oluşu, kapasite açısından yaşanan problemler, gelişen teknoloji ve yetişmiş insan gücüne ihtiyaç duyulması tarzı sebeplerden ötürü gıda ürününün maliyetini artırmaktadır.

Gıdaların kurutulmasında en popüler yöntemlerden bir diğeri ise düşük maliyetleri ve geniş kapasiteleri nedeniyle sıcak hava kurutma yöntemidir. Ancak bu yöntem sıcaklık nedeniyle ürünlerde tat, renk ve besin bileşiklerinde bozulmalara neden olmaktadır.

Mikrodalga ve sıcak hava kurutma yöntemlerini birleştirerek kullanmak iki yöntemin olumsuz yönlerini azaltarak ürün kalitesini ve enerji verimliliğini arttıracak yeni bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- Aadil, R.M., Zeng, X.A., Han, Z., ve Sun, D.W. (2013). Effects of ultrasound treatments on quality of grapefruit juice. *Food Chemistry*, 141, 3201–3206.
- Abid, M., Jabbar, S., Wu, T., Hashim, M.M., Hu, B., Lei, S., ve Zeng, X. (2014). Sonication enhances polyphenolic compounds, sugars, carotenoids and mineral elements of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21, 93–97.
- Abramov, O.V. (1998). High-Intensity Ultrasound: Theory and Industrial Applications London: Gordon and Breach.
- Akyıldız, A. (1999). *Kurutulmuş elma cipsi üretim tekniği üzerine araştırma* (Doktora tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Alibaş, İ. (2012). Asma Yapragının (*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 Ascorbic Acid Values of Three Drying Methods. *Food Science and Technology*, 34(2),

358-364.

Ayan, H. (2010). *Güneşte ve Yapay Kurutucuda Kurutulmuş Domates (Lycopersitcum esculentum) Üretimi ve Proses Sırasındaki Değişimlerin Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

Azoubel, P. M., Baima, M. A. M., ve Amorim, M. R. (2010). Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 97, 194-198.

Barton, S., Bullock, C., ve Weir, D. (1996). The effects of ultrasound on activities of some glycosidase enzymes of industrial importance. *Enzyme and Microbiol Technology*, 18, 190-194.

Bayraktaroğlu, G., ve Obuz, E. (2006). Ultrasound Yönetiminin İlkeleri ve Gıda Endüstrisinde Kullanımı, Türkiye 9. Gıda Kongresi, Bolu.

Baysal, T., İcier, F., Ersus, S., ve Yıldız, H. (2003). Effects of Microwave and Infrared Drying on the Quality of Carrot and Garlic. *European Food Research and Tecnology*, 218, 68-73.

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.
- Böhm, V., Kühnert, S., Rohm, H., ve Scholze G., (2006). Improving the Quality of Microwave-vacuum Dried Strawberries: A Preliminary Study. *Food Science and Technology International*, 12 (1), 67-75.
- Butz, P., ve Tauscher, B. (2002). Emerging Technologies: Chemical Aspects. *Food Research International*, 35 (2/3), 279-284.
- 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.
- Chemat, F., Zill-e-Huma, ve Khan, M. K. (2011). Applications of Ultrasound in Food Technology: Processing, Preservation and Extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18, 813-835.
- 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.
- Contreras, C., Martin-Esparza, M.E., Chiralt, A., ve Martinez-

- Navarrete, N. (2008). Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *Journal of Food Engineering*, 88(1), 55-64.
- Cruz-Cansino, N.S., Ramírez-Moreno, E., León-Rivera, J.E., Delgado- Olivares, L., Alanís-García, E., ve Ariza-Ortega, J.A. (2015). Shelf life, physicochemical, microbiological and antioxidant properties of purple cactus pear (*Opuntia ficus indica*) juice after thermoultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 277–286.
- Çelen, S., ve Kahveci, K. (2013). Microwave Drying Behaviour of Tomato Slices. *Journal of Food Science*, 31(2), 132-138.
- De La Fuente-Blanco, S., Riera-Franco de Sarabia, E., Acosta-Aparicio, V.M., ve Gallego-Juarez, J.A. (2006). Food Drying Proces by Power Ultrasoun. *Ultrasonics*, 44, 523-527.
- Demiray, E. (2009). *Kurutma İşleminde Domatesin Likopen, β -karoten, Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Demiray, E. (2015). *Havuç ve Kırmızıbiberin Farklı Kurutma*

Yöntemleri ile Kurutulması, Kuruma Karakteristiklerinin ve Bazı Kalite Özelliklerindeki Değişimin Modellenmesi (Doktora Tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Demirdöven, A., ve Baysal, T. (2009), The Use of Ultrasound and Combined Technologies in Food Preservation. *Food Reviews International*, 25, 1-11.

Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K., ve Liu, R.H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3010-3014.

Dolatowski, Z.J., Stadnik, J., ve Stasiak, D. (2007). Applications of Ultrasound in Food Technology. *ACTA Scientiarum Polonorum – Technologia Alimentaria*, 6(3), 89-99.

Earnshaw, R.G., Appleyard, J., ve Hurst, R.M. (1995), Understanding Physical Inactivation Proces: Combined Preservation Opportunites Using Heat, Ultrasound and Pressure. *International Journal of Food Microbiology*, 28 (2), 197-219.

El-Mesery, H. S., ve Mwithiga, G. (2015). Performance of a convective, infrared and combined infrared-convective heated conveyor-belt dryer. *Journal of Food Science and*

Technology, 52(5), 2721-2730.

Er, T. (2011). *Kırmızı Pancarın Bazı Fiziksel ve Fitokimyasal Özellikleri Üzerine Farklı Kurutma Sıcaklıklarının Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Ercan, S.Ş., ve Soysal, Ç. (2010). Effect of ultrasound and temprature on tomato peroxidase. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18, 689-695.

Fernandes, F. A. N. ve Rodrigues, S. (2007). Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana. *Journal of Food Engineering*, 82, 261-267.

Fernandes, F. A. N., Gallão, M. I., ve Rodrigues, S. (2008a). Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT-food Science and Technology*, 41, 604-610.

Fernandes, F. A. N., Oliviera, F. I. P., ve Rodrigues, S. (2008b). Use of ultrasound for dehydration of papayas. *Food and Bioprocess Technology*, 1, 339-345.

Fernandes, F. A. N., Gallão, M. I., ve Rodrigues, S. (2009). Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering*, 90, 186-190.

- Freng, H., Yang, W., ve Hielscher, T. (2008). Power ultrasound. *Food Science and Technology International*, 14, 433-436.
- Funebo, T., ve Ohlsson, T. (1998). Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. *Journal of Food Engineering*, 38, 353-367.
- Gaikwad, S. G., ve Pandit, A. B. (2008). Ultrasound Emulsification: Effect of Ultrasonic and Physicochemical Properties on Dispersed Phase Volume and Droplet Size. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15, 554-563.
- Galaz, P., Valdenegro, M., Ramírez, C., Nunez, H., Almonacid, S., ve Simpson, R. (2017). Effect of drum drying temperature on drying kinetic and polyphenol contents in pomegranate peel. *Journal of Food Engineering*, 208, 19-27.
- Garcia, M. L., Burgos, J., Sanz, B., ve Ordonez, J.A. (1989). Effect of heat and ultrasonic waves on the survival of two strains of *Bacillus subtilis*. *Journal of Applied Bacteriology*, 67, 619-628.
- Garcia J., Oliveira, F.I.B., Weller, C.L., Rodrigues, S., ve Fernandes, F.A.N. (2014). 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, J. V., Carcél, J. A., Benedito, M., ve Mulet, A. (2007). Power ultrasound mass transfer enhancement in food drying. *Food and Bioproducts Processing Journal*, 85, 247-254.

Garcia-Perez, J. V., Puig, A., Perez-Munuera, I., Carcel, J.A., ve Riera, E. (2010). Kinetic and microstructural changes induced by power ultrasound application on convective drying of eggplant. *Proceeding of 20th International Congress on Acoustics, ICA 2010, 23-27 August 2010, Sydney, Australia*.

Horuz, E., Bozkurt, H., Karataş, H., ve Maskan, M. (2018). Comparison of quality, bioactive compounds, textural and sensorial properties of hybrid and convection-dried apricots. *Food Measure. Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 243-256.

Izidoro D. R., Sierakowski M. R., Haminiuk CWI., Souza C.F., ve Scheer A.G. (2011). Physical and Chemical Properties of Ultrasonically Spray-Dried Green Banana Starch. *Journal of Food Engineering*, 104(4), 639-648.

İzli, G. (2017). Total phenolics, antioxidant capacity, colour and drying characteristics of date fruit dried with different

- methods. *Food Science and Technology*, 37 (1), 139–147.
- İzli, G. (2018). Farklı Kurutma Uygulamalarının Armut Meyvesinin Bazı Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4), 479-485.
- Izli, G., Izli, N., Taskin, O., ve Yildiz, G. (2018). Convective drying of kumquat slices: Comparison of different drying temperatures on drying kinetics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity. *Latin American Applied Research Journal*, 48,37-42.
- Jambrak, A. R., Mason, T.J., Paniwyk, L., ve Lelas, V. (2007). 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.
- Jambrak, A. R., Herceg, Z., Subaric, D., Babic, J., Brncic, M., Brncic, S.R., Bosiljkov, T., Cvek, D., Tripalo, B., ve Gelo, J. (2010), Ultrasound Effect on Physical Properties of Corn Starch. *Carbohydrate Polymers*, 79, 91-100.
- Jiang, S., Yildiz, G., Ding, J., Andrade, J., Rababah, T.M., Almajwalc, A., Abulmeatyc, M.M., ve Feng, H. (2019). Pea Protein Nanoemulsion and Nanocomplex as Carriers for Protection of Cholecalciferol (vitamin D3). *Food and*

- Bioprocess Technology*, 12 (6), 1031-1040.
- Kantaş, Y. (2007). Effect of Ultrasound On Drying Rate of Selected Produce, Middle East Technical University, Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Karaaslan, S.N., ve Tunçer, İ.K. (2008). Development of a drying model for combined microwave–fan–assisted convection drying of spinach. *Biosystems Engineering*, 100, 44–52.
- Khandpur, P., ve Gogate, P.R. (2016). Evaluation of ultrasound based sterilization approaches in terms of shelf life and quality parameters of fruit and vegetable juices. *Ultrasonics Sonochemistry*, 29, 337–353.
- Kim, S. M., ve Zayas, J. F. (1989). Processing parameter of chymosin extraction by ultrasound. *Journal of Food Science*, 54, 700.
- Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., ve Lee, D. (2004). Applications and Potential of Ultrasonics in Food Processing. *Trends in Food Science and Technology*, 15(5), 261-266.
- Koca, N., Burdurlu, H. S., ve Karadeniz, F. (2007). Kinetics of colour changes in dehydrated carrots. *Journal of Food Engineering*, 78, 449-455.

- Kuljarachanan, T., Devahastin, S., ve Chiewchan, N. (2009). Evolution of antioxidant compounds in lime residues during drying. *Food Chemistry*, 113, 944-949.
- Kuşçu, A. (2002). *Sürekli Sistemde Kurutma İşleminin Kırmızıbiberde Kalite Özelliklerine Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Lavelli, V., Hippeli, S., Dornisch, K., Peri, C., ve Elstner, E.F. (2001). Properties of tomato powders as additives for food fortification and stabilization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (4), 20037-2042.
- Lee, H., Yildiz, G., Dos Santos, L.C., Jiang, S., Andrade, J., Engeseth, N.C., ve Feng, H. (2016). Soy protein nano-aggregates with improved functional properties prepared by sequential pH treatment and ultrasonication. *Food Hydrocolloids*, 55, 200–209.
- Li, B., ve Sun, D.W. (2002). Effects of power ultrasound freezing rate during immersionfreezing. *Journal of Food Engineering*, 55(3), 277-282.
- Lopez, P., ve Burgos, J. (1995). Lipoxygenase inactivation by monothermosonication: Effect of sonication physical parameters, pH, KCl, sugars, glycerol and enzyme

- concentration. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 620-625.
- Madrau, M. A., Piscopo, A., Sanguinetti, A. M., Del Caro, A., Poiana, M., Romeo, F. V., ve Piga, A. (2009) Effect of drying temperature on polyphenolic content and antioxidant activity of apricots. *European Food Research and Tecnology*, 228, 441-448.
- Maskan, M. (2001a) Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 177-182.
- Maskan, M. (2001b) Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 169-175.
- Mason, T. J. (1998). Power Ultrasound in Food Processing-The Way Forward: In *Ultrasound In Food Processing*. Blackie Academic & Professional, London, s. 105-126.
- McClements, D. J. (1995). Advances in the Application of Ultrasound in Food Analysis and Processing. *Trends in Food Science and Technology*, 6, 293-299.
- Mohanta, B., Dash, S.K., Panda, M.K., ve Sahoo, G.R. (2014). Standardization of process parameters for microwave assisted convective dehydration of ginger. *Journal of*

- Food Science ve Technology*, 51(4), 673-681.
- Mrad, N.D., Boudhrioua, N., Kechaou, N., Courtois, F., ve Bonazzi, C. (2012). Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. *Food and Bioproducts Processing*, 9, 433-441.
- Murphy, R., Beard, B., Macry, J., ve Berrang, M. E. (2009). Application of Ultrasonic Technology for Killing Salmonella and *Listeria monocytogenes* in Fluid System, Institute of Food Technology. June 6-9, 2009. Anaheim, CA. 236-01.
- 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.
- O'Donnell, C. P., Tiwari, B. K., Bourke, P., ve Cullen, P. J. (2010). Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. *Trends in Food Science and Technology*, 21, 358-367.
- Oliviera, F. I. P., Gallão, M. I., Rodrigues, S., ve Fernandes, F. A. N. (2010). Dehydration of malay apple (*Syzygium malaccense* L.) using ultrasound as pre-treatment. *Food*

Bioprocess Technology, 4, 610-615.

Ordenez, J. A., Sanz, B., Hernandez, P. E., ve Lopez-Lorenzo, P. (1984). A Note on the Effect of Combined Ultrasonic and Heat Treatments on the Survival of Thermotolerant *Streptococci*. *Journal of Applied Bacteriology*, 56(1), 175-177.

Ordenez, J. A., Aguilera, M. A., Garcia, M. L., ve Sanz B., (1987). Effect of combined ultrasonic and heat treatment (thermoultrasonication) on the survival of a strain of *Staphylococcus aureus*. *Journal of Dairy Research*, 54(1), 61-67.

Ozuna, C., Carcél, J. A., Garcia-Perez, J. V., ve Mulet, A. (2011). Improvement of water transport mechanisms during potato drying by applying ultrasound. *Journal of Science Food and Agriculture*, 91, 2511-2517.

Öcal, N.D. (2003). *Farklı kurutma sıcaklıklarının Amasya ve Golden delicious çeşidi elmaların renk ve polifenoloksidaz aktivitesi üzerine etkileri* (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 67s. Adana.

Özkan, I.A., Akbudak, B., ve Akbudak, N. (2007). Microwave Drying Characteristics of Spinach. *Journal of Food*

Engineering, 78, 577-583.

Patist, A., ve Bates, D. (2008). Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 9, 147-154.

Piyasena, P., Mohareb, E., ve McKellar, R. C. (2003). Inactivation of microbes using ultrasound. *International Journal of Food Microbiology*, 87, 207-216.

Pohlman, W. F. (1994). Ultrasound uses for cookery and to improve cooking, textural, sensory and shelf-life stability properties of beef muscle. Kansas State University. Manhattan, Kansas.

Polatcı, H. ve Tarhan, S. (2009). Farklı Kurutma Yöntemlerinin Reyhan (*Ocimum basilicum*) Bitkisinin Kuruma Süresine ve Kalitesine Etkisi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(1), 61-70.

Pongsawatmanit, R., Harnsilawat, T., ve McClements, D. J. (2006). Influence of Alginate, pH and Ultrasound Treatment on Palm Oil in water Emulsions Stabilized by B-Lactoglobulin, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 287, 59-67.

Povey, M.J.W. (1998). Ultrasonic of Food. *Contemporary*

Physics, 39(6), 467-478.

Prabhanjan, D.G., Ramaswamy, H.S., ve Raghavan, G.S.V. (1995). Microwave-assisted convective air drying of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 25, 283-293.

Rahman, S.M. (2007). Handbook of Food Preservation. (2nt Ed.). CRC Press. London. 713-739.

Rastogi, N. K. (2011). Opportunities and challenges in application of ultrasound in food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51, 705-722.

Reynolds, J. B., Anderson, D. B., Schmidt, G. R., Theno, D. M., ve Siegal, D. G. (1978). Effects of Ultrasonic Treatment on Binding Strenght in Curet Ham Rolls. *Journal of Food Science*, 43(3), 866-869.

Rojas, M.L., Leite, T.S., Cristianini, M., Alvim, I.D., ve Augusto, P.E.D. (2016). Peach juice processed by the ultrasound technology: changes in its microstructure improve its physical properties and stability. *Food Research International*, 82, 22–33.

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.

- Scerba, G., Weigel R. M., ve O'Brien Jr. W. D. (1991). Quantitative Assessment of the Germicidal Efficacy of Ultrasonic Energy. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(7), 2079-2084.
- Schössler, K., Jäger, H., ve Knorr, D. (2008). Effect of continuous and intermittent ultrasound on drying time and effective diffusivity during convective drying of apple and red bel pepper. *Journal of Food Engineering*, 108, 103-110.
- 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.
- Shi, J., Maguer, L.M., Kakuda, Y., Liptay, A., ve Niekamp, F. (1999). Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. *Food Research International*, 32(1), 15-21.
- Simal, S., Benedito, J., ve Rosello, C. (1998). Use of ultrasound to Increase Mass Transport Rates during Osmotic Dehydration. *Journal of Food Engineering*, 36(3), 323-336.
- Smith, N. B., Cannon, J. E., Novakofsky, J. E., MacKeith, F. K., ve O'Brien, W. D. (1991). Tenderization of Semitendinosus Muscle Using High Intensity Ultrasound,

- Ultrasonic Symposium, Lake Beuna Vista, Florida. 2, 1371-1373.
- Soria, A. C., ve Willamiel, M. (2010). Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 323-331.
- Soria, A. C., Corzo-Martinez, M., Montilla, A., Riera, E., Gamboa-Santos, J., ve Vıllamiel, M. (2010). Chemical and physicochemical quality parameters in carrots dehydrated by power ultrasound. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 7715-7722.
- 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.
- Thakur, B. R., ve Nelson, P. E. (1997). Inactivation of Lipoxygenase in Whole Soy Flour Suspension by Ultrasonic Cavitation. *Molecular Nutrition*, 41(5), 299-

301.

- Tontul, I., ve Topuz, A. (2017). Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). *LTW- Food Science and Technology*, 80, 294-303.
- Topdaş, E.F., Başlar, M., ve Ertugay, M.F. (2011). Elmaların ozmotik kurutulması üzerine ultrases işleminin etkisi. *Akademik Gıda*, 9(5), 6-10.
- Tuğrul, N., Doymaz, İ., ve Pala M. (2001). Dereotunun Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi. *Gıda*, 26(6), 403-407.
- Tulasidas, T.N., Raghavan, G.S.V., ve Norris, E.R. (1993). Microwave ve convective drying of grapes. *Transactions of the ASAE*, 36(6), 1861-1865.
- Tüfekçi, S. (2014). *Ultrases Ön İşleminin Bamya ve Elma Örneklerinin Kurutma Performansları Üzerine Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Tüfekçi, S., ve Özkal S. G. (2015). Gıdaların Kurutulmasında Ultrases Kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21 (9), 408-413.
- Türkmen, F. (2012). *Yüksek güçlü ultrases işleminin sütün fizikokimyasal ve jelleşme özelliklerine etkisi* (Yüksek

- Lisans Tezi) İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Uysal, M.B. (2019). *Limon ve Portakal Kabuklarının Sıcak Hava, Mikrodalga ve Sıcak Hava-Mikrodalga Kombinasyonu ile Kurutulması* (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Uzunoğlu, T.P. (2012). *Yüksek güçlü ultrases işleminin kısa ve uzun ömürlü ayranın mikrobiyolojik ve duyuşal özelliklerine etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Veres, A., Bilbao, C., ve Fito, P. (2004). Drying kinetics of apple cylinders under combined hot-air microwave dehydration. *Journal of Food Engineering*, 63, 71-78.
- 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.
- Wang, J., ve Sheng, K. (2006). Far-infrared and Microwave Drying of Peach. *LWT-Food Science and Technology*, 39, 247-255.
- Wega-Galvez, A., Scala, K.D., Rodriguez, K., Lemus, M., Miranda, M., Lopez, J., ve Perez-Won, M. (2009). Effect

- of air drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper. *Food Chemistry*, 117, 647-653.
- Wen C., Zhang J., Zhang H., Dzah CS., Zandile M., Duan Y., ve Luo X. (2018). Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops-A review. *Ultrasonic Sonochemistry*, 48, 538-549.
- Willamiel, M., ve De Jong, P. (2000). Influence of High-Intensity Ultrasound and Heat Treatment in Continious Flow on Fat, Proteins and Native Enzyme of Milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 472-478.
- Witrowa-Rajchert, D., ve Rzaca, M. (2009). Effect of drying method on the microstructure and physical properties of dried apples. *Drying Technology*, 27, 903-909.
- Wojdyło, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P., ve Oszmiański, J. (2014). Effect of convective and vacuum-microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries. *Food and Bioprocess Technology*, 7(3), 829-841.
- Yıldız, G. (2018). Physicochemical properties of soy protein concentrate treated with ultrasound at various amplitudes. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 8(4),

133-139.

- Yildiz, G., Rababah, T., ve Feng, H. (2016). Ultrasound-Assisted Cutting of Cheddar, Mozzarella and Swiss Cheeses – Effects on Quality Attributes during Storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37, 1-9.
- Yildiz, G., Andrade, J., Engeseth, N.C., ve Feng, H. (2017). Functionalizing soy protein nano-aggregates with pH-shifting and mano-thermo-sonication. *Journal of Colloid and Interface Science*, 505, 836-846.
- Yildiz, G., Ding, J., Andrade, J., Engeseth, N.J., ve Feng, H. (2018). Effect of plant protein-polysaccharide complexes produced by mano-thermo-sonication and pH-shifting on the structure and stability of oil-in-water emulsions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47, 317-325.
- Yildiz, G. (2019). Application of ultrasound and high pressure homogenization against high temperature-short time in peach juice. *Journal of Food Process Engineering*, 42 (3), e12997.
- Yildiz, G., ve Izli, G. (2019a). The effect of ultrasound pretreatment on quality attributes of freeze-dried quince

- slices: Physical properties and bioactive compounds. *Journal of Food Process Engineering*, 42 (5), e13223.
- Yildiz, G., ve Izli, G. (2019b). Influence of microwave and microwave-convective drying on the drying kinetics and quality characteristics of pomelo. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43 (6), e13812.
- Yildiz, G., ve Feng, H. (2019). Sonication of Cherry Juice: Comparison of Different Sonication Times on Color, Antioxidant Activity, Total Phenolic and Ascorbic Acid Content. *Latin American Applied Research Journal*, 49 (4), 255-260.
- Yildiz, G, Palma, S., ve Feng, H. (2019). Ultrasonic cutting as a new method to produce fresh-cut red delicious and golden delicious apples. *Journal of Food Science*, 84 (12), 3391-3398.
- Yildiz, G., ve Aadil, R.M. (2020). Comparison of high temperature-short time and sonication on selected parameters of strawberry juice during room temperature storage. *Journal of Food Science and Technology*, 57 (4), 1462-1468.
- Yildiz, G, Izli, G., ve Aadil, R.M. (2020). Comparison of chemical, physical, and ultrasound treatments on the shelf

- life of fresh-cut quince fruit (*Cydonia oblonga* Mill.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 44 (3), e14366.
- Zanoni, B., Peri, C., Giovanelli, G., ve Nani, R. (1999a). Study of Oxidative Heat Damage During Tomato Drying. *Acta-Horticulturae*, 487, 395-399.
- Zanoni, B., Peri, C., Nani, R., ve Lavelli, V. (1999b). Oxidative Heat Damage of Tomato Halves as Affected by Drying. *Food Research International*, 31(5), 395-401.
- Zheng, L., ve Sun, D-W., (2006). Innovative Applications of Power Ultrasound During Food Freezing Processing-a Review. *Trends in Food Science & Technology*, 17, 16-23.
- Zielinska, M., Sadowski, P., ve Blaszcak, W. (2015). Freezing/thawing and Microwave-assisted Drying of Blueberries. *Food Science and Technology*, 62, 555-563.

