

ULTRASES TEKNOLOJİSİNİN GIDALARIN BİYOAKTİF BİLEŞENLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

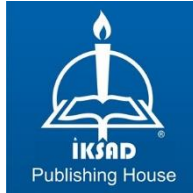
Doç. Dr. Gülçin YILDIZ



İKSAD
Publishing House

ULTRASES TEKNOLOJİSİNİN GIDALARIN BİYOAKTİF BİLEŞENLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Doç. Dr. Gülçin YILDIZ



İğdır Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği
Bölümü, 76000, İğdır, Turkey.gulcn86@gmail.com

Copyright © 2021 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 – 2021©

ISBN: 978-625-8007-21-3
Cover Design: İbrahim KAYA
October / 2021
Ankara / Turkey
Size = 14,8x21 cm

ÖNSÖZ

Son yıllarda sağlıklı beslenme bilincinin gelişmesi ile tüketicilerin gıdalardan beklentisi değişmekte, besin maddesi ihtiyaçlarının tam anlamıyla karşılanması ve sağlık üzerine olumlu etkileri nedeniyle biyoaktif bileşenlere ilgi artmaktadır. Vücudun fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için meyve ve sebzelerde bulunan gerekli besin maddelerinin ve içerdiği biyoaktif bileşenlerin yeterli ve dengeli oranlarda tedarigi ve ilerleyen aşamalarda karşılaşılabilecek hastalık riskinin minimuma indirilmesi beslenme-sağlık ilişkisinin en önemli unsuru haline gelmiştir. Biyoaktif bileşenlerin bazı kanser türleri, kardiyovasküler hastalıklar, iltihaplanmalar, nörolojik hastalıklar, obezite, osteoporoz gibi pek çok hastalığa olumlu etkilerinin olduğu bilinmektedir. Biyoaktif bileşenlerin serbest radikallerin neden olduğu oksidatif strese karşı koruyucu özellik gösterdiği, in vitro ve in vivo şartlarda antioksidan aktivite sergiledikleri bilinmektedir.

Gıdaların fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mikrobiyolojik kontrolünü sağlamak için ısı işlemler gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Isıl işlem uygulamalarındaki yüksek sıcaklık ve süreden kaynaklanan duyuşsal özelliklerin ve biyoaktif bileşiklerin olumsuz etkilenmesi nedeniyle ısı

olmayan yeşil teknolojiler üzerinde yoğunlaşmıştır. Isıl olmayan bu yeni teknolojiler arasında ultrason (ultrases) gıda endüstrisinde; pastörizasyon ve sterilizasyon gibi ısısal işlemlere nazaran gıdalara daha az zarar vermesi, ısısal işlem uygulama zamanının kısaltılması, ısısal işlemlerde ısı transferinin hızlandırılması, kimyasal reaksiyon hızının artırılması, gıdaların duyuşal anlamda kalitesinin geliştirilmesi gibi birçok alanda önem arz etmektedir. Ultrases teknolojisinin gıda endüstrisinde kullanımı gıda ürünlerindeki biyoaktif bileşenlerin korunmasına olanak sağlamakta ve bazı durumlarda da biyoaktif bileşen içeriğinde artışlar gözlenmektedir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	iii
1. GİRİŞ	8
2. ULTRASES (ULTRASON, SONİKASYON).....	12
2.1. Ultrases Sistemi	18
3. ULTRASONİK SES DALGALARININ GIDA ENDÜSTRİSİNDE KULLANIM ALANLARI.....	21
3.1. Ultrasesin Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkisi	24
3.2. Ultrasesin Gıda Enzimleri Üzerine Etkisi	28
3.3. Ultrasesin Dondurma Teknolojisi Üzerine Etkisi	30
3.4. Ultrasesin Homojenizasyon / Emülsifikasyon Üzerine Etkisi	31
3.5. Ultrasesin Et Teknolojisi Üzerine Etkisi.....	34
3.6. Ultrasesin Filtrasyon İşlemine Etkisi	35
3.7. Ultrasesin Ekstraksiyon Üzerine Etkisi.....	37
3.8. Ultrasesin Köpükten Arındırma Üzerine Etkisi	43
3.9. Ultrasesin Gaz Giderme (Hava Alma) Üzerine Etkisi	45
3.10. Ultrasesin Depolimerizasyon Üzerine Etkisi	46
3.11. Ultrasesin Kalıptan Çıkarma / Ekstrüzyon Üzerine Etkisi	48
3.12. Ultrasesin Sterilizasyon Üzerine Etkisi.....	49
4. AKUSTİK KURUTMA	54

4.1. Ozmotik Kurutma ve Ultrases	56
4.2. Sıcak Hava ile Kurutma ve Ultrases	57
4.3. Püskürtmeli Kurutma ve Ultrases	60
4.4. Dondurarak Kurutma ve Ultrases	61
4.5. Infrared Kurutma ve Ultrases	65
5. ULTRASES TEKNOLOJİSİNİN BİYOAKTİF BİLEŞENLER ÜZERİNE ETKİSİ.....	67
5.1. Ultrases Teknolojisinin C Vitamini Üzerine Etkisi.....	74
5.2. Ultrases Teknolojisinin Antosiyaninler Üzerine Etkisi	76
5.3. Ultrases Teknolojisinin Flavonoidler Üzerine Etkisi ...	78
5.4. Ultrases Teknolojisinin Karotenoidler Üzerine Etkisi	79
5.4.1. Ultrases Teknolojisinin Likopen Üzerine Etkisi	83
5.4.2. Ultrases Teknolojisinin Lutein Üzerine Etkisi	85
5.5. Ultrases Teknolojisinin Fenolik Bileşikler Üzerine Etkisi	86
6. SONUÇ.....	93
KAYNAKÇA	95

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Ultrasesin frekans aralığı (Mason, 1998; Başlar, 2011)	13
Şekil 2. Kavitasyon balonu.....	17
Şekil 3. Piezoelektrik ve Manetostriktif dönüştürücü.20	
Şekil 4. Ultrason uygulama yöntemi	20
Şekil 5. Ultrasonik dalgalar ile kavitasyon ve mikrobiyal inaktivasyon (Sao Jose ve diğerleri, 2014)	25
Şekil 6. Ultrases ile emülsifikasyon	33
Şekil 7. Filtrasyon işlemi sırasında ultrases uygulaması ile partiküllerin filtre membranındaki görünümü	36
(Zheng ve Sun, 2006).....	36
Şekil 8. Ultrason destekli ekstraksiyon ve geleneksel ekstraksiyon	38
Şekil 9. Gıda işleme sırasında olası ultrasonik destekli ekstraksiyon mekanizması.....	41
Şekil 10. Köpük gidermek için ultrasonik dönüştürücü.....	44
Şekil 11. Depolimerizasyon işleminin ultrason kullanılarak gösterimi	47
Şekil 12. Ultrasonik destekli dondurma mekanizması	62
Şekil 13. Gıda işlemede kullanılan ultrason destekli dondurma cihaz türleri: (A) Tam daldırma, (B) Yarı daldırma ve (C) Daldırma olmayan.....	64
Şekil 14. <i>M. stenopetala</i> yapraklarının morfolojik değişimi: a) ekstraksiyon öncesi numune b) klasik yöntem sonrası görünüm	

c) 10 dakikalık BAE d) 20 dakikalık BAE e) 30 dakikalık BAE (Dadi ve diğerleri, 2019)	71
Şekil 15. Sonikasyondan önce ve sonra sarımsak dişinin enine kesiti (Bose ve diğerleri, 2014)	73

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1. Gıda işlemede ultrason uygulamaları	23
Çizelge 2. Meyve ve sebzelerde biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonu için yeşil teknolojiler	39
Çizelge 3. Depolama boyunca meyve ve sebzelerin kalitesi üzerinde ultrasonun etkileri	53

1. GİRİŞ

Biyoaktif bileşen, bireye arzu edilen sağlık ve direnci sağlayabilen hayvansal, bitkisel ve/veya deniz ürünlerinde doğal olarak yer alan kimyevi bileşiklerdir. Biyoaktif bileşenler, fizyolojik ve hücresele aktivitelere etki ederek sağlık üzerine pozitif etkiler yaratan ikincil metabolitlerdir. Biyoaktif bileşenler, birincil metabolitler adı altında sınıflandırılan karbonhidratlar, proteinler ve yağlar gibi canlı hücrenin büyümesi ve gelişimi için elzem ana besin maddeleri olmayabilir, fakat canlının yaşamaya devam etmesi ve zorlu hayat şartlarına dayanma gücüne yardımcı olan bileşenlerdir. Fitokimyasallar olarak da bilinen bitkisel kaynaklı biyoaktif bileşenler; terpen ve terpenoidler, alkaloidler ve fenolik bileşenler şeklinde 3 temel grupta sınıflandırılırlar. Yapılarına göre karatoneidler, fenolik bileşikler, glikosinotlar, lignanlar, organosülfür bileşikleri ve bitki steroller gibi bir takım alt sınıflara ayrılmaktadırlar.

Son yıllarda sağlıklı beslenme bilincinin gelişmesi ile tüketicilerin gıdalardan beklentisi değişmekte, besin maddesi ihtiyaçlarının tamamıyla karşılanması ve sağlık

üzerine olumlu etkileri nedeniyle biyoaktif bileşenlere ilgi artmaktadır. Vücudun fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için meyve ve sebzelerde bulunan gerekli besin maddelerinin ve içerdiği biyoaktif bileşenlerin yeterli ve dengeli oranlarda tedarigi ve ilerleyen periyotlarda karşılaşılabilecek hastalık riskinin minimuma indirilmesi beslenme-sağlık ilişkisini en önemli unsur haline getirmektedir. Biyoaktif bileşenlerin bazı kanser türleri, kardiyovasküler hastalıklar, iltihaplanmalar, nörolojik hastalıklar, obezite, osteoporoz gibi birçok hastalığa olumlu etkileri olduğu bilinmektedir. Biyoaktif bileşenlerin serbest radikallerin neden olduğu oksidatif strese karşı koruyucu özellik gösterdiği, in vitro ve in vivo şartlarda antioksidan aktivite sergiledikleri bilinmektedir. Reaktif oksijen (ROS) ve reaktif nitrojen (RNS) türlerinin negatif etkilerinin azaltılması, sentetik serbest radikallerin ve 1,1-difenil-2-pikrilhidrazilin (DPPH) tutulması, besinlerdeki lipid peroksidasyon sonucu oluşan RO₂ gibi lipid radikallerinin uzaklaştırılması, metallerle şelat oluşturulması, endojen antioksidan enzimlerinin devreye girmesi, nitrit ve peroksinitritlerin yol açtığı

deoksiribonükleik asit (DNA) hasarına karşı koruyucu rol üstlenmesi gibi birden daha fazla antioksidan aktivite mekanizması bulunmaktadır (Uyar ve Sürücüoğlu, 2010). Biyoaktif bileşenler, serbest radikaller ile doğrudan tepkimeye girerek onların hücre bileşenleri ile tepkime göstermesini engellemektedirler. Bu bileşenlerin ayrıca enzim inhibitörü ve indükleyicisi, reseptör etkinliğini inhibe edici ve indükleyicisi, gen ekspresyonunu inhibe edici olarak vazife yaptıkları da belirtilmektedir (Kris-Etherton ve diğerleri, 2004).

Gıdaların fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mikrobiyolojik kontrolünü sağlamak için ısı işlemler gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Isıl işlemlerin uygulamalarındaki yüksek sıcaklık ve süreden kaynaklanan duyuşal özelliklerin ve biyoaktif bileşiklerin olumsuz etkilenmesi nedeniyle ısı olmayan yeşil teknolojiler üzerinde yoğunlaşmıştır. Isıl olmayan bu yeni teknolojiler arasında ultrason (ultrases), vurgulu elektrikli alan (VEA, PEF), vurgulu ışık, yüksek basınç uygulaması (HP), mikrofiltrasyon, X ışınları, ultraviyole

ışık (UV), yüksek voltaj ark deşarjı ve salınımlı manyetik alan metotları öne çıkmaktadır.

Ultrases, insan kulağının işitebileceğinin üzerinde, 20 kHz ile 10 MHz aralığındaki frekansa sahip ses dalgalarıdır. Gıda endüstrisinde ultrases; pastörizasyon ve sterilizasyon gibi ısısal işlemlere nazaran gıdalara daha az zarar vermesi, ısısal işlem uygulama zamanının kısaltılması, ısısal işlemlerde ısı transferinin hızlandırılması, kimyasal reaksiyon hızının artırılması, gıdaların duyuşal anlamda kalitesinin geliştirilmesi gibi birçok alanda önem arz ederken ekipmanların ulaşılabilirliğinin kolay ve maliyetinin düşük olması da tercih nedenlerindedir. Ultrases gıda endüstrisinde; ekstraksiyon veriminin geliştirilmesinde, meyve ve sebzelerin dehidrasyonunda, farklı ve değişik özüt ve içeceklerin filtrasyonunda, emülsiyon stabilitesinin artırılmasında, fermente içeceklerde köpük giderme işleminde, süt koagülasyonunda, yumurtanın kalite tayininde, peynirdeki yüzey çatlaklarında, bisküvilerin yapısında, şarap fermantasyonunun kontrolünde, hamurun karakterizasyonunda, şeker içeriği ve asitlik

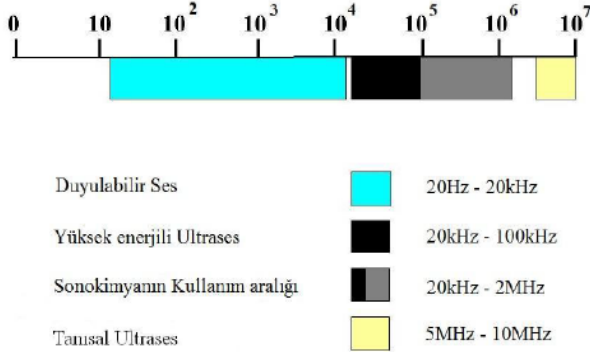
gibi fizikokimyasal parametrelerin tayininde yaygın olarak görev almaktadır.

Ultrases teknolojisinin gıda endüstrisinde kullanımı gıdalarda biyoaktif bileşenlerin tutulmasına olanak sağlamakta ve bazı durumlarda biyoaktif bileşen içeriğinde artışlar görülmektedir. Bu derlemede çevreye olumlu etkileri ile de bilinen yeşil teknolojilerden olan ultrases teknolojisinin, biyoaktif bileşenlerin korunmasındaki rolü literatür çalışmalarından elde edilen sonuçlarla gösterilmeye çalışılmıştır.

2. ULTRASES (ULTRASON, SONİKASYON)

Ultrasesin varlığı ilk defa dünya savaşları esnasında deniz altıların yolladığı ses dalgalarının toplu balık ölümlerine yol açması sonucunda anlaşılmıştır. 1960'lı yıllarda düşük frekans ve yüksek enerjili ultrases endüstride yavaş yavaş yerini almaya başlamıştır (Abramov, 1998). İnsan kulağının duyabildiği ses dalga aralığı 16 Hz ile 18 kHz'dir. Ultrases ise 20 kHz veya daha yüksek sonik dalgalarla üretilen bir enerji şeklidir. Ultrases akustik bir enerjidir (Earnshaw ve diğerleri,

1995). Akustik dalgalar bir ortam içerisinde yayıldığında sıkıştırma ve seyreltmelere (dekompresyon) sebep olmaktadır. Bu türbülans nedeniyle yüksek miktarda enerji üretmekte ve kütle transferinde artışlara neden olmaktadır. Temel prensip ses dalgalarının ışık dalgalarına benzer şekilde yansması ve saçılmasıdır (Jambrak, 2012). Ultrases frekansının üst limiti kesin olarak kanıtlanamamakla beraber, gazlarda 5 mHz ve katılarda 500 MHz olarak ifade edilir. Ultrases, ses gücü (W), ses yoğunluğu (W/m^2), ya da ses enerjisi yoğunluğu (Ws/m^3) olarak karakterize edilir (Dolatowski ve diğerleri, 2007).



Şekil 1. Ultrasesin frekans aralığı (Mason, 1998; Başlar, 2011)

Ultrases frekans olarak; 16 ile 100 kHz arası güç ultrasesi, 100 kHz ile 1 MHz arası yüksek frekanslı ultrases, 1 ile 10 MHz arası ise tanıyıcı ultrases olmak üzere üç gruba ayrılır. Ultrases ya basınç elektriğiyle (piezoelektrik) ya da yüksek enerji titreşimleri meydana getiren manyetik sıkıştırılmalı dönüştürücüler ile (transdücer) üretilmektedir (Jambrak ve diğerleri, 2010).

Ultrases uygulamaları gıda endüstrisinde kullanımı açısından;

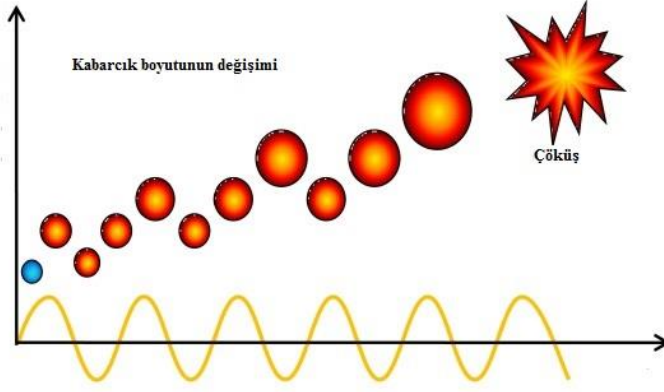
- Yüksek yoğunluklu, düşük frekanslı ultrases
- Düşük yoğunluklu, yüksek frekanslı ultrases olmak üzere iki gruba ayrılır.

Düşük ultrasesin uygulama yoğunluğu 1 W/m^2 den düşük ve frekansı 100 kHz'den yüksektir. Bu işlem yüzey temizliği, enzim inaktivasyonu, kristalizasyon, emülsifikasyon, filtrasyon, dondurma, etlerde tenderizasyon gibi pek çok uygulamada kullanılmaktadır. Yüksek ultrases ise 1 W/m^2 den yüksek yoğunlukta ve frekansı 18-100 kHz arasında olup deaerasyon, oksidasyon/redüksiyon, enzim ve proteinlerin ekstraksi-

yonu, enzim inaktivasyonu, kristalizasyonda çekirdek oluşumu gibi işlemlerde kullanılır (Thakur ve Nelson, 1997). Yüksek güçlü ultrases teknolojisi hücre parçalama, partikül küçültme ve bakteri sporlarının inaktivasyonunda etkili olmaktadır (Murphy ve diğerleri, 2009). Düşük yoğunluklu ultrases uygulamalarında dalganın geçtiği materyalde fiziksel ve kimyasal bir değişim gözlenmez. Düşük enerjili ultrasonik işlemi en yaygın olarak gıdaların fizikokimyasal özelliklerinin (sertliği, olgunluğu, kompozisyonu, parçacık bütünlüğü, asitliği vb.) belirlenmesinde kullanılır (Knorr ve diğerleri, 2004). Yüksek enerjili ultrasonik işlemi ise gıdalarda mikrobiyal ve enzimatik inaktivasyon amaçlı kullanılır. Yüksek enerjili ultrason uygulaması gıdayı fiziksel, kimyasal ve mekanik anlamda etkilerken, düşük enerjili ultrases uygulamalarında böyle bir etki görülmez (Demirdöven ve Baysal, 2009).

Ultrases bir ortamda ilerlerken farklı işlemlerde yer almasına imkan yaratan, ses dalgasının frekansı ve genliğine bağlı olarak meydana gelen pek çok fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal etki oluşturmaktadır (Knorr ve

diğerleri, 2004). Bu etkilerden en önemlisi olan kavitasyon; bir sıvıdan geçerken ses dalgasının basıncının düştüğü yerlerde moleküllerin arasındaki mesafenin normalin üstünde seyretmesi ile kabarcık oluşumu, sürekli ses dalgalarına tabi olan maddede meydana gelen kabarcıkların giderek büyümesi, salınması ve daha fazla enerji absorblayamayacak kritik hacme eriştiklerinde de iç kısma doğru sönümlenmesi olarak ifade edilmektedir (Kantaş 2007; Uzunoğlu 2012). Kavitasyon balonlarının iç patlamaları oluştuğu bölgede yoğun bir enerji birikimine sebebiyet vermektedir (Yildiz ve Izli, 2018). Bu enerji ortamı ısıtır ve kimyasal reaksiyonlara neden olur (Rahman, 2007). Böylece ortaya çıkan yüksek sıcaklık ve basınçtan ötürü kavitasyon alanında yüksek enerjili kesme dalgaları ve türbülans oluşmaktadır (Patist ve Bates, 2008).



Şekil 2. Kaviteasyon balonu

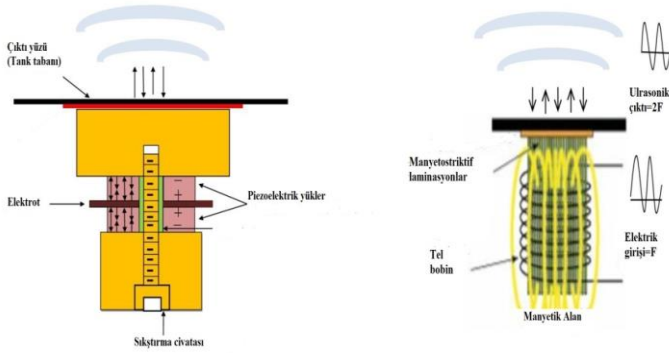
Kaviteasyon oluşumunda çok sayıda faktör etkilidir. Yüksek sıcaklık derecelerinde buhar basıncı artış göstermekte ve yüzey gerilim kuvveti de azalma göstermektedir, bunun neticesinde de daha fazla kabarcık ortaya çıkmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda çok daha fazla kabarcık meydana gelmesine karşın kabarcıkların sönmüledikleri andaki şiddetleri düşüktür. Düşük frekanslarda kabarcıklar daha büyük hacimlerde üretilir ve sönmüledikleri zaman daha fazla enerji ortaya çıkarırlar. Yüksek şiddette kaviteasyon arzu edilirse ultrases dalga büyüklüğünün yükseltilmesi gerekir (Tüfekçi ve Özkal, 2015).

Kavitasyon olayı, geçici ve kararlı olacak şekilde 2 farklı biçimde gerçekleşmektedir. Geçici kavitasyon, prob sistemlerinde 20 kHz ve üzeri frekanslarda 10 W/cm² dalga şiddetinde meydana gelmektedir. Geçici kavitasyonda kabarcıklar az sayıda akustik salınımla beraber boyutları genişleyerek hemen patlamaktadır. Meydana gelen baloncukların boyutları küçük olmaktadır (Uzunoglu, 2012). Kararlı kavitasyonda ise kabarcıkların büyümesi 200 kHz ve üzerindeki frekanslarda yaklaşık 1000 akustik çevrim neticesinde gerçekleşmektedir. Baloncukların patlama şiddeti geçici kavitasyona kıyasla daha düşük seviyededir (Türkmen, 2012).

2.1. Ultrases Sistemi

Ultrases sistemini meydana getiren temel unsurlar; jeneratör, dönüştürücü ve iletici kısımlardan oluşur (Mason, 1998; Türkmen, 2012). Jeneratör, alternatif akımı, yüksek frekanslı alternatif akıma çevirirken dönüştürücü de yüksek frekanslı elektrik akımını mekanik titreşimlere çevirmektedir. Bu mekanik titreşimler iletici kısmında ultrases işleminin uygulanacağı ortama iletilir. Ultrases sisteminde

manyotestrikatif ve piezoelektrik olmak üzere iki tür dönüştürücü mevcuttur. Manyotestrikatif dönüştürücüler, ultrasonik dalgaların oluşturulması için elektro-akustik dönüştürücü görevi görmektedir. Piezoelektrik dönüştürücü ise, akustik ve elektrik enerjilerinin karşılıklı dönüşümü ile ilgilidir. Bir piezoelektrik sensör/dönüştürücünün temel ilkesi kuvars kristali veya herhangi bir piezoelektrik malzeme bir kuvvete maruz kaldığında yüzeyinde temizleme eyleminden sorumlu olacak piezoelektrik adı verilen elektrik yüklerini oluşturmasıdır.

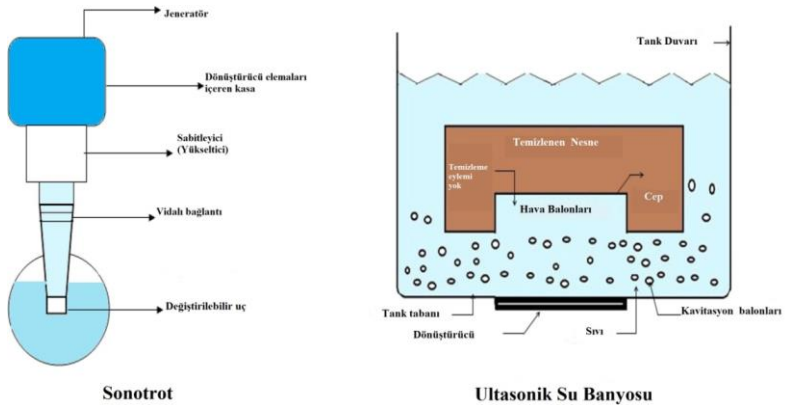


Piezoelektrik Dönüştürücü

Manyotestrikatif Dönüştürücü

Şekil 3. Piezoelektrik ve Manetostrikatif dönüştürücü

Ultrasen uygulamasının etkinliği üzerinde belirleyici olan frekans, dalga boyu, genlik ve ultrasonik güç gibi faktörlerdir. Ayrıca reaktör tasarımı ve ultrasenin uygulanma biçimi de işlemin etkinliği üzerinde etkili olmaktadır. Ultrasen; ultrasonik banyo ve ultrasonik prob olmak üzere 2 değişik metotla uygulanmaktadır. Ultrasonik banyolar, daha ziyade çözgenlerdeki havanın uzaklaştırılması ya da küçük cam malzemelerinin temizliğinde tercih edilmektedir.



Şekil 4. Ultrason uygulama yöntemi

Ultrasonik banyolar; kimyasal tepkimelerin tekrarlanabilirliğinin çok az olması ve aktarılan enerji yoğunluğunun düşük olması nedeniyle gıda işleme

akışlarında daha az kullanılır (Wen ve diğerleri, 2018). Diğer bir yöntem ise ultrasesin ultrasonik problar (sonotrot) ile uygulandığı işlemdir. Bu metot kapsamında prob; örnek içine daldırıldığı için ultrasonik yoğunluk daha küçük bir alana (yalnızca prob ucuna) aktarılabilir. Bu metot, ultrasonik banyolara kıyasla daha etkin bir yöntem olup küçük çaplı üretimlerde tercih edilmektedir (Chemat ve diğerleri, 2011). Maliyet açısından kıyaslandığı zaman, prob sistemlerine kıyasla banyo sistemleri daha ucuz bir fiyat aralığına sahiptir.

3. ULTRASONİK SES DALGALARININ GIDA ENDÜSTRİSİNDE KULLANIM ALANLARI

Ultrasonik ses dalgaları, birtakım sistemlerde tek başına yeterli bir etkinlik sergilerken, bazı sistemlerde gerekli inaktivasyon seviyesine ulaşmak amacıyla ısı ve basınç gibi işlemlerle beraber kullanılması uygundur. Bunları; ultrases ve ısı işlem (termosonikasyon, TS), ultrases ve basınç (manosonikasyon, MS), ultrases, basınç ve ısı işlem (manotermosonikasyon, MTS) uygulamaları olarak

sınıflandırmak mümkündür (Rahman, 2007; McClements, 1995).

TS; sıcaklık ve ultrases parametrelerinin birlikte uygulanması sonucunda işlem sıcaklığı ile süresini azaltarak pastörizasyon ve sterilizasyon amaçlı kullanılmaktadır. Ortam sıcaklığının kullanılan sıvının kaynama noktasına yakın değerlere ulaştığı an sıvı buhar basıncının yükselmesi ile kavitasyon şiddetinde azalmalar yaşanır. Bu problemi çözebilmek amacıyla TS uygulaması basınç altında (100-700 kPa) gerçekleştirilir ve bu işleme manotermosonikasyon adı verilir. MTS işlemi sonucunda meydana gelen etki sinerjist bir özellik sergilemektedir. Kısaca, oluşan toplam etki, bu etkiyi meydana getiren her bir parametrenin (ultrases, ısı işlem, basınç) tek başına kullanıldığı zaman ürettiği etkilerin toplamından çok daha fazladır. Kısaca ultrases, hedef molekül ve dokuları duyarlı hale getirirken ısı ve basıncın yardımıyla da daha etkili olabilmektedir (Rahman, 2007).

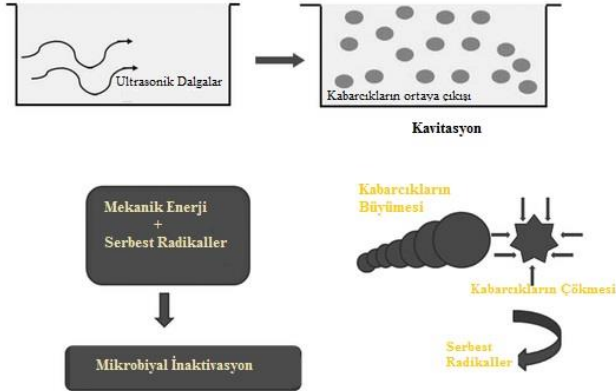
Yöntem	Geleneksel Yöntem	Ultrason prensibi ve Avantajları	Ürün
Piştirme	Fritöz, Su banyosu vb.	Isı transferi artar, Sürenin kısalmır, Isı transferi ve organoleptik kalite iyileşir	Et ürünleri ve Sebzeler
Dondurma/ Kristalleşme	Dondurucu, Daldırma	Isı transferi artar, Sürenin kısalmır, Daha küçük kristaller oluşur, Difüzyonda iyileşmeler meydana gelir	Et, Sebzeler, Meyveler, Süt ve süt ürünleri
Kurutma	Atomizasyon, Sıcak gaz akışı, Dondurma ve Püskürtme	Isı transferi artar Süre kısalmır, Isı transferi ve organoleptik kaliteni iyileştirilir	Meyve ve Sebzeler
Marine /Turşu	Salamura	Kütle transferi artar, Süre kısalmır, Organoleptik kalite iyileştirilir, Ürün stabilitesi artar	Sebzeler, Et, Balık, Peynir
Gaz Giderme	Mekanik işlem	Sıkıştırma-Seyreltme Süre kısalmır Hijyen iyileştirilir	Çikolata ve bira gibi fermente ürünler
Filtrasyon	Filtreler (Membranlar)	Titreşimler Süre kısalmır Filtrelemeyi iyileştirir	Sıvılar (Meyve suları vb.)
Kalıptan Çıkarma	Yağlama kalıpları, Teflon ve Silikon kalıplar	Titreşimler Sürenin kısalmır, Ürün kayıpları azalmır	Pişmiş ürünler (Kek vb.)
Köpükten Arındırma	Isıl işlem, Kimyasal işlem, Mekanik ve Elektriksel İşlemler	Kavitasyon Süre kısalmır Emülsiyon stabilitesi	Emülsiyonlar (Ketçap, mayonez vb.)
Oksidasyon	Hava ile temas	Kavitasyon Süre kısalmır	Alkoller (Şarap, viski vb.)
Kesim	Bıçaklar	Kavitasyon Sürenin kısalmır Doğru ve tekrarlanabilen kesim, Ürün kayıpları azalmır	Kırılgan ürünler (Kek, peynir vb.)

Çizelge 1. Gıda işlemede ultrason uygulamaları

3.1.Ultrasesin Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkisi

Ultrases neden olduğu kavitasyon sayesinde mikroorganizmaları inaktive ederek ısıl işlem uygulamalarına kıyasla gıdalarda daha az değişikliğe neden olmaktadır. Ultrason uygulamasının mikroorganizmaları inaktivasyon etkisi onların hücre duvarlarını parçalaması ile gerçekleşmektedir (Butz ve Tauscher, 2002). Sonikasyon uygulaması neticesinde kavitasyon meydana gelir ve gaz kabarcıkları da bu ortamda oluşur. Bu ultrases enerjisi gaz kabarcıklarındaki buharı etkin bir biçimde tutamadığından ötürü gaz kabarcığı patlamakta ve bu sayede de ortam yoğunlaşmaktadır. Meydana gelen bu ortamda yer alan mikroorganizmaların hücre duvarları hasar görür ve inaktif hale geçer. Bir başka deyişle akustik kavitasyon sonucu ortaya çıkan ve basıncın hücrenin fonksiyonel bileşenlerini ve yapısını yıkarak, hücreyi parçalaması ile ifade edilmiştir (Ulusoy ve diğerleri, 2007). Bu ısıtılmış alan bakterilerin inaktivasyonunu sağlamaktadır, fakat çok sınırlı bir bölgeyi kapsadığı için bakterilerin hepsini öldürememektedir (Piyesena ve diğerleri, 2003). Güç

ultrasonu ve ısınının (termosonikasyon) birleşik etkisinin, tek başına iki yöntemden herhangi birine göre kativasyonda daha verimli mikrobiyal yöntem olduğu kanıtlanmıştır (Raviyan ve diğerleri, 2005). Ultrason yöntemi endüstriyel sularda bakteri ve alg oluşumunun engellenmesinde en iyi sonuçları vermektedir (Broekmen ve diğerleri, 2010).



Şekil 5. Ultrasonik dalgalar ile kavitasyon ve mikrobiyal inaktivasyon (Sao Jose ve diğerleri, 2014)

Scherba ve diğerleri (1991) ultrason uygulamasının sulu çözeltilerdeki *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* ve *Pseudomonas aeruginosa*'yı yok edebildiğini belirtmektedir (Bayraktaroğlu ve Obuz,

2006). Ultrases uygulamasının *Trichophyton mentogrophytes* küflerini, *Feline herpesvirüs* tip1 virüsünü de yok edebildiği belirtilmiştir (Pohlman, 1994). Gram-pozitif hücreler ise duvarlarının daha kalın oluşu sebebiyle gram-negatif hücrelere kıyasla daha dirençlidirler. Yapılan bir çalışmada, 5 ile 62 °C aralığında uygulanan sıcaklıklarda 20 kHz/160 W'lık bir uygulama ile *Streptococcus faecium* ve *Streptococcus durans* inaktivasyonu incelenmiştir (Ordenez ve diğerleri, 1984). *Streptococcus mutans* ile kirlenmiş 50 cm³ su üzerinde 20 kHz ultrason frekansı ve 12,8 W güç kullanılarak 15 dakika süreyle mikrobiyal azalma sağlandığı belirtilmektedir (Koda ve diğerleri, 2009).

Sütteki *Bacillus subtilis* sporları üzerinde 70-95 °C sıcaklık aralıklarında ultrason işlemi gerçekleştirilmiştir (Garcia ve diğerleri, 1989). Tek başına kullanıldığı zaman ultrases bir etki sergilemezken, ısı ile kombine bir şekilde uygulanan ultrason işlemi spor popülasyonunu %63-73 dolaylarında azaltmıştır. Benzer bir çalışmada, UHT sütte *Staphylococcus aureus* için önceki belirtilen şartlarla ultrason işlemi uygulanmıştır (Ordenez ve

diğerleri, 1987). Tek başına ısısal yöntemle nazaran, ultrason ile birlikte uygulanan ısısal işlemin D değerini %43 oranında daha fazla azalttığı gözlemlenmiştir. Yüksek basınç ve ısısal işlemlerle kombine edilmiş ultrason uygulamasının *Listeria monocytogenes* üzerine etkili olduğu belirtilmektedir. Yoğun sıvılar ve katılar ultrason dalgalarının yayılımını önlediği için bu yöntemin süt ve meyve sularının sterilizasyonu için daha kullanışlı olduğu ön görülmektedir (Bayraktaroğlu ve Obuz, 2006).

Ultrasonikasyonun antimikrobiyal araç olarak etkinliği, mikroorganizmaların fiziksel (boyut, hidrofobiklik) ve biyolojik (gram durumu, büyüme fazı) özelliklerine bağlıdır. "Yumuşak" ve daha kalın kapsüllü mikroorganizmaların ultrasonik uygulamaya karşı son derece dirençli olduğu belirtilmektedir (Gao ve diğerleri, 2014). Mikrobiyal inaktivasyon açısından diğer bir mekanizma ise serbest radikal oluşumu ile açıklanmaktadır. Ultrason işlemi esnasında OH^- , H^+ ya da hidroperoksitler gibi serbest radikaller oluşmakta ve meydana gelen bu bileşenlerin önemli bakterisidal

etkileri bulunmaktadır (O'Donnell ve diğerleri, 2010; Soria ve Williamiel, 2010).

3.2. Ultrasesin Gıda Enzimleri Üzerine Etkisi

Ultrasonun enzimlerin etkisizleştirilmesi üzerine etkili olduğu bilinmektedir (Yildiz ve diğerleri, 2020; Yıldiz ve Aadil, 2021). Bazı araştırmacıların ultrasesin tek başına enzimler üzerinde etkisi olmadığını belirtmesi ve bazılarının ise akustik kavitasyonun enzimi fiziksel ve kimyasal açıdan etkilediğini belirtmesi ile fikir ayrılıkları yaşanmıştır. Kullanılan enzim ve işlem değişkenlerine göre bu etkinin farklı olabileceği bilinmektedir. Ama genelde ultrason ile enzim inaktivasyonu, ultrasonun makromolekülleri depolimerize etmesiyle açıklanmıştır (Feng ve diğerleri, 2008). Ultrasonik dalgaların diğer işlemlerle (ısı ve/veya basınç) beraber uygulanması halinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir (Barton ve diğerleri, 1996; Yıldiz ve diğerleri, 2017). Ultrases işlemleri, termosonikasyon, monosonikasyon ve monotermsosonikasyon (Yıldiz ve diğerleri, 2018) işlemleriyle beraber süt ve meyve ürünlerinde yer alan lipoksijenaz (LOX), polifenoloksidaz (PPO), peroksidaz

(POD) gibi enzimlere ve ısıya karşı dirençli olan lipaz ve proteaz enzimlerine karşı etkili bir metottur (O'Donnell ve diğerleri, 2010).

Bir çalışmada domates peroksidazına %15-75 ultrasonik güçlerde 20-150 saniye sürelerle ultrason uygulanmış ve %50 ve %75 ultrasonik güçte 150 saniye sonunda enzimin tümüyle inaktive olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada ultrases uygulanan domates suyunda C vitamini kaybının ısı işleme göre daha az miktarda olduğu belirtilmiştir (Ercan ve Soysal, 2010). Bir başka çalışmada soya yağındaki LOX enziminin ultrases işlemi ile beraber %75-85 civarında inaktive edildiği belirtilmiştir. Günlük süte uygulanan ultrases işlemi, sütteki patojen ve bozulma etmeni mikroorganizmaları kolay bir şekilde inhibe edebilmekte, fakat ortamda yer alan mikroorganizmaların bir çoğu ekstraselüler lipaz ve proteaz üreterek UHT ile elde edilen sütün hem kalitesini ve hem de içilebilirliğini azaltabilmektedir (Lopez ve Burgos, 1995).

Ultrasesin enzimler üzerine etkisinin araştırıldığı bir başka çalışmada ise ultrasesin tek başına bir etkisinin

olmadığı belirtilmiş, sıcaklık 61°C üzerine çıkarılıp sonikasyon işlemi uygulandığı zaman sütteki enzimlerin inaktive olduğu görülmüştür (Willamel ve De Jong, 2000). MTS işleminin geleneksel yöntemlere göre ısıya karşı dirençli mikroorganizmalarda daha etkili olduğu bilinmektedir.

3.3. Ultrasesin Dondurma Teknolojisi Üzerine Etkisi

Ultrasonun dondurma işlemi üzerine de olumlu sonuçlar verdiği yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur. Ultrases teknolojisinin ürettiği ses enerjisinin faydası ortamda ilerlerken neden olduğu çeşitli etkiler ile izah edilebilir. Ses dalgalarının yol açtığı etkilerden en önemlisi şüphesiz ki kavitasyon etkisidir. Ultrases yardımı ile üretilen gaz kabarcıkları küçük boyutlardadır ve bu uygulama sürekli bir şekilde devam etmektedir. Bu esnada buz çekirdekçikleri (buzlanma) meydana gelir. Bu kristaller donma uygulamasının daha verimli olmasına yol açar. Diğer taraftan yoğun ve sıkıştırılmayan materyaller, değişen akustik strese maruz kaldıkları zaman buz kristalleri kırılır ve benzer büyüklükte buz

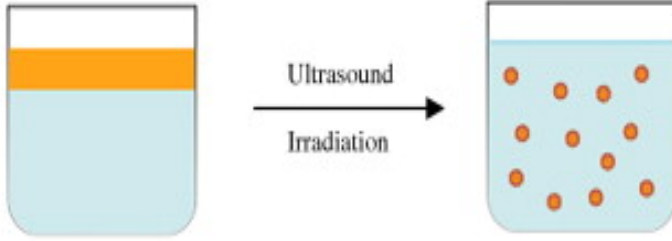
kristal parçalarının meydana gelmesine sebep olur. Bu durum dondurma işleminde arzu edilen bir uygulamadır (Zheng ve Sun, 2006).

Ultrases işleminin, kısmi dondurulmuş ürün içinde dondurulmuş yüzeyin oluşması, buz kristallerinin azaltılması ve kristallerin boyutunun kontrol altına alınması, donmuş yüzeyde kabuk oluşumunun engellenmesi gibi yararları söz konusudur. Ultrases işleminin yer aldığı bir dondurma işlemi, gerek değeri yüksek bir gıda maddesi gerekse de farmasötik ürün oluşumuna katkı sağlar (Zheng ve Sun, 2006). Ultrases uygulamasının patates dilimlerinin donma süresi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, uygulanan ultrasesin donma zamanını kısalttığı gözlemlenmiştir (Li ve Sun, 2002).

3.4. Ultrasesin Homojenizasyon / Emülsifikasyon Üzerine Etkisi

Birbiri ile karışmayan 2 sıvının karıştırılmasına emülsiyon, bunları karıştırmak amacıyla ortama eklenen maddelere de emülgatör adı verilmektedir. Birbirine karışmayan iki sıvıya ultrases işlemi uygulandığında iyi

bir homojenizasyon/emülsifikasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Ultrases uygulamasının neden olduğu kavitasyon sonucunda meydana gelen kabarcıkların bu iki sıvı arasında patlaması ile şok etkisi meydana gelmekte ve bu sıvıların daha homojen bir şekilde karışması sağlanmaktadır. (Lee ve diğerleri, 2016). Düşük enerjili uygulanan ultrases işlemine kıyasla yüksek enerjili ultrases işleminin daha kararlı bir emülsiyon oluşturduğu belirtilmektedir. (Soria ve Willamiel, 2010). Ayrıca ultrason ile emülsiyon üretmek için gereken enerji geleneksel yöntemlerde gereken enerjiden daha az ve daha kararlıdır. Hidrostatik basınç, gaz içeriği, yağ-su oranı, yüzey aktif madde konsantrasyonu, ultrasonik güç ve maruz kalma süresi emülsifikasyona etki eden parametrelerdir (Javari ve diğerleri, 2006).



Şekil 6. Ultrases ile emülsifikasyon

Palm yağının β -lactoglobulin alginate ile karıştırma işleminin yer aldığı bir çalışmada uygulanan ultrases işleminin ardından pıhtılaşan damlacıkların çok küçük bir hale geldiği ve emülsiyon için uygun bir ortam hazırladığı görülmüştür (pH4-5) (Pongsawatmanit ve diğerleri, 2006). Gaikwaid ve Pandit (2008) yaptıkları bir çalışmada yağdaki disperse fazdaki damlacık boyutları, disperse fazın hacmi ile fizikokimyasal özellikleri, zaman ve güç etkilerinin üzerine ultrases işleminin etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak normalde üretilen damlacık boyutlarına kıyasla ultrases işlemi uygulanarak elde edilen damlacıkların daha küçük boyutta olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda ketçap ve mayonez üretiminde ultrases teknolojisinin kullanımının

emülsiyon stabilitesini arttırabileceği düşünülmektedir (Povey, 1998).

Ultrasonik emülsiyon, aroma kapsülleme, soslar, meyve suları, mayonez ve benzeri harmanlanmış gıda ürünleri ve süt homojenizasyonunda oldukça ilgi çekmektedir (Basiljkov ve diğerleri, 2011). Süt işleme endüstrileri depolama sırasında kremaya karşı stabiliteyi arttırdığı için süt, yoğurt ve dondurmanın işlenmesinde önemli bir basamak olan ultrason homojenizasyonunu kullanmaktadırlar.

3.5. Ultrasesin Et Teknolojisi Üzerine Etkisi

Ette gevreklik ve renk parametreleri tüketici tarafından aranan en önemli özelliklerdendir. Ses dalgaları ile gıdanın mevcut özellikleri değiştirilebildiği için ultrason işleme ete gevreklik kazandırmada kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntem ile kas proteinlerinin ekstraksiyonunu arttırdığı ve kürlenmiş jambonun tekstürünü geliştirdiği saptanmıştır (Pohlman, 1994). Ultrasonik yöntemlerle işlenmiş jambon halkalarının kopma gücünün fazla, daha iyi pişirme

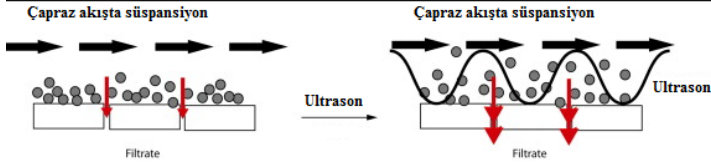
verimine sahip ve miyofibriler protein ekstraksiyonunun daha kolay gerçekleştiği rapor edilmiştir (Got ve diğerleri, 1999). Ultrason uygulanan etlerde, tuz eklenmeksizin daha kırmızı renk ve daha taze kas görüntüsü elde edilmiş ve kas liflerinin kolayca ayrıldığı belirtilmiştir (Reynolds ve diğerleri, 1978). Başka bir çalışmada gazı alınmış maden tuzu solüsyonu içine konulmuş bütün bir ete kısa süreli düşük frekanslı yüksek yoğunluklu ultrases uygulamasının eş süreli olarak maden tuzu içine konulmamış ete göre sertliği azalttığı belirtilmiştir (Smith ve diğerleri, 1991). Ayrıca kuru jambona uygulanan ultrasesin (%2'lik tuz ilaveli) moleküller arası yapışkanlığı (cohesion) arttırdığı gözlemlenmiştir (Reynolds ve diğerleri, 1978).

3.6. Ultrasesin Filtrasyon İşlemine Etkisi

Filtrasyon işleminde katı maddelerin filtre membranının yüzeyine tortu bırakması, filtre gözeneklerinin tıkanmasına ve beraberinde filtrasyon işleminin olumsuz etkilenmesine sebep olur. Ultrases işlemi uygulanan filtrasyon işleminde filtre membranının yüzeyinde oluşan polarize maddeler kırılarak akışın hızlı bir hal alması

sağlanmaktadır. Ayrıca membran filtre ile beraber ultrases işleminin kombine bir şekilde uygulamanın tek başına ultrases uygulamasına kıyasla daha etkili sonuç verdiği gözlenmiştir (Chemat ve diğerleri, 2011).

Akustik filtreleme işlemi, endüstriyel atık su filtrasyonunun iyileştirilmesinde başarılı olarak kullanılmaktadır. Ultrason filtrelerle birleştirildiğinde, filtre yüzeyindeki sürekli kavitasyon ile membranın kirlenmesini ve tıkanmasını önleyerek filtrenin ömrünü uzatmaktadır.



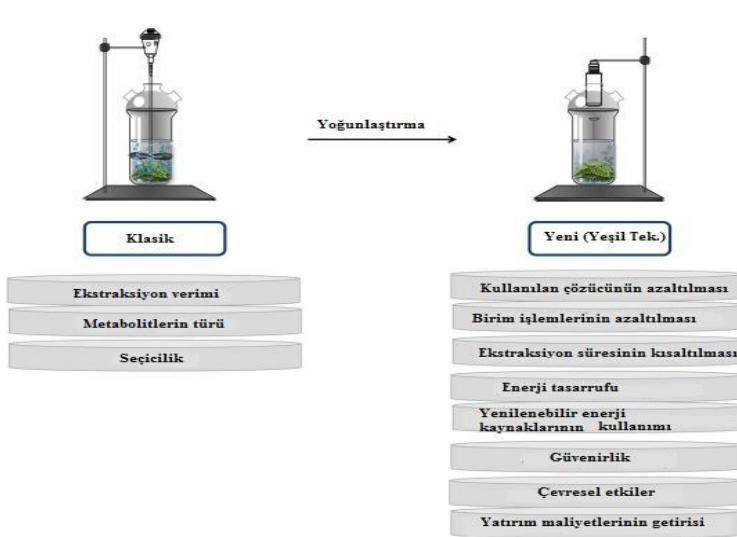
Şekil 7. Filtrasyon işlemi sırasında ultrases uygulaması ile partiküllerin filtre membranındaki görünümü (Zheng ve Sun, 2006)

Membran teknolojisi şu anda gıda, meyve suyu ve süt ürünleri endüstrisinde suyun ve sıvı atık akışkanların arıtılması için kanıtlanmış çok yönlü, etkili bir

teknolojidir (Maskooki ve diğerleri, 2010). Ultrason uygulamasının ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon proseslerinde akışı arttırmak ve kirli membranların temizliğini geliştirmek için etkili bir yöntem olduğu belirtilmektedir. Akustik kavitasyon, mekanik ajitasyon, mikro akış ve kesme kuvvetlerinin oluşumuna neden olmaktadır (Yıldız, 2018).

3.7. Ultrasesin Ekstraksiyon Üzerine Etkisi

Ekstraksiyon çok eski çağlardan beri yiyecek, parfüm ve kozmetik gibi işlemlerde kullanılmaktaydı. Günümüzde ise gıda, ilaç, kozmetik, nutrasötik, veya biyoenerji endüstrilerinde (maserasyon, çözücü ekstraksiyon, buhar ve hidro distilasyon, soğuk presleme, sıkma vb.) kullanılmaktadır. Biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonu; ekstraksiyon tekniği, hammadde ve kullanılan ekstraksiyon solventi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Modern veya geleneksel olmayan ekstraksiyon teknikleri, enerji kullanımını azaltması ve çevreyle ilişkili olarak zararlı olmayan organik çözücülerin uygulanması nedeniyle yeşil veya temiz teknikler olarak bilinmektedir (Rodriguez-Perez ve diğerleri, 2015).



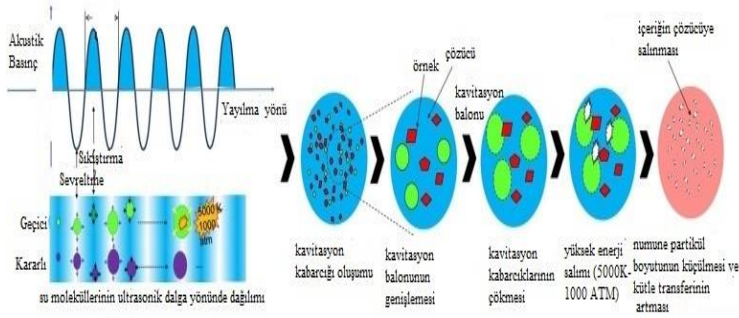
Şekil 8. Ultrason destekli ekstraksiyon ve geleneksel ekstraksiyon

Artan enerji maliyetlerini, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve yasal gereklilikleri yerine getirmek için gıda ve bitki bazlı kimya endüstrileri yeşil teknolojilere yönelmektedir. Bu teknolojilerin uygulanması çevreyi ve doğal kaynakları korumaya yöneliktir. Temel olarak yeşil teknolojiler; ekstraksiyon verimini iyileştirmek, işlem süresini kısaltmak ve toksik çözücülerin neden olduğu çevresel zararı azaltmayı kapsamaktadır.

Yeşil Teknolojiler	Tanım	Meyve ve Sebze	Kaynak
Süperkritik Akışkan (SFE)	SFE, süper kritik akışkan içindeki gazı dönüştüren sıcaklık ve basınçtaki değişikliklerle karakterize edilmektedir.	Fındık, Kahve, Üzüm atıkları, Trabzon hurması	Manna ve diğerleri, 2015; Zaghdoudi ve diğerleri, 2016
Basınçlı Sıvı (PLE)	Ekstraksiyon yüksek basınçlarda gerçekleştirilir. Bu nedenle çözücü sıvı halde kalmaktadır.	Elma, Kiraz tohumları	Alonso-Salces ve diğerleri, 2001; Oliveira ve diğerleri, 2014
Ultrason destekli (BAE)	BAE, 20kHz – 100 MHz arasında bir ses dalgasıdır. Bu süreç kavitasyonu gerçekleştirir. Kabarcıkların organik bileşiklerin ve inorganik bitki matrisinin süzülmesini kolaylaştıran gözenekler oluşturmak için üretilmesi, büyümesi ve çökmesi anlamına gelmektedir.	Greyfurt	Garcia-Castello ve diğerleri, 2015
Mikrodalga destekli (MAE)	300MHz – 300 GHz arasındaki elektromanyetik alanlardır. Çözücü, difüzyonla katı matrise nüfuz eder ve çözünen, katı özellikleriyle sınırlı bir konsantrasyona ulaşmak için çözüldürülür.	Narenciye kabukları, Havuç kabuğu	Nayak ve diğerleri, 2015
Darbeli elektrik alan (PEF)	Malzeme iki elektrot arasına yerleştirilir (100–300 V / cm ila 20–80 kV / cm). İşlem, oda sıcaklığında veya biraz daha yüksek bir sıcaklıkta gerçekleştirilir.	Opuntia kaktüs meyvesi, Domates suyu	Moussa-Ayoun ve diğerleri, 2016; Valverde-Queralt ve diğerleri, 2014
Yüksek gerilim elektrik deşarjları (HVED)	Hücre yapısına ve değerli hücreli bileşiklerin ekstraksiyonuna zarar vermek için etkili bir yöntemdir. İlk adım, bir iğne elektrot bobininin oluşumu ve yayılması ve gazlı boşlukların oluşmasıdır. İkinci aşama, streamer elektrot plakasına ulaştığında gerçekleşir (faz ayrışması).	Üzüm çekirdeği	Boussetta ve diğerleri, 2013
Yüksek hidrostatik basınç (HHP)	HHP, kısa bir süre içinde 0 °C'de, 100 °C'nin altına çok yüksek basınçlar (100-1000 MPa) uygulamaktadır.	Domates atığı	Strati ve diğerleri, 2015

Çizelge 2. Meyve ve sebzelerde biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonu için yeşil teknolojiler

Ultrason işlemi, hücre duvarını mekanik olarak parçalar ve materyal aktarımını sağlar. Hücre duvarının parçalanması ile hücre içindeki sıvı ekstrat hücre dışına kolayca çıkabilmektedir. Ultrasonik uygulama sonucu partikül çapının azalması ile katı ve sıvı kısımlar arasındaki yüzey alanı artar (Bayraktaroğlu ve Obuz, 2006). Ultrasonun mekanik aktivitesi solvetin dokulara doğru olan dağılımını hızlandırmakta ve hücre içi bileşen çözücü solvente kolayca geçmektedir (Kim ve Zayas, 1989). Ultrasonun etkisini belirleyen faktörler; sıcaklık, basınç, frekans ve sonikasyon süresidir (Rajha ve diğerleri, 2015). Polisakkaritler, uçucu yağlar, proteinler, peptidler ve biyoaktif maddelerin elde edilmesi için ultrason kullanılmaktadır (Tiwari, 2015). Ultrason enerjisinin uygulanması, kütle transfer katsayısını, hızı ve verimi artırdığından biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonu için alternatif olarak kabul edilmektedir (Riera ve diğerleri, 2004).



Şekil 9. Gıda işleme sırasında olası ultrasonik destekli ekstraksiyon mekanizması

Xu ve diğerleri (2015), *Eucommia oliver* bitkisinden doğal antioksidanların ultrason destekli ekstraksiyon ile elde edilmesini araştırmışlar ve ultrason kullanımının geleneksel yöntemlerin etkisini arttırıp, yüksek verim ve doğal antioksidanların seçiciliğini sağladıklarını bildirmişlerdir. Yapılan bir başka araştırma, siyah chokeberry (Kuzey Amerika'ya özgü siyah çilek) meyvesinden biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonunu konu almaktadır. Ekstraksiyon süresi (0-240 dakika), çözücü bileşimi (etanol-su) ve ultrason enerji seviyesinin (0-100 W) ultrason uygulamasının toplam antosiyaninler ve polifenoller için uygun bir teknoloji olduğunu belirtmektedirler (D'Alessandro ve diğerleri, 2014).

Sivakumar ve diğerkleri (2014), Avaram kabuğundaki (*Cassia auriculata*) tanenlerin çıkarılması işleminde ultrasonun etkilerini incelemişlerdir. Manyetik karıştırmaya kıyasla 100 W'da ultrason kullanıldığında %160'lık bir gelişme gösterdiğini, nedeninin ise tanenlerin süzülmesinde geliştirilmiş kütle transferi ile bağlantılı olduğunu belirtmektedirler.

Khan ve diğerkleri (2010), portakal kabuğundan (*Citrus sinensis* L.) polifenollerin, özellikle de flavonoidlerin ekstrasyonunu araştırmışlar ve ultrasonun en iyi koşulları sağladığını, elde edilen özütlerdeki biyoaktif bileşiklerin veriminde ve antioksidan aktivitesinde artış olduğunu belirtip bu tekniğin meyve özleri hazırlamak için uygunluğunu doğrulamışlardır. Biyoaktif bileşenlerin çıkarılmasında ultrason destekli ekstraksiyon yönteminin verim ve biyoaktif içeriğini arttığını bildiren başka çalışmalar da mevcuttur (Rodriguez-Perez, 2015). Paula ve diğerkleri (2016), tespah ağacının (*Meliaceae*) kurutulmuş meyvelerinden biyoaktif bileşiklerin elde edilmesi için ultrason destekli ekstraksiyon tekniğini kullanarak bu yöntemin biyoaktif bileşenler bakımından

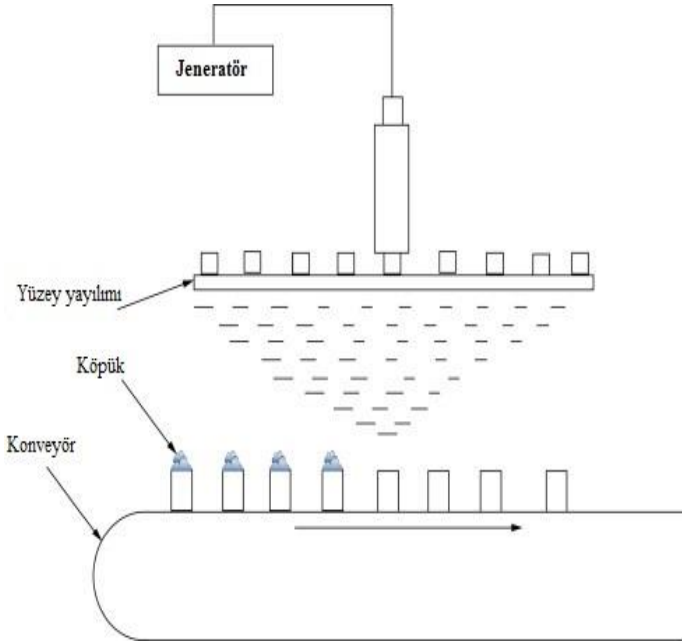
daha verimli, basit, hızlı ve ucuz olduğunu bildirmektedirler. Karadut meyvesinden antioksidan aktiviteye sahip polisakkaritlerin eldesi için de aynı tekniğin uygulandığı başka bir çalışmada diğer yöntemlere göre verimin % 3.13 arttığı belirtilmektedir (Chen ve diğerleri, 2015).

3.8. Ultrasesin Köpükten Arındırma Üzerine Etkisi

Köpük, gazın yoğunluğuna yaklaşan kabarcıklar arasındaki mesafenin çok küçük olduğu sıvı içerisindeki gaz dağılımıdır. Köpükler, gıda üretimi ve kozmetik ürünler dahil bir çok endüstriyel süreçte yer almaktadır. Endüstride yoğun köpüklenme; ürün kayıplarına, ekipman verimliliğinin düşmesine ve aynı zamanda çevre kirliliğine neden olmaktadır. Gıda endüstrisinde köpük gidermek için mekanik kırıcılar veya kimyasal köpük önleyiciler kullanılmaktadır (Morey ve diğerleri, 1999). Son yıllarda ses enerjisinin köpükten arındırma potansiyelinin bilinmesi ile aerodinamik akustik kaynaklara dayanan yöntemler geliştirilmiş fakat bunların

sebeap olduğu dezavantajlar nedeniyle endüstriyel anlamda kullanılamamıştır.

Yüksek yoğunluklu ultrasonik dalgaların kimyasal kirlenmeyi önlemeleri, steril koşullar altında uygulanabilirliği ile köpük kırmada ultrasonun önemi artmıştır. Özellikle gıda ve ilaç endüstrisinde büyük ilgi görmektedir.



Şekil 10. Köpük gidermek için ultrasonik dönüştürücü

Yeni tip ultrasonik jeneratörü temel alan köpük giderici sistem geliştirilmiş ve bu sistem ile karbonlu içeceklerin yüksek hızlı şişeleme-konserve gibi uygulamalarda ortaya çıkan fazla köpüğün kontrol edilmesinde başarıyla uygulandığı tespit edilmiştir (Sarabia ve diğerleri, 2002). Odaklanmış hava kaynaklı ultrasonik yayıcı, elektronik olarak kontrol edilen bir rotasyon sistemine bağlıdır. Ultrasonik dönüştürücünün farklı hızlarda dönmesi sonucundaki hareketi ile kabarcıkların çoğu kırılır. Kusursuz köpük giderici etki için akustik yoğunluk önemli bir kriter olarak karşımıza çıkmaktadır (Laborde ve diğerleri, 1998).

3.9. Ultrasesin Gaz Giderme (Hava Alma) Üzerine Etkisi

Gaz gidermek için kullanılan yaygın yöntemler kaynatma ve basınç düşürme işlemleridir. Ultrasonik gazdan arındırma işlemi, ultrasonik banyo uygulaması gibi içilebilir musluk suyu kullanılarak yapılmaktadır. Akustik dalgalar ve kabarcıkların neden olduğu hızlı titreşimler, yer çekimine meydan okuyarak yüzeye

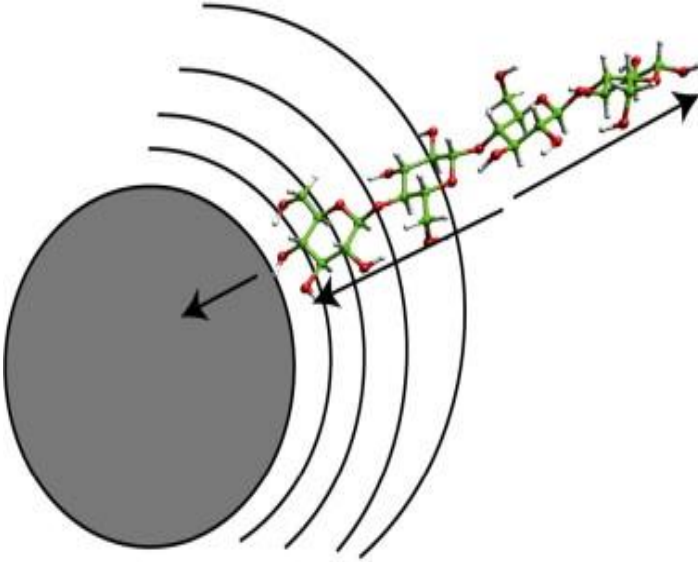
ulaşana kadar büyük bir boyuta ulaştığında meydana gelmektedir (Tervo ve diğerleri, 2006).

Gıda endüstrisinde bu teknik, şişelemeden önce bira gibi gazlı içeceklerin gazdan arındırılması (köpükten arındırma) için kullanılmaktadır (Brown ve Goodman, 1965). Gazlı içeceklerin işlenmesinde ürünün bakteri ve oksijen tarafından organoleptik hasarını önlemek için havanın sıvı yüzeyden uzaklaştırılmasını hedeflemektedir. Sake, bira ve şarabın fermantasyonu sırasında kullanılan düşük yoğunluklu ultrason uygulaması %35-60 oranında süreyi kısaltmaktadır. Ultrason yardımı ile gazdan arındırma işlemi sulu sistemlerde zamanı kısaltırken, eritilmiş çikolata gibi viskozitesi yüksek sıvılarda uygulanması güç bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.10. Ultrasesin Depolimerizasyon Üzerine Etkisi

Ultrasonun en eski uygulamalarından biri polimerlerin parçalanması işlemidir (Schmid ve Rommel, 1939). Depolimerizasyon süreci kavitasyonun etkisi ile gerçekleşmekte ve iki olası mekanizmayı içermektedir.

Bunlar; polimerlerin çökmüş kavite balonunda mekanik olarak parçalanması ve polimerler arasındaki kimyasal reaksiyon sonucunda meydana gelen kimyasal bozunmadır. Buna kavite sonucunda oluşan hidroksil radikalleri örnek olarak gösterilmektedir (Grönroos ve diğerleri, 2004).



Şekil 11. Depolimerizasyon işleminin ultrason kullanılarak gösterimi

Gıda endüstrisinde ultrason yöntemi nişastayı depolimerize etmek için kullanılmaktadır. Sonikasyon genellikle 20 kHz’de basit daldırma problemleri uygulanarak gerçekleştirilmekte ve verimli bir depolimerizasyon sağlamaktadır. Gıda işlemlerinde kullanılan bu yöntem; ultrason gücü, işlem süresi ve diğer parametrelerde gösterdiği olumlu etkilerinin yanında gıda kalitesinde de iyileştirmelere neden olmaktadır (Jambrak ve diğerleri, 2010).

3.11. Ultrasesin Kalıptan Çıkarma / Ekstrüzyon Üzerine Etkisi

Gıda endüstrisinde pişirilen ürünün kalıptan çıkarılmasında, ürünün kalıba yapışması nedeniyle çeşitli zorluklar oluşmaktadır. Bu zorlukları gidermek için kalıpların yüzeyi silikon veya PTFE (politetrafloroetilen) ile kaplanır, fakat bu işlemin sürekli tekrarlanması veya değiştirilmesi gerekmektedir. Bu pahalı geleneksel yöntemlerin yanında uygulanan ultrason uygulaması ile yüzey kaplamalarının ortadan kaldırılması ve kalıptan her türlü malzemenin temizlenmesi gibi avantajlar sağlanmaktadır.

Ultrason teknolojisinin gıda endüstrilerinde kullanılması ile ürün israfı ve bakım maliyetlerini en aza indirmek amaçlanmaktadır (Yildiz ve diğerleri, 2016). Ultrasonik kesim, bir şaft aracılığıyla ultrasonik kaynağa bağlanan bıçak yardımıyla gerçekleşmektedir. Ultrasonik kesme gıda türüne ve durumuna bağlıdır (Yildiz ve diğerleri, 2019). Bu teknoloji en çok kırılgan ve heterojen ürünlerin (kekler, unlu mamuller), yağlı veya yapışkan ürünler (peynir) gibi özel durumlarda kullanılmaktadır (Arnold ve diğerleri, 2009).

3.12. Ultrasesin Sterilizasyon Üzerine Etkisi

Ultrason teknolojisi, etkin yardımcı bir sterilizasyon yöntemidir. Gıda endüstrisinde sıvı gıdaları ve yemeye hazır taze yiyecekleri sterilize etmede başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Taze hasat edilmiş çileklere uygulanan ultrasonik işlem; bakteri, maya ve küf oranını önemli ölçüde azaltırken meyve sertliğini korumuş ve toplam antioksidan aktiviteyi arttırmıştır (Gani ve diğerleri, 2016). Zhang ve diğerleri (2019), yaptıkları bir çalışmada, ultrasonun modifiye atmosfer paketlenme ile kombinasyonunu sağlamış ve bu kombine işlemin

askorbik asit ve klorofil kayıplarını yavaşlattığını gözlemlemiştir. Yapılan bir başka çalışma; perasetik asit ve ultrasonun birlikte uygulandığı yenedünya meyvesinde C vitamini, toplam flavonoid ve toplam fenolik içeriklerinde önemli miktarda artış olduğunu bildirmektedir (Ling ve diğerleri, 2018). 28 gün boyunca depolanan domates üzerine Ultraviyole-C radyasyonu ile kombine edilen ultrason uygulamasının likopen, toplam fenolik içerik ve C vitamini içeriğini sırası ile %90, %30 ve %60 artırdığı gözlemlenmiştir (Esua ve diğerleri, 2019).

Dünya genelinde her yıl yaklaşık 1.3 milyar ton gıdanın kaybedildiği ve bunların % 40'ından fazlasının meyve ve sebzeler olduğu bildirilmektedir (FAO, 2020). Meyve ve sebzeler için depolama yöntemleri temel olarak soğutulmuş depolama, hipobarik depolama, kontrollü atmosfer depolama (CA), modifiye atmosfer, doğal/sentetik koruyucu ajanlar, yenilebilir kaplamalar ve filmler, ultraviyole uygulanmalarıdır. Bunlara ek olarak, yeşil teknoloji kullanımı daha az yapay katkı maddelerine sahip, besin değeri ve kalite açısından yüksek yiyecekler

sunmaktadır (Haroon ve diğerleri, 2019). Pestisit kalıntısı içeren meyve ve sebzelerin tüketilmesi insan sağlığını tehlikeye atmaktadır (Valcke ve diğerleri, 2017). Meyve ve sebzelerin yüzeyinde bulunan toz, mikroorganizmalar çürümelere sebep olmaktadır. Meyve ve sebzelerdeki pestisitlerin ultrason teknolojisi uygulanarak tamamen yok edildiği literatür çalışmalarında mevcuttur (Zhu ve diğerleri, 2019; Lozowicka ve Hrynko, 2016).

Ultrasonikasyon, taze meyve ve sebzelerde hasat öncesi ve sonrası kalite özelliklerini korumak için kullanılmaktadır (Gallego-Juarez ve diğerleri, 2010). Ayrıca gıda endüstrisinde meyve ve sebzelerin yıkanmasında rol oynamaktadırlar (Alexandre ve diğerleri, 2013). Tüketici ihtiyaçlarını karşılamada meyve sularında besin değerini iyileştirmek için ultrasonikasyon teknolojisi etkili olmakta, guava suyunda kalite, besin değeri ve mikrobiyolojik güvenliği koruduğu belirtilmektedir (Cheng ve diğerleri, 2007). Aynı zamanda ultrases, ağartma sırasında meydana gelen besin kayıplarını telafi etmek içinde kullanılabilir (Jabbar ve diğerleri, 2014). Kontaminasyondan

arındırılmış meyve ve sebzeler için ultrasonikasyon temizleyicileri (20-400 kHz) uygulamasının etkili olduğu ve 40 kHz'de çileklerde çürüme ve enfeksiyonun önemli ölçüde azaltıldığı belirtilmiştir (Lin ve Erel, 1992; Cao ve diğerleri, 2010). Ultrases hem hasat öncesi hem de hasat sonrası meyve ve sebzelerin besin kayıplarını azaltmakta pozitif anlamda gelişen bir teknolojidir. Araştırmalar, taze meyve ve sebzelerin sertliğinin yoğunluğa göre değişen ultrason uygulamalarından etkilenebileceğini göstermektedir. Ayrıca bazı fenolperoksidaz ve polifenol oksidaz enzimleri inaktivasyonu sonucunda renk değişimleri ve esmerleşme reaksiyonlarından sorumludurlar. Sonikasyon, serbest radikal oluşumu engeller ve kavitasyona bağlı antimikrobyal etki sağlar (Nicola-Lapena ve diğerleri, 2019).

Meyve ve Sebzeler	Uygulanan Yöntem	Kalite Parametreleri	Etkileri	Kaynak
Domates	Ultrason 45 kHz, 19 dakika	Renk dokusu, toplam fenolik içerik, duyu kalite	Uygulama ile renk gelişimi ve doku kayıplarını geciktirerek toplam fenolik içeriği arttırmaktadır	Pinheiro ve diğerleri, 2015
Kiraz	Ultrason 33 kHz, 60 W, 20-40 dakika	pH, renk, toplam titre edilebilir asitlik	30-40 dakikalık ultrason uygulaması daha iyi renk tutulumu göstermektedir. Saklama boyunca kirazların pH ve toplam asitliğini korumada 30 dakikalık ultrason etkili olmuştur.	Muzaffar ve diğerleri, 2016
Çilek	Ultrason 40 kHz, 350 W, 10 dakika	Sertlik, toplam çözünür madde, C vitamini	Ultrasonik tedavi sertliğin azalmasını önlemekte, daha yüksek çözünür madde ve C vitamini seviyelerini korumaktadır.	Cao ve diğerleri, 2010
Elma	Ultrason + 1-metilsiklopropan 50 kHz, 200 W, 5 dakika; 0,9 µl / L, 20 saat	Sertlik, çözünür katı içeriği (SSC), etilen reseptörleri, gen ekspresyonu	1-metilsiklopropan tedavisi ile birleştirilen ultrason çözünür madde miktarını arttırmakta ve gen ekspresyon seviyesini bastırmaktadır.	Xu ve diğerleri, 2019
Yenidünya	Ultrason + perasetik asit 40 kHz, 400 W; %0,4 (W / W); 6 dk.	Toplam çözünür madde, askorbik asit içeriği, toplam fenolikler, toplam flavonoidler	Perasetik asit ile uygulanan ultrason; toplam fenoliklerin ve toplam flavonoidlerin ve C vitaminin içeriğini arttırmaktadır.	Ling ve diğerleri, 2018

Çizelde 3. Depolama boyunca meyve ve sebzelerin kalitesi üzerinde ultrasonun etkileri

4. AKUSTİK KURUTMA

Yüksek şiddetli ses alanı yardımıyla bir malzemenin suyun uzaklaştırılması uygulamasına ‘Akustik Kurutma’ denir (Kantaş, 2007). Ultrases enerjisi, düşük sıcaklıklarda keskin bir etki sergilemesi nedeniyle ısıya hassas ürünlerin kurutulması için uygundur (Rastogi, 2011). Yüksek şiddetli ultrases dalgaları kurutulacak malzemeye doğrudan etki ettiğinde, bir süngerin sıkıştırılıp serbest bırakılması gibi malzemenin içinde bir dizi sıkıştırma ve genişleme hareketi meydana getirir. Bu mekanizma ile meydana gelen etki, suyu malzemenin içinde tutan yüzey geriliminden daha büyük bir kuvvet oluşturması neticesinde oluşan mikroskobik kanallar yardımıyla suyun uzaklaştırılmasını kolaylaştırmaktadır (De La Fuente ve diğerleri, 2011). Bunlara ilave olarak ultrases enerjisiyle meydana gelen kavitasyonun da suyun uzaklaştırılması olayında etkili olduğu düşünülmektedir (Garcia ve diğerleri, 2007). Ultrases enerjisi tek başına uygulanabildiği gibi sıcak hava, ışınlama, dondurarak kurutma, yüksek basınç, ozmotik kurutma gibi işlemlerle beraber de kullanılabilir.

(Topdaş ve Başlar, 2011). Gıdaların kurutulmasında ultrases enerjisi çoğu zaman farklı kurutma teknikleri ile kombine edilmiştir. Bu teknikler ultrases ile birlikte ya eş zamanlı ya da ön işlem olarak kullanılmıştır (Yıldız ve diğerleri, 2016; Yıldız ve İzli, 2019; İzli ve Yıldız, 2021).

Meyve ve sebzelerde kurutma öncesi uygulanan ön işlemlerin uzun kurutma sürelerini kısalttığı ve düşük ürün kalitesi gibi kurutma sonuçlarının çözümünde etkili olduğu bilinmektedir (Yıldız, 2021). Gıda ürünlerinin kurutulmadan önce bir ön işleme tabi tutulması kurutma süresini büyük ölçüde etkilediğinden son yıllarda önemini arttırmaktadır. Ön işlemlerin uygulanması meyve ve sebzelerde daha gözenekli bir yapı oluşturarak kurutma sırasında kütle transfer oranlarını arttırmaktadır (Ahrne ve diğerleri, 2003). Meyve ve sebzeler kesildiğinde peroksitler ve diğer oksidatif enzimler tarafından gerçekleştirilen enzimatik esmerleşme, ön işlem uygulanmış kurutulan meyve ve sebzelerde kontrol edilebilmektedir. Ön işlemler %40'a kadar kurutma sürelerini kısaltarak enerji tüketimini azaltmakta ve

biyoaktif bileşiklerin tutulmasına katkıda bulunmaktadır (Yıldız ve diğerleri, 2021).

4.1. Ozmotik Kurutma ve Ultrases

Ultrases ve ozmotik kurutma uygulamalarında genellikle ultrasonik banyolar kullanılır ve bu işlem eş zamanlı bir şekilde gerçekleştirilir. Ozmotik dehidrasyon sürecinde hücresel yüzey etkili bir yarı geçirgen membran görevi görmektedir. Su, işlenmiş malzemeden konsantre çözeltiye doğru hareket eder ve çözünenler ters yönde hareket eder (Nahimana ve diğerleri, 2011). Bu durumda ultrason, ozmotik dehidrasyon sırasında suyu uzaklaştırmak için ve şeker kazanımını arttırmak için kullanılmaktadır. Bunun sebebi olarak, malzeminin kılcal damarlarının içinde ultrasonun uygulanmasıyla oluşturulan mikroskobik kanallardan kaynaklandığını ve böylece nemin kolayca uzaklaştırılmasının sağlandığı belirtilmektedir (Fernandes ve diğerleri, 2009). Elma küplerinin ozmotik kurutulması üzerine yapılan bir çalışmada 50 kHz frekansa ve 150 W enerjiye sahip bir ultrases banyosunda gerçekleştirilen ozmotik kurutma uygulaması neticesinde, ultrasesin kütle transferi üzerine

etkili olduğu, su kaybı ve şeker kazanımını arttırdığı, 40°C’de ultrases işlemi olmadan sürekli karıştırma ile sağlanabildiği belirtilmiştir (Simal ve diğerleri, 1998).

4.2. Sıcak Hava ile Kurutma ve Ultrases

Ultrasonik bir banyo veya prob sistemi kurutma işlemi öncesinde ön işlem olarak uygulanabilir veya kurutucunun içine yerleştirilen bir prob ile kurutma anında da gerçekleştirilebilir (Yıldız ve İzli, 2020). Meyve ve sebzelere uygulanan tek başına sıcak havayla kurutma yönteminde gereken nem içeriğine ulaşmak, kurutma süresini uzatmaktadır. Zayıf kütle aktarımından kaynaklanan bu sorun sıcak hava ile kurutulmuş meyve ve sebzelerin kabuklarının sertleşmesine neden olmaktadır. Sıcak hava ile kurutma yönteminden önce uygulanan ultrason işlemi ile su yayılımını önemli ölçüde artırıp kurutma sırasında süreyi kısaltarak maliyetleri düşürmektedir (Oliveira ve diğerleri, 2010). Ön işlem olarak uygulanan ultrason teknolojisi kurutmada kütle transferini, su kaybını ve çözünen madde miktarını önemli ölçüde arttırmaktadır. Kütle transferindeki artış meyve ve sebzelerin kuruma oranının iyileştirilmesinde

etkili olmaktadır. Sıcak hava ile kurutma sırasında ultrasonun mantar, havuç ve elma üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, ultrasonun dehidrasyonu arttırıp kuruma süresini önemli miktarda kısaltabileceği doğrulanmıştır (Riear, 2007).

Fernandes ve Rodrigues (2007), yaptıkları araştırma sonucunda muzun sıcak hava ile kurutulmasında ultrases önışlemini incelemiştirlerdir. 25 kHz frekansa sahip ultrasonik banyo ile 10, 20, 30 dakika sürelerinde 30°C’de ultrases önışlemi uygulanan muzun sonuç olarak 20 dakikalık uygulama sonrasında suyun difüzyonunu arttırdığı ve toplam kurutma süresini %10,3 oranında kısalttığı belirlenmiştir. Ayrıca ultrases uygulaması sonucunda muzların şeker miktarında %21,3 azalma gerçekleşmiştir. Ultrases uygulamasının şeker oranı azaltılmış kurutulmuş ürünler üretmeye imkân sağlayabileceği bildirilmiştir (Fernandes ve diğerleri, 2009).

Yapılan bir başka çalışmada ise kiraz domateslerin ultrason destekli sıcak hava ile kurutulması sonucunda suyun difüzivitesinin %33-39 arttığı ve kurutulmuş

ürünlerdeki karotenoidlerin ultrason kullanılarak korunabileceği belirtilmektedir (Fernandes ve diğerleri, 2015).

Bir başka çalışmada çileğin (0, 30 ,60 W) destekli sıcak hava ile kurutulması (50,60,70°C) sırasında su difüzyon katsayısı ve kütle transferi katsayılarında artış olduğu, bu artışın yükselen kurutma sıcaklıklarında azaldığı, ayrıca ultrases uygulamasıyla farklı kurutma sıcaklıklarında toplam kuruma süresinde %13 ile %44 kısaldığı belirtilmiştir (Izidoro ve diğerleri, 2011).

Patatesin sıcak hava ile kurutulmasında ultrases enerjisinin kurutma kinetiği üzerine etkisinin incelendiği bir diğer çalışmada, patates küplerinin kurutma kinetiğinin ultrases enerji ile istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gösterdiği belirtilmiştir. 21,8 kHz frekansa ve 37 kW/m² güce sahip ultrases enerjisinin, ultrases kullanılmadan kurutulan örneklere kıyasla kuruma süresini %40 oranında azalttığı, su difüzyon katsayısını %64 ve kütle transfer katsayısını da %58 oranında arttırdığı bildirilmiştir (Ozuna ve diğerleri, 2011).

Ultrason ile geliştirilmiş sıcak hava kurutma yöntemi uygulanan elmalarda, toplam flavonoid kaybının % 35.5 olduğu, tek başına uygulanan sıcak hava yöntemiyle kurutulan elmalardaki flavonoid kaybından daha düşük olduğu belirtilmektedir (Rodriguez ve diğerleri, 2014). Ultrason teknolojisinin uygulanması ile kurutma hızının kısaltılabileceği ve ürün kalitesinde iyileştirme sağlanabileceği yapılan araştırmalar doğrultusunda kanıtlanmıştır. Genel olarak, ultrason toplam fenolik ve toplam flavonoid miktarının korunmasında etkili bir yöntemdir.

4.3. Püskürtmeli Kurutma ve Ultrases

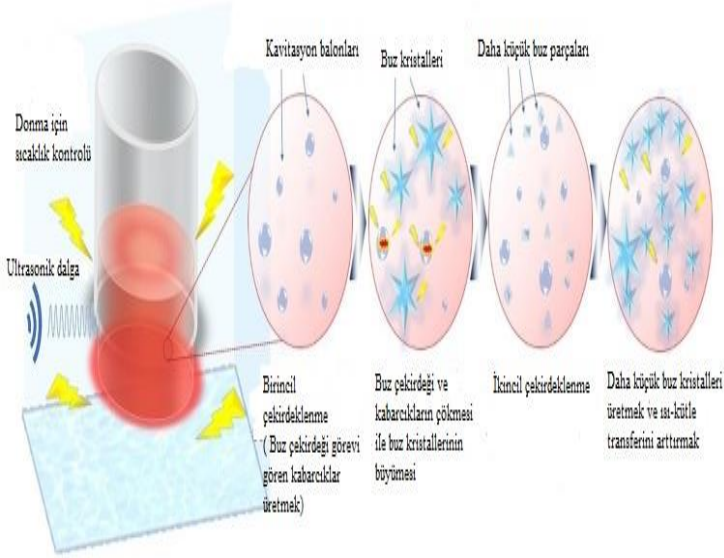
Ultrasesin ön işlem olarak kullanıldığı ham muzdan izole edilmiş nişastanın kurutulmasında nişastanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde ortaya çıkan değişiklikler araştırılmıştır. Ultrases ön işlem olarak bir dakikalık aralıklarla titreşim veren prob ile 20 kHz frekansa sahip 24 W enerjide ultrases 60 dk boyunca uygulanmıştır. Bu işlem takiben, mini sprej kurutucuda kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda ultrases uygulaması ile meydana gelen kavitasyon nedeniyle nişasta

moleküllerinin tekstürünün bozulduğu; suyun difüzyonunun, nişastanın şişme özelliğinin ve su emme kapasitesinin arttığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda söz konusu çalışmada, ultrases dalgalarının meydana getirdiği titreşimlerin nişasta jellerinin eşik kayma gerilimi ve kıvam katsayısını azalttığı da tespit edilmiştir (Izidoro ve diğerleri, 2011).

4.4. Dondurarak Kurutma ve Ultrases

Dondurarak kurutma işlemindeki zorluk, homojen olmayan kristallerin oluşması sonucunda yapının bozulması ve gıdanın duyu kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Ultrasonun ön işlem olarak uygulandığı dondurarak kurutma işleminde ince tek tip buz kristalleri oluşmaktadır (Chemat ve diğerleri, 2011). Ultrasonik basınç darbelerinin oluşturduğu kavitasyon kabarcıkları, kristal büyümesi için çekirdek görevi görmektedir. Ultrasonik dalgalar meyve ve sebze içerisindeki suda çok sayıda çekirdeklenme bölgesi üretmektedir. Ultrasonun neden olduğu çekirdeklenme birincil ve ikincil çekirdeklenme olarak iki aşamadan meydana gelmektedir. Bu çekirdekler kavitasyon

kabarcıklarının çökmesinden kaynaklanan kuvvet ile daha küçük parçalara ayrılmaktadırlar (Xu ve diğerleri, 2009). Ön işlem olarak uygulanan ultrason, donma sırasında ısı transfer katsayısını olumlu yönde etkilemektedir (Zheng ve Sun, 2006).



Şekil 12. Ultrasonik destekli dondurma mekanizması

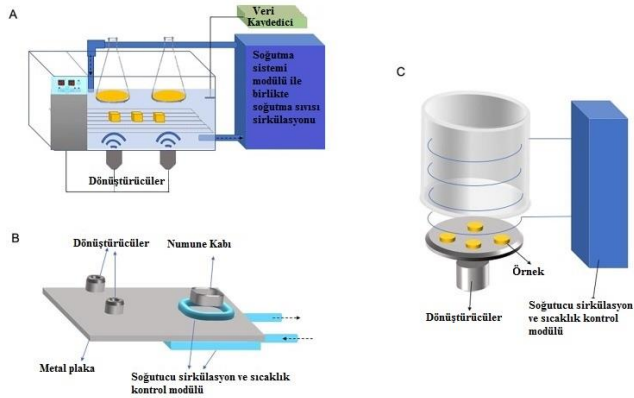
Jambrak ve diğerleri (2007), mantar, brüksel lahanası ve karnabahar örneklerine 20 kHz frekansa sahip prob ve 40 kHz frekansa sahip ultrasonik banyo ile 3 ve 10 dk'lık

süre boyunca ultrases uygulanan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sıcak hava (60°C) ve dondurarak kurutma (-45°C) metoduyla kurutulan örneklerde ultrasonun 40 kHz frekansta 10 dk süreyle ultrasonik banyoda gerçekleştirilen ön işlem hariç tüm örneklerde kuruma hızını arttırdığı, dondurularak kurutulmuş ve düşük frekans (20 kHz) uygulanan ürünlerin rehidre olma özelliklerinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir (Jambark ve diğerleri, 2007).

Garcia ve diğerleri (2014), gerçekleştirdikleri bir çalışmada çileğin renk parametrelerine dondurarak kurutma öncesinde gerçekleştirilen ultrases ön uygulamasının etkisini araştırmışlardır. Çalışma bulguları baz alındığında ultrases ön uygulamasına maruz kalan çileklerin L ve b değerleri daha taze ve ultrases ön işlemini uygulanmayan örneklere kıyasla daha kırmızımsı ve parlak renge sahip oldukları bildirilmiştir (Garcia ve diğerleri, 2014).

Ultrasonik destekli dondurma mekanizması için tam daldırma, yarı daldırma ve daldırma olmayan üç farklı kategoride cihaz tanımlanmaktadır. Genel olarak bu

cihazlar temelde ultrasonik sistem, soğutma döngüsü ile birleştirilmiş soğutma sirkülasyonu, veri kayıt sistemi ile birleştirilmiş sıcaklık algılamadan oluşur. Ultrasonik sistemler, paslanmaz bir banyonun dibine eşit şekilde yerleştirilmiş güç ve frekans çıkışı ile jeneratöre bağlanan bir dizi dönüştürücüden oluşmaktadır. Soğutma sistemi ile birleştirilmiş soğutucu sirkülasyonu ise sıcaklık kontrol bölümünde bulunan serpantin borusu boyunca pompalanmakta ve daha yüksek sıcaklıktaki soğutucu kompresöre bağlı ısı eşanjöründen geçerken soğutulmaktadır.



Şekil 13. Gıda işlemede kullanılan ultrason destekli dondurma cihaz türleri: (A) Tam daldırma, (B) Yarı daldırma ve (C) Daldırma olmayan

Tam daldırma tipi cihazlar sıvı, katı ve yarı katı numuneler için kullanılırken, diğer iki tip cihazın kullanılması nispeten nadirdir. Yarı daldırma tipi cihazlar ultrasonik dönüştürücülere sıkıca bağlanan bir metal plaka ile karakterize edilirken, kap içerisindeki örnekler (temelde sıvı ve yarı katı) plaka ile kap arasında ultrason yayılmasını iyileştirmek amacıyla plaka üzerine yerleştirilmektedir. Daldırma olmayan cihazlar ise numuneler soğukken daldırma olmaksızın ve ultrason destekli dondurma cihazı arasında doğrudan temas sağlar. Bu soğutucunun kirlenmesini önlerken aynı zamanda hava yolu ile yayılmasından kaynaklı ultrasonik enerji kaybına yol açmaktadır.

4.5. Infrared Kurutma ve Ultrases

Son yıllarda üzerinde durulan kızılötesi radyasyon önemli termal etkileri nedeniyle kurutma işlemlerinde talep görmektedir. Bu, kurutma yönteminde malzemenin yüzey ve iç kısmına nüfuz ederek dehidrasyonu hızlandırmaktadır. IR teknolojisi geleneksel kurutma teknolojisine kıyasla kurutma hızı ve kaliteli ürün

eldesinde avantaj sağlamaktadır. Gıda, tıp, plastik ve kağıt endüstrisinde kullanımı oldukça yaygındır.

Patates dilimlerinin temaslı ultrason destekli IR kurutma ile biyoaktif bileşen içeriğinin araştırıldığı bir çalışmada, toplam fenolik bileşiklerin arttığı ve uygulanan ultrasonik gücün artırılması sonucunda orantılı şekilde fenolik bileşik miktarının da olumlu yönde arttığı belirtilmektedir. Fenolik bileşiklerin kolayca oksitlenip bozunması kurutma yöntemleri için sorun teşkil etmektedir. IR teknolojisi ile ultrason uygulanması kurutma süresini kısaltmakta ve fenolik maddelerin bozunmasını azaltmaktadır.

Elma dilimlerinin ultrason ön işlemi ile infrared kurutulmasında kuruma süresinin büyük ölçüde azaldığı belirtilmektedir (Brncic ve diğerleri, 2010).

Armutların infrared kurutulmasında ultrases enerjisinin, kuruma ve yapısal özellikler üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir incelemede ürün, 24 kHz frekansa sahip ultrasonik prob ile 5 dk boyunca %25, %50, %75 ve %100 genlikte ultrasese tabi tutulmuş ve takibinde 70

°C’de infrared kurutma uygulanmıştır. Sonuç olarak ultrases ön uygulamasının, artan genliklerde kuruma periyodunu kavitasyon neticesinde ortaya çıkan değişimlere bağlı olarak azalttığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada yapısal deneyler neticesinde sertliğin ve elastisitenin artan genlikle azaldığı belirlenmiş, uygulanan ultrases ön işleminin yapısal özellikler açısından en iyi sonucu verdiği görülmüştür (Jambark ve diğerleri, 2010).

5. ULTRASES TEKNOLOJİSİNİN BİYOAKTİF BİLEŞENLER ÜZERİNE ETKİSİ

Gıda işlemede kullanılan ultrason uygulamaları gıdalardaki biyoaktif bileşiklerin (fenolik bileşikler, karotenoidler, antosiyaninler, polisakkaritler vb.) yapı ve işlevlerinin korunmasında dikkat çekmektedir. Ultrason uygulaması bir gıda matrisinde bulunan biyoaktif bileşiklerin içeriğini ve aktivitelerini etkilemekte ve bu nedenle gıda prosedürleri sırasında seçilen ultrason koşulları hem organoleptik özelliklerin hem de sağlık yararları nedeniyle biyoaktif bileşenlerin korunması için önemlidir. Kurutma tekniklerinin uzun kuruma süreleri

ve yüksek sıcaklık uygulamaları ile biyoaktif bileşiklerin etkilenmesine sebep olmaktadır. Ultrasonun ön işlem olarak uygulandığı kurutma tekniklerinde doğal aroma, renk ve biyoaktif bileşenler korunmaktadır. Ultrasonun kısalttığı kurutma süreleri sayesinde biyoaktif bileşenlerin korunmasında en etkili yöntem olduğu düşünülmektedir.

Biyoaktif bileşiklerin eldesinden ultrases teknolojisi en çok karoten ekstraksiyonu üzerine çalışılmıştır. Kekikten izoflavon, zeytin atığından ksiloglukan, ahşaptan selüloz nanolif, fıstık çekirdeğinden resveratrol ekstraktesi için ultrason destekli ekstraksiyonun kullanımı yaygındır. Antioksidan ekstraksiyonu için uzun süre ve çok miktarda solvent gerektiren klasik teknikler maserasyon ve Soxhlet ekstrasyonudur (Wang ve Chen, 2006). Klasik yöntem ile 2-20 saatlik sürede kızılçık ve çileklerden elde edilen fenolik bileşikler (naringin, rutin, kuarsetin, kampferol), ultrason destekli ekstraksiyon yöntemiyle 30 saniyelik üç döngüde elde edilmektedir.

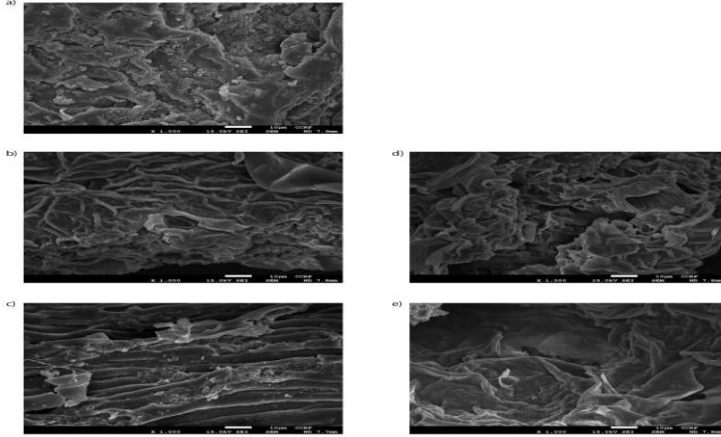
Nar kabuklarından antioksidan ekstraksiyonunun geleneksel yöntem ve ultrason destekli yöntemle

kıyaslandığı bir çalışmada; antioksidan verimi %22 artarken, ekstraksiyon süresi %87 kısalmıştır (Pan ve diğerleri, 2012). Kısaca ultrason kullanımı, enerji tüketimi ve ekstraksiyon süresini azaltırken, ekstraksiyon ve antioksidan aktivitenin verimini arttırmaktadır. Ultrason kullanımının domates yan ürünlerinden karotenoidler için en başarılı teknik olduğu bildirilmektedir (Luengo ve diğerleri, 2014). Karotenoidlerde bozulmalara neden olmayan ultrason kullanımı geleneksel yöntemlere kıyasla % 143'lük verim sağlamaktadır. Farklı bitki materyallerinden elde edilen doğal renklerin özütleme veriminde önemli miktarda iyileştirme (%13-100) görülmektedir (Sivakumar ve diğerleri, 2011). Sarımsaktan uçucu yağ ekstraksiyonu için kullanılan ultrason yönteminin, hidro damıtmaya kıyasla termal duyarlı moleküllerin bozunmasında azalmalar bildirilmektedir (Kimbaris ve diğerleri, 2006).

Protein modifikasyonunda ultrason uygulaması; jelleşme, köpürme, emülsifikasyon ve çözünürlük gibi fiziksel ve fonksiyonel özelliklerini değiştirerek kimyasal

reaksiyonunu geliştirmektedir. Ultrasonikasyonun protein konjugatlarının üretilmesi ve proteinlerin enzimatik olarak hidrolizini iyileştirmede etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır (Chen ve diğerleri, 2011).

Yüksek besin ve tıbbi değerlere sahip *Moringa stenopetala*, biyoaktif bileşiklere ve antioksidan aktivitelerine sahiptir. Ultrason destekli ekstraksiyonun etkisinin incelendiği bir çalışma yapılmış; ultrason destekli ekstraksiyon yöntemi klasik yöntemle göre toplam flavonoid ve fenolik içeriği bakımından daha yüksek bulunmuştur. Ultrason destekli ekstraksiyonda, sürenin uzaması ile numunenin yapısal bileşenlerinin bozulma derecesinde önemli değişiklikler görölmekte ve bu ultrasonik dalga ve titreşimlerin etkilerinden kaynaklanmaktadır. Numunenin hücresel yapısının tahrip edilmesi difüzyon oranını artırırken ve biyoaktif bileşenlerin çözünmesini kolaylaştırırken, biyoaktif bileşenlerin de verimini iyileştirmektedir (Dadi ve diğerleri, 2019).



Şekil 14. *M. stenopetala* yapraklarının morfolojik değişimi: a) ekstraksiyon öncesi numune b) klasik yöntem sonrası görünüm c) 10 dakikalık BAE d) 20 dakikalık BAE e) 30 dakikalık BAE (Dadi ve diğerleri, 2019)

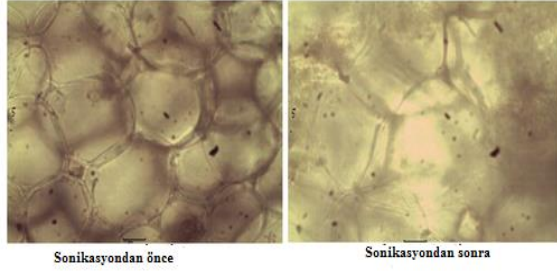
M. stenopetala yapraklarının biyoaktif bileşenleri, ultrason destekli ve klasik yöntem ekstraksiyonu ile karşılaştırıldığında yapısal değişikliklerin fazla olmadığı, ultrasonikatörün etkisinin süre ile orantılı çözücünün yayılımını artırarak biyoaktif bileşiklerin salınmasına neden olduğu bildirilmektedir. Gıda ve ilaç endüstrilerinde yüksek antioksidan aktiviteye sahip toplam fenolik ve toplam flavonoid içeriğini elde etmek için en iyi yöntem, ultrason destekli ekstraksiyon yöntemi olmuştur. 40 °C’de ve 20 dakika uygulanan

zaman ve sıcaklık kombinasyonunun biyoaktif bileşikleri ekstrakte etmede verimli kombinasyon olduğu belirtilmektedir (Dadi ve diğerleri, 2019).

Epigallokateşin gallat (EGCG), epigallokateşin (EGC), epikateşin galat (EKG) ve epikateşin (EC) gibi kateşinler önemli sağlık yararları gösteren biyoaktif bileşenlerdir. Yeşil çayda (*Camellia sinensis*) bulunan kateşin ultrason destekli ekstraksiyon ile kolay ve hızlı bir şekilde çıkarılmaktadır. Ultrason destekli ekstraksiyon ile çözücü olarak su kullanılması sonucunda besin takviyeleri ve ilaç kullanımı için yüksek kaliteli, solvent içermeyen biyoaktif bileşikler elde edilmektedir.

Sarımsakta bulunan allisin biyoaktif bileşeni; antibakteriyel, antiviral, antifungal, antikanser ve hipoglisemik olmasının yanında kardiyovasküler ve bağışıklık sisteminde olumlu etkiler sağlamaktadır. Ultrason teknolojisi ile sarımsakta bulunan organosülfür bileşikleri elde etmek için güvenilir ve verimli bir tekniktir. Ultrason uygulanarak sarımsaktaki biyoaktif bileşenlerin elde edilmesinde çözücü olarak su kullanılmaktadır. Bu ultrason tekniğinin maliyetini

düşürmekte ve çevre dostu bir teknoloji haline getirmektedir. Yapılan bir çalışmada 200 W ve 5 dakika uygulanan ultrasonun sarımsaktaki biyoaktif bileşenlerin özütlenmesinde en basit ve güvenilir yöntem olduğu belirtilmektedir.



Şekil 15. Sonikasyondan önce ve sonra sarımsak dişinin enine kesiti (Bose ve diğerleri, 2014)

Bose ve diğerleri (2014), sarımsaktaki allisin biyoaktif bileşiğinin çıkarılması için geleneksel maserasyon, mikrodalga ve ultrasonik prob yöntemlerini karşılaştırmışlar ve allisin için en yüksek verim elde edilen yöntemin ultrasonik prob olduğunu kanıtlamışlardır.

Çin'in güneyinde yetişen liçi (*Litchi chinensis*) meyvesinden elde edilen biyoaktif bileşiklerin

araştırıldığı bir çalışmada, geleneksel ekstraksiyon ve ultrason destekli ekstraksiyon yöntemleri karşılaştırılmıştır. Toplam antioksidan aktivite sonuçlarına göre, ultrason destekli ekstraksiyon (139.7 $\mu\text{mol TE/g}$) geleneksel ekstraksiyon (108.39 $\mu\text{mol TE/g}$) yöntemine kıyasla %28.9 oranında yükseliş göstermiştir (Zhang ve diğerleri, 2017).

5.1. Ultrases Teknolojisinin C Vitamini Üzerine Etkisi

Oksidatif strese karşı koruyucu etkisi ile bilenen askorbik asit, bitki ve hayvan metabolizmaları için gerekli antioksidan bir biyoaktif bileşiktir. Gıda işleme sırasında pH, sıcaklık, ışık ve enzimler gibi birçok değişkene bağlı olarak C vitamininde bozulmalar görülmektedir (Yildiz, 2019; Yıldiz ve Feng, 2019; Yıldiz ve Aadil, 2020). Kalp-damar hastalıkları, bağışıklık sistemi gibi birçok sağlığa olumlu etkisinin yanında kurutma işlemi de dahil olmak üzere birçok işlemde kalite göstergesi olarak C vitamini baz alınmaktadır (Santos ve Silva, 2008).

Ultrases uygulanan çilek suyunda askorbik asit içeriğinin %12,8 arttığı, 15 ve 30 dakikalık uygulanan ultrasesin

biyoaktif bileşen içeriğinde olumlu etkiler gösterdiği, meydana gelen arışın ise çözülmüş oksijenin kaviteasyon sonucu uzaklaştırılması ile ilgili olabileceği yapılan çalışmalar sonucunda bildirilmiştir (Bath ve Goh, 2017). Dut suyunda uygulanan ultrases (40 kHz, 265 W, 60 dak., 60°C) işlemi sonrası askorbik asit %80,3 artış göstermiş ve bu durum çözülmüş oksijenin ortamdan uzaklaştırılması ile açıklanmıştır (Nguyen ve Nguyen, 2018).

Saad ve diğerleri (2013), elma suyunda ultrases (20 kHz, 1500 W, 10 dak., 20°C) uygulaması sonucu askorbik asit miktarının %4,1 oranında azalış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Aynı araştırmacılar daha yüksek sıcaklıklarda uygulanan ultrases sonucunda askorbik asit içeriğinin arttığını belirtmektedirler. Genellikle askorbik asit kayıpları serbest radikallerin askorbik asit parçalanmasına neden olduğu ve oksidasyon reaksiyonları ile açıklanmaktadır.

Szadzinska ve diğerleri (2017), yaptıkları bir çalışmada yeşil biberlerin ultrason uygulanarak konvektif kurutulması sonucunda, tek başına uygulanan konvektif

kurutmaya kıyasla C vitamininin yaklaşık %70 kadarını koruduğunu belirtmektedirler.

5.2. Ultrases Teknolojisinin Antosiyaninler Üzerine Etkisi

Ultrasesin antosiyanin içeriği üzerindeki etkisinin az olmasının oksijenin meyve suyundan uzaklaştırılması ile ilgili olduğu bildirilmektedir (Knorr ve diğerleri, 2004). Oksijen varlığı antosiyanin parçalanmasında etkili olmakta ve sebzelerde bulunan glikozidaz, polifenoloksidaz ve peroksidazlar gibi bazı oksidasyona neden olan enzimlerin aktivitesini etkileyebilmektedir (Moses ve diğerleri, 2017).

Sıvı sistemlere uygulanan ultrases, mikro boyutta akış, kabarcık patlaması sonucunda yüksek basınç ve sıcaklık koşullarında kütle transferini arttırmaya yardımcı şok dalgaları ve serbest radikal oluşumu meydana gelebilmektedir. Bu etkiler sonucunda da antosiyaninler gibi biyoaktif bileşikler parçalanmaya uğramaktadırlar. Kavitasyon ile meydana gelen OH^- ve H_2O_2 radikalleri antosiyaninlerin yapısındaki halkanın açılmasına ve kalkan oluşumuna neden olması buna örnek olarak

gösterilebilir (Chitgar ve diğerleri, 2017). Termosonikasyon uygulanan dut suyunun ısıl işlem ile kıyaslandığı bir çalışma sonucunda ultrases uygulamasının toplam antosiyanin içeriğinde %156,9 oranında artışa sebep olduğu belirtilmektedir (Nguyen ve Nguyen, 2018).

İncirde (*ficus caria*) bulunan antosiyaninlerin geri kazandırılması için ısı, ultrason ve mikrodalga yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada ultrason teknolojisinin siyanidin-3-rutinosid 3.82 mg/g ile en etkili teknoloji olduğu belirtilmektedir (Backes ve diğerleri, 2018).

100 W-40 dakika uygulanan ultrases teknolojisinin siyanidin-3-O-glukozit üzerindeki sono-kimyasal etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, siyanidin-3-O-glukozid den metilpiranosiyaniidin-3-O-glukozit oluşumunun bir simülasyon sisteminde hızlandırıldığını ve verimin %32,5 oranında arttığını belirtilmektedir (Sun ve diğerleri, 2019).

5.3. Ultrases Teknolojisinin Flavonoidler Üzerine Etkisi

Flavonoid içeriğinde meydana gelen değişimler; oksidasyon, polimerizasyon ve dekompozisyon reaksiyonları ile açıklanmaktadır. Flavonoid miktarındaki artış kavitasyon sırasında oluşan kabarcık sayısının sıcak ile ilişkisine ve sıcaklıkta hücre parçalanmasına bağlıdır. Fakat ultrases gücüne bağlı olarak fenolik maddelerin oksidasyonu meydana gelmekte ve antioksidan kapasitesine katkıları azalabilmektedir (Kovacevis ve diğerleri, 2019).

Anda ve diğerleri (2019), vurgulu ultrases işleminde artan uygulama süresinin, kavitasyonun hücre duvarı üzerine etkilerini, hücrelerin parçalanmasını ve ardından fenolik bileşenler ile flavonoidlerin meyve suyuna geçişini pekiştirdiğini bildirmektedirler.

Demir ve Kılınç (2018), bal kabağı suyunda flavonoidlerde %45 artış gözlemlenmiş ve termosonikasyon uygulanan örneklerde sıcaklığın artışı ile toplam flavonoid miktarının azaldığını belirtmektedirler.

Aadil ve diğerleri (2018), ultrases uygulanan greyfurt suyunda flavonoidlerde %9.41 ve flavonollerde ise %34.7 artış olduğunu bildirmektedirler. Ultrases uygulanan portakal suları ve erik nektarlarında da flavonoid içeriğinde artış olduğu gözlemlenmektedir (İrkilmez ve diğerleri, 2017).

Başka bir çalışma, narenciyede yaygın olarak bulunan 14 flavonoid (eriocitrin, narirutin, neohesperidin, kuersitrin, eriodictyol, didymin, naringenin, luteolin, sinensetin, nobiletin, tangeretin, naringin, hesperidin ve kuarsetin), ultrasonikasyona tabi tutulmuştur. Yapılan araştırma sonucunda ilk on üç flavonoidin nispeten stabil olduğu belirtilmekte fakat kuarsetinin %80 etanol sulu çözeltide ultrasonikasyon işlemiyle önemli derecede bozunduğu belirtilmektedir (Qiao ve diğerleri, 2014).

5.4. Ultrases Teknolojisinin Karotenoidler Üzerine Etkisi

Karotenoidler, antioksidan olmalarının yanında göz ve kemik sağlığı, bağışıklık fonksiyonlarının düzenlenmesi, obezite, kardiyovasküler hastalıklar, kanserlere karşı önemli rol oynamaktadırlar (Eggersdorfer ve Wyss,

2018). Karotenoidler içerisinde en yaygın bulunan β -karotendir. Bitkilerde bulunan karotenoid çeşidi ve miktarı genotip, olgunlaşma periyodu, iklim koşulları, işleme koşulları gibi hasat öncesi faktörlere bağlıdır.

Aynı zamanda yapılan araştırmalar meyve kabuklarında meyve etine kıyasla daha yüksek oranda karotenoid içerdiğini belirtmektedir (Langi ve diğerleri, 2018). Uygulanan ultrases işlemi, bitkilerde ve bitki bazlı gıdalarda hücre duvarlarının parçalanması sonucunda karotenoidlerin serbest kalmasına ve karotenoid-protein bağlarının kopmasına imkân sağlayarak karotenoidlerin ekstrakte edilebilirliğini kolaylaştırmaktadır (Buniowska ve diğerleri, 2017).

Termosonikasyon uygulanan greyfurt ve portakal sularının karotenoid içeriğinin arttığı belirtilmektedir (Aadil ve diğerleri, 2015). Toplam karotenoid içeriğinde 1, 10, 20 ve 30 dakika süre ile uygulanan ultrases işlemi sonucunda artış görüldüğü ve en yüksek karotenoid içeriğine 10 dakika boyunca 43° C'de gerçekleştirilen ultrases uygulaması ile ulaşıldığı bildirilmektedir (Guerrouj ve diğerleri, 2016).

Yıldız meyve suyunda uygulanan ultrases sıcaklığı 35 °C'ye kadar arttırıldığında karotenoid içeriğinde artışlar meydana gelirken, ultrases sıcaklığı 45 °C ve daha yüksek sıcaklıklara ulaştığında karotenoid içeriğinde % 32 azalma görülmektedir. Karotenoid içeriği ultrases uygulama süresinin artışıyla önemli olmayan düzeyde artış göstermektedir (Nayak ve diğerleri, 2018).

Yapılan bir çalışmada nar suyunda ultrases uygulanması sonucu β -karoten içeriğinde %17,7 artış görülürken uygulanan ultrases işleminin nar suyunun kimyasal özellikleri ve görünümü üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmadığı belirtilmektedir (Alighourchi ve diğerleri, 2013).

Jabbar ve diğerleri (2015) havuç suyuna uygulanan termosonikasyonun, likopen ve lutein miktarında artış sağladığını, en yüksek karotenoid, lutein ve likopen miktarının 60 °C ve 10 dakika süre ile uygulanan ultrases koşulları ile sağlandığı görülmektedir.

Halofilik yeşil mikro yosun türü olan ve yüksek miktarda karotenoid oluşturması nedeniyle antioksidan aktivitesi

ile tanınan, kozmetik ve besin takviyelerinde kullanılan *Dunaliella Salina*'dan ultrason destekli klorofil ve karotenoid ekstraksiyonunun incelendiği bir çalışmada, ultrason destekli ekstraksiyon (UAE) yöntemi uygulanmıştır. Ultrason destekli ekstraksiyon yönteminde çözücü olarak dimetil formamid (DMF) ve etanol kullanılmıştır. Ultrason ekstraksiyonunda DMF'nin etanole kıyasla karotenoid ve klorofil verimi daha yüksek bulunurken, DMF'nin mikroalglerin penetrasyonunu kolaylaştırdığı, böylelikle hammaddeden pigmentlerin daha fazla kazanımını sağladığı sonucuna varılmıştır. Karotenoid-klorofil oranı kıyaslandığında ise DMF ile ekstraksiyonun metanole kıyasla daha az seçici olduğu, sıcaklık ve basıncın %95 önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Mac as-Sanchez ve diğerleri, 2009).

Turunçgil kabuklarından karotenin ekstraksiyon veriminin, çözücünün, madde/çözücü oranının, materyal partikül büyüklüğünün, sıcaklığın, sürenin, akustik yoğunluğun, sıvı yüksekliği gibi faktörlerin etkisinin incelendiği bir çalışmada, partikül büyüklüğü azaldıkça ekstraksiyon veriminin arttığı, ultrason ile ekstraksiyonda

en yüksek etanolün bulunduğu, sıcaklık arttıkça verimde artışlar meydana geldiği belirtilmektedir (Sun ve diğerleri, 2011).

Mavi yeşil alg olarak bilinen *Spirulina platensis* ile karoten ekstraksiyonu için ultrases destekli yöntemin uygulandığı bir başka çalışmada, ultrason işleminden önce metanol ile 2 dakika uygulanan ön işlemin karoten ekstraksiyon verimini belirgin bir şekilde artırdığı tespit edilmiştir (Dey ve Rathod, 2013).

5.4.1. Ultrases Teknolojisinin Likopen Üzerine Etkisi

Tüm karotenoidler arasında likopen en bol bulunan biyoaktif bileşendir. Yüksek sıcaklık, ışık ve oksijen gibi işleme koşulları likopen üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Isıl işlem domates dokusunu parçalar, maruz kalınan oksijen ve ışık likopenin yok olmasına neden olmaktadır. Meyve ve sebzelerdeki likopenin bozunması hem ürün rengini hem de besin değerlerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Domateslerden likopen ekstraksiyonu üzerine yapılan çalışmada, ultrases ve mikrodalga destekli ekstraksiyon ile ultrases destekli ekstraksiyon kıyaslanmıştır. Likopen verimi bakımından ultrases mikrodalga destekli ekstraksiyon, tek başına ultrases destekli ekstraksiyona nazaran daha etkili bulunmuştur (Lianfu ve Zelong, 2008).

Salça üretimi esnasında meydana gelen domates atıklarından likopen eldesinde geleneksel çözgen ekstraksiyonu ve ultrason destekli ekstraksiyon yönteminin uygulandığı bir çalışmada sıcaklığın, işlem süresinin ve ultrason gücünün ekstraksiyon verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Likopen ekstraksiyonunda ultrases yönteminin gerek süre gerekse de sıcaklık bakımından geleneksel yöntemle nazaran çok daha avantajlı olduğu belirtilmiştir (Kumcuoğlu ve diğerleri, 2011).

5.4.2. Ultrases Teknolojisinin Lutein Üzerine Etkisi

Karotenoidler arasında luteinin, retinayı UV ışınlarından ve buna bağlı olan hasarlardan koruyan bir bileşen olduğu bilinmektedir (Mamatha ve diğerleri, 2012). Kadife çiçeğine renk veren lutein esterlerinin ekstraksiyonunda süperkritik akışkan ekstraksiyonunun ultrason ile desteklendiği bir çalışmada, süperkritik akışkan ekstraksiyonu işleminin ultrasonla desteklenmesinde katı fazda kütle transferinde artış ve bu yöntemle lutein esterlerinin ekstraksiyonunun daha düşük sıcaklık ve basınçta süperkritik akışkan ekstraksiyon yöntemine göre daha hızlı olduğu saptanmıştır (Gao ve diğerleri, 2009).

Mısırda bulunan karoten, lutein ve zeaksantin, ultrases destekli ekstraksiyonu üzerine yapılan bir çalışmada, ultrases destekli ekstraksiyonda yarım saat sonrasında meydana gelen karoten ekstraksiyonu, çözücü kullanılarak magnetik karıştırıcıda meydana gelen ekstraksiyon metodundaki en yüksek konsantrasyondan daha yüksek bulunmuştur. Ultrasesin hem ekstraksiyon

hızını hem de konsantrasyonunu arttırdığı saptanmıştır (Ye ve diğerleri, 2011).

5.5. Ultrases Teknolojisinin Fenolik Bileşikler Üzerine Etkisi

Fenolik asitler; antioksidan, antibakteriyel, antiviral, antikarsinojenik, antiinflamatuvar ve vazodilatör etki gösterdiklerinden oldukça ilgi gören biyoaktif bileşenlerdendir. Yapılan bir çalışmada, kurutulmuş elmalardaki toplam fenolik bileşenlerin miktarının taze elmalara kıyasla daha yüksek (5.47 mg/g) olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışma, ön işlem süresinin uzatılması ile toplam fenol miktarının (3.38 mg/g) düştüğüne de belirtmektedir (Opalic ve diğerleri, 2009). Ultrasonun ön işlem olarak uygulandığı sıcak hava ile kurutulmuş havuçlarda ağartma ön işlemine göre karotenoidlerin daha yüksek miktarda olduğu bildirilmektedir. Dondurarak kurutma işleminde uygulanan ultrason ön işlemi havuçlarda bulunabilen en yüksek karotenoid miktarı ile sonuçlanmaktadır (Rawson ve diğerleri, 2011).

Ultrases teknolojisinin uygulanması ile fenolik bileşiklerdeki artışın nedeni kavitasyon basıncının uygulanması ile hücre duvarlarını parçalayarak bulunan fenolik bileşikleri sınırlı biçimde serbest bırakması ile açıklanmaktadır (Chen ve diğerleri, 2013).

Fenolik bileşikler, meyve sularında antioksidan aktiviteye katkıda bulunan ana maddelerden biridir. Birçok bitki türünde toplam fenolik içerik ile antioksidan aktivite arasında pozitif bir ilişki olduğu belirtilmektedir (Duh ve diğerleri, 2004 ; Jayaprakasha, ve diğerleri, 2008). Bu nedenle, antioksidan aktivitesindeki artış veya azalma, meyve sularındaki fenolik bileşiklerin kaybı veya kazanımı ile doğru orantılıdır. Geleneksel pastörizasyon işlemi, fonksiyonel içecekteki organik asit konsantrasyonunda önemli bir düşüş olduğunu gösterirken, ultrason işleme tekniği, içecekteki organik asit konsantrasyonunu artırmada olumlu etkilere sahiptir. Ultrason işleminden sonra organik asit konsantrasyonundaki artışın, kavitasyon basıncına bağlı olarak hapsolmuş oksijenin

uzaklaştırılmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Cheng ve diğerleri, 2007).

Şeftali suyu üzerine yapılan bir çalışmada toplam fenolik içeriği TPC ($600.61 \pm 0.0002 \mu\text{g GAE} / 100 \text{ ml}$) ve toplam flavonoid içeriği TFC ($177 \pm 0.0004 \mu\text{g CE} / 100 \text{ ml}$) ile en iyi işleme koşulu 90 dakika süre ile uygulanan ultrases teknolojisi olmuştur.

Qiao ve diğerleri (2013), yedi serbest fenolik asitin ultrasonik ışınlamaya maruz bırakarak protokatekuik asit, *p*-hidroksibenzoik asit, vanillik asit, *p*-kumarik asit ve ferulik asitin stabil olduğunu sadece kafeik ve sinapik asitin ultrases teknolojisi ile parçalandığını belirtmektedirler. Ayrıca daha düşük sıcaklıkların bozunmaya yardımcı olduğunu, bununla birlikte ayrışma ve polimerizasyon reaksiyonlarının aynı anda gerçekleştiğini, böylece dekarboksilasyon ürünleri ve dimerlerin oluştuğunu bildirmektedirler (Qiao ve diğerleri, 2013).

Düz tarama frekansı ve darbeleri ultrason (FSFP) altında kafeik ve sinapik asitlerin benzer bozunması bir başka

çalışma ile gözlemlenmiş ve FSFP ultrasonunun sinapik asit üzerinde kafeik asite göre daha güçlü bir sonokimyasal etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bir model şarap sisteminde, kateşinden oksitlenmiş bir kateşin dimeri olan ksantilyum katyon üretiminin, aralıklı uzun süreli ultrases teknolojisi ile bir dereceye kadar hızlandırıldığı da kanıtlanmıştır (Fu ve diğerleri, 2018).

Ihlamurdan (*tilia cordata*) fenolik bileşiklerin elde edilmesinde ise uygulanan yöntemler arasında ultrason destekli ekstraksiyon işleminin en yüksek TPC'yi verdiği kanıtlanmıştır (Cittan ve diğerleri, 2018).

Ultrason teknolojisinin uygulandığı taze kırmızı biber ve yeşil biberin sırasıyla toplam fenolik içeriklerinde (76.76 ± 0.38 ve $43.56 \pm 0,92$ mg / 100 g) artışlar görülmektedir. Sonikasyonun domateslerden likopen gibi değerli bileşiklerin ekstraksiyon verimini artırmada yararlı bir teknik olduğu öne sürülmüştür (Eh ve Teoh, 2012). Benzer çalışmalarda marul özlerinin ultrason teknolojisinin uygulanmasıyla TPC'si 1 ve 2 dakikalık işlemde sonra %33,3 ve %26,7 arttığı görülmektedir (Yu ve diğerleri, 2016). Greyfurt sularına uygulanan (28

kHz, 90dakika) ve mor armuta uygulanan sonikasyondan sonrada TPC'nin arttığı bildirilmektedir (Zafra-Rojas ve diğerleri, 2013). Genel olarak, sonuçlar ultrason uygulamasının, marul, yeşil biber, kırmızı biber ve kabaktan polifenolik bileşiklerin ekstraksiyonunu destekleyebileceğini ve bu bileşiklerin in vitro ölçülen antioksidan kapasitelerine büyük ölçüde katkıda bulunduğunu göstermektedir.

Ultrason destekli vakum kurutma yönteminin uygulandığı kırmızı biberlerin (*Capsium annuum*) besin içeriklerinin araştırıldığı bir çalışmada, uygulanan ultrason sıcaklığının TPC'yi etkilediği ve daha düşük sıcaklıklarda uygulanan ultrason işleminin biyoaktif bileşikleri tutmada başarılı olabileceği belirtilmektedir (Tekin ve Başlar, 2018).

Benzer şekilde, ultrasonun (28 kHz, 60 W, 15 dak) laktik asitle fermente edilmiş dut suyunun fenolik ve antioksidan özelliklerinde önemli bir artışa neden olduğu gözlenmiştir. Benzer şekilde, ultrason uygulamasının (28 kHz, 60 W, 15 dak) laktik asitle fermente edilmiş dut suyunun fenolik ve antioksidan özelliklerinde de önemli

bir artışa neden olduğu gözlenmiştir (Kwaw ve diğerleri, 2018).

Ultrasonik güç ile birlikte kurutulan muz dilimlerindeki biyoaktif bileşenlerin araştırıldığı bir çalışmada, toplam fenolik içeriğin %113,7 oranında arttığı bildirilmektedir (Dehsheikh ve Dinani, 2019). Bazı araştırmalar sıcak hava ile kurutulmuş ve dondurularak kurutulmuş soğan, konvektif kurutulmuş bamya içinde toplam fenolik içeriğini arttırdığını doğrulamaktadır (Ren ve diğerleri, 2018; Wang ve diğerleri, 2019).

Rhododendron aganniphum'un yapraklarından ekstrakte edilen polisakkaritlerin, ultrases teknolojisine maruz kaldığında hidroksil, süperoksit ve 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) radikalleri için kontrol grubuna göre daha yüksek radikal temizleme aktivitesine sahip olduğu bulunmuştur (Guo ve diğerleri, 2017). *Carex meyeriana* kaynaklı polisakkaritler, araştırılmış ve DPPH ve ABTS radikal süpürme aktivitesi ile değerlendirilen daha yüksek antioksidasyon aktivitelerinin ultrases teknolojisinden sonra elde edildiği kanıtlanmıştır (Hu ve diğerleri, 2018).

Yüksek yoğunluklu ultrason teknolojisi uygulanarak *araticum peel* meyvesinin ekstraktlarının araştırıldığı bir çalışmada flavonoidlerden; vicenin, luteolin, viteksin, kateşin, epikateşin, rutin, naringenin bulunurken, fenolik asitlerden klorojenik asit, kafeik asit, kumarik asit, protokatekuik asit ve vanilin bulunmaktadır. Bu çalışmada *araticum peel* ekstraktından 5 organik asit, 33 fenolik asit, 73 flavonoid ve diğer biyoaktif bileşiklerle toplamda 142 fitokimyasal tespit edilmiştir. Biyoaktif bileşiklerin ekstrakte edilmesinde yoğunluklu ultrason teknolojisi 160-640 W, 0.5-5 dakika süre ile uygulanmış ve ultrasonikasyon işleminin yüksek fenolik verim ve yüksek antioksidan aktivite değerlerine ulaşmada başarılı olduğu belirtilmiştir (Arruda ve diğerleri, 2019).

Atık kahve tanelerinden biyoaktif bileşiklerin elde edilmesinde ultrason destekli ekstraksiyonun kullanıldığı bir çalışmada (244 W ultrasonik güç, 40°C, 40dakika); toplam fenolik içerik, toplam flavonoid içerik, klorojenik asit ve protekatekuik asit miktarında artışlar olduğu bildirilmektedir (Dhabi ve diğerleri, 2017).

Mehmood ve diğeri (2019) yaptığı bir çalışmada mavi kelebek sarmaşığında (*Clitoria ternatea*) biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonunda ultrases teknolojisinden faydalanmışlar ve uygulanan ultrases tekniği (20kHz, 240 W, 50°C) geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek biyoaktif bileşik verimliliği sağlarken antioksidan aktivitesinde de artış göstermiştir.

6. SONUÇ

Günümüzde biyoaktif bileşenler sağlığa olumlu etkileri nedeniyle talep görmekte ve yapılan araştırmalar biyoaktif bileşenlerin antioksidan, antiinflamatuvar, antikarsinojen, antiviral, antifungal etkileri ve bağışıklık sistemi, kardiyovasküler hastalıklar, cilt hastalıkları, obezite, iskemik hastalıklar üzerine olumlu etkileri olduğunu göstermektedir.

Gıda endüstrisinde özellikle ısısız işlemlere alternatif olarak ortaya çıkan ultrases teknolojisi, gıdalarda mikrobiyolojik aktiviteyi önlemek ve gıda kalitesini arttırmanın yanı sıra fiziksel, besinsel ve organoleptik özelliklerinin de korunması amacıyla kullanılmaktadır.

Yapılan birçok çalışmanın sonucunda sağlığımız için oldukça önemli olan biyoaktif bileşenlerin korunmasında ultrases teknolojisi oldukça avantaj sağlamaktadır. Hem ultrases teknolojisi hem de ultrasesin diğer tekniklerle kombinasyonu biyoaktif bileşenlerin içerik ve miktarlarında olumlu etkiler göstermektedir. Ultrases teknolojisi; gıda kurutma işlemleri, sterilizasyon, filtrasyon, emülsifikasyon, köpükten arındırma gibi birçok alanda başarı ile kullanılmaktadır. Sürdürülebilir ultrases teknolojisinin kullanımının artması ile başta gıdalar olmak üzere biyoaktif bileşenler, insan sağlığı ve çevrenin korunmasında olumlu etkiler sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- Aadil, R.M., Zeng, X.A., Han, Z. ve Sun, D.W. (2013). Ultrason tedavileri greyfurt suyunun kalitesi üzerine etkiler. *Gıda Kimyası*, 141 (3), 3201 – 3206.
- Aadil, R.M., Zeng, X.A., Han, Z., Sahar, A., Khalil, A.A., Rahman, U.U., Khan, M., ve Mehmood, T. (2018). Combined effects of pulsed electric field and ultrasound on bioactive compounds and microbial quality of grapefruit juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2),13507.
- Aadil, R.M., Zeng, X.A., Zhang, Z.H., Wang, M.S., Han, Z., Jing, H., ve Jabbar, S. (2015). Thermosonication: A potential technique that influences the quality of grepefruit juice. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(5), 1275-1282.
- Ahrné, L., Prothon, F., ve Funebo, T. (2003). Elma ve patatesin mikrodalga destekli dehidrasyonundan önce iki kalsiyum ön işleminin kurutma kinetiği ve doku etkilerinin karşılaştırılması. *Uluslararası Gıda Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, 38, 411–420.
- Al-Dhabi, N.A., Ponmurugan, K., Maran Jeganathan, P. (2017). Atık kahve telvesinden fenolik bileşiklerin ultrason destekli katı-sıvı ekstraksiyonunun geliştirilmesi ve doğrulanması. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 206–213.

Alexandre, E.M.C., Brandao, T.R.S., ve Silva, CL.M. (2013). Termal olmayan teknolojilerin ve dezenfektan çözümlerinin mikrobiyal yük azaltma ve donmuş kırmızı dolmalık biberlerin kalite faktörü tutulması üzerindeki etkisi. *Yenilikçi Gıda Bilimi ve Gelişen Teknolojiler*, 17, 199 – 205

Allighourchi, H.R., Barzegar, M., Sahar, M.A., ve Abbasi, S. (2013). Effect of sonication on anthocyanins, total phenolic content and antioxidant capacity of pomegranate juices. *International Food Research Journal*, 20(4).

AlonsoSalces, R.M., Korta, E., Barranco, A., Berrueta, L. A., Gallo, B. Ve Vicente, F. (2001). Elmada polifenollerin tayini için basınçlı sıvı ekstraksiyonu. *Journal of Chromatography A*, 933 (1–2), 37- 43.

Anda, R.D.D., Ventura-Lara, M.G., Rodriguez-Hernandez, G., ve Ozuna, C. (2019). The impact of power ultrasound application on physicochemical, antioxidant, and microbiological properties of fresh orange and celery juice blend. *Journal of Food Measurement Characterization*, 1-9.

Arnold, G., Leiteritz, L., Zahn, S., ve Rohm, H. (2009). Peynirin ultrasonik kesimi: bileşim, kesim işinin azalmasını ve enerji talebini etkiler. *International Dairy Journal*, 19, 314–320.

Arruda, H.S., Silva, E.K., Pereira, G.A., Angolini, C.F., Eberlin, M.N., Meireles, M.A., ve Pastore, G.M.

(2019). Yüksek yoğunluklu ultrason işlem parametrelerinin araticum peel'den fenolik bileşiklerin geri kazanımı üzerindeki etkileri. *Sonokimya*, 50, 82-95.

Backes, E., Pereira, C., Barros, L., Prieto, M.A., Genena, A.K., Barreiro, M.F., ve Ferreira, I.C.F. (2018). Ficus carica L'den biyoaktif antosiyanin pigmentlerinin ısı, mikrodalga ve ultrason bazlı ekstraksiyon teknikleriyle soyulması. *Food Research International*, 113, 197 – 209.

Bath, R. ve Goh, K.M. (2017). Sonication treatment convalesce the overall quality of hand-pressed strawberry juice. *Food Chemistry*, 215, 470-476.

Bhangu, S.K., Singla, R., Colombo, E., Ashokkumar, M., ve Cavalieri, F. (2018). Tanik asidin farklı morfolojilere sahip biyofonksiyonel ellagik asit mikro/nanokristallerine sono dönüşümü *Green Chem* 20, 816–821.

Bose, S., Laha, B., ve Banerjee, S. (2014). Quantification of alicin by high performance liquid chromatography-ultraviolet analysis with effect of posy-ultrasonic sound and microwave radiation on fresh garlic cloves. *Pharmacognosy*, 10(38), 288-293.

Bosiljkov, T., Tripalo, B., Brncic, M. Ježek, D., Karlović, S., ve Jaguš, I. (2011). Farklı prob çaplarına sahip yüksek yoğunluklu ultrasonun inek sütünün homojenizasyon derecesi (varyans) ve fiziksel

özellikleri üzerindeki etkisi. *Biyoteknoloji Afrika Dergisi*, 10 (1), 34-41.

Boussetta, N., Lesaint, O. ve Vorobiev, E. (2013). Darbel i elektriksel deşarjlarla üzüm çekirdeklerinden polifenollerin ekstraksiyonu sırasında yer alan mekanizmalarla ilgili bir çalışma. *Yenilikçi Gıda Bilimi ve Gelişen Teknolojiler*, 19, 124-132.

Bozena Lozowicka, MJ., Izabela Hryno, PK. (2016). Çileklerden 16 pestisit kalıntısının musluk ve ozon suyu ile yıkanarak uzaklaştırılması, ultrasonik temizleme ve kaynatma, Çevresel İzleme ve Değerlendirme, 188, 51.

Brcic, M., Karlovic, S., Rimac Brcic, S., Penava, A., Bosiljkov, T., Ježek, D., Tripalo, B. Kızılıötesi kurutulmuş elma dilimlerinin yüksek güçlü ultrason ön işleminden etkilenen dokusal özellikleri. *African Journal of Biotechnology* 2010, 9 (41), 6907-6915.

Broekman, S., Pohlmann, O., Beardwood, ES Meulenaer, EC (2010). Su sistemlerinin mikrobiyolojik kontrolü için ultrasonik işlem. *Ultrasonik Sonokimya*, 17, 1041- 1048.

Brown, B., Goodman, JE. Yüksek Yoğunluklu Ultrasonik: Endüstriyel Uygulamalar, Iliffe Kitapları, Londra (1965).

Buniowska, M., Carbonell-Capella, JM., Frigola, A., Esteve, MJ. 2017. Bioaccessibility of bioactive compounds after nonthermal processing of an

exotic fruit juice blend sweetened with *Stevia rebaudiana*. *Food Chem*, 221: 1834-1842.

Cao, S. , Hu, Z. , Pang, B. , Wang, H. , Xie, H. ve Wu, F. (2010). Çilekte hasattan sonra ultrason uygulamasının meyve çürümesine ve kalite korumasına etkisi. *Yiyecek Kontrolü*, 21, 529–532.

Cao, S., Hu, Z, Pang, B., Wang, H., Xie, H., ve Wu, F. (2010). Çilekte hasattan sonra ultrason uygulamasının meyve çürümesine ve kalite korumasına etkisi. *Food Control*, 21, 529-532.

Carail, M., Fabiano-Tixier, AS., Meullemiestre, A., Chemat, F., Caris-Veyrat, C. (2015). Yüksek güçlü ultrasonun tüm-E- β -karoten üzerindeki etkileri, ultra yüksek performanslı sıvı kromatografisi-tandem kütle spektrometresi ile yeni oluşan bileşik analizi *Ultrasonics Sonochemistry*, 26, 200–209.

Chemat, F., Hum, Z., ve Khan, M.K. (2011). Gıda teknolojisinde ultrason uygulamaları: İşleme, koruma ve ekstraksiyon. *Ultrasonik Sonokimya*, 18, 813- 835.

Chen, Y. , Yu, LJ ve Rupasinghe, HP (2013). Termal ve termal olmayan pastörizasyonun meyve suyunda mikrobiyal inaktivasyon ve fenolik bozunma üzerindeki etkisi: Kısa bir inceleme. *Gıda ve Tarım Bilimi Dergisi*, 93 (5), 981 – 986.

- Chen, C., Sen, L.J., Abbasi, A.M., Fu, X. ve Liu, RH (2015). Antioksidan ve hiperglisemik aktivite ile dut meyvelerinden polisakkaritlerin in vitro ultrasonla ekstraksiyonu için optimizasyon. *Karbonhidrat Polimerleri*, 130, 122-132.
- Chen, L., Chen, J., Ren, J. ve Zhao, M. (2011). Ultrason ön işleminin soya proteini izolatlarının enzimatik hidrolizi ve hidrolizatların emülsifiye edici özellikleri üzerindeki etkileri. *Tarım ve Gıda Kimyası Dergisi*, 59, 2600-2609.
- Cheng, L.H., Soh, C.Y., Liew, SC ve Teh, FF (2007). Sonikasyon ve karbonasyonun guava suyu kalitesi üzerindeki etkileri. *Gıda Kimyası*, 104, 1396-1401 .
- Chitgar, FM., Aalani, Ö., Maghsoudlou, Y., Milani, E. (2017). Comparative study on the effect of heat treatment and sonication on the quality of barberry juice J. Food Process Pres, 41(3): 29-56.
- Cittan, M., Altuntaş, E., Çelik, A. (2018). Tilia cordata meyve özlerindeki antioksidan kapasitelerin ve fenolik profillerin değerlendirilmesi: geleneksel sıcak su infüzyon yönteminin etkinliğini belirlemek için karşılaştırmalı bir çalışma, San. Bitkileri Üret., 122, 553 – 558.
- Dadi, DW., Emire, SA., Hagos, AD., Eun, JB. 2019. Moringa stenopetala Yapraklarının Ultrason Destekli Ekstraksiyonunun Biyoaktif Bileşenler ve

Antioksidan Aktiviteleri Üzerine Etkisi. *Food BioTechnol*, 57(1), 77-86.

D'Alessandro, LG, Dimitrov, K., Vauchel, P. ve Nikov, I. (2014). *Aroniamelanocarpa* (siyah chokeberry) atıklarından antosiyaninlerin ultrason destekli ekstraksiyon kinetiği. *Kimya Mühendisliği Araştırma ve Tasarım*, 92(10), 1818 – 1826

Demir, H. ve Kılın., A. (2018). Termosonikasyon uygulamasının bal kabağı suyunun biyoaktif bileşen ve antioksidan kapasitesi üzerine etkisi. *GIDA*, 43(5): 787-799.

De-Sarabia, ERF., Gallego-Juarez, JA., Mason, TJ. (2006). Duman ve tozların çökeltilmesi ve köpüklerin yok edilmesi için havadan ultrason, *Ultrasonics Sonochemistry*, 13, 107–116.

Dey, S. and Rathod, K. 2013. Ultrasound assisted extraction of b-carotene from *Spirulina platensis* *Ultrason Sonochem*, 20: 271-276.

Domateslerden likopen ekstraksiyonu için yeni modifiye ultrasonikasyon tekniği. *Eh AL, Teoh SG Ultrason Sonochem*. 2012 Ocak; 19 (1): 151-9.

Duan, X., Zhang, M., Mujumdar, AS., Wang, R. (2010). Gıdaların mikrodalga destekli dondurularak kurutulmasında trendler. *Kurutma Teknolojisi*, 28(4), 444-453.

- Duh, P.-D. , Yen, G.-C. , Yen, W.-J. , Wang, B.-S. Ve Chang, L.-W. (2004). Pu-erh çayın oksidatif hasar ve nitrik oksit süpürme etkisi. *Tarım Dergisi ve Gıda Kimyası*, 52(26), 169-176.
- Eggersdorfer, M. Wyss, A. (2018). Carotenoids in human nutrition and health. *Arch Biochem Biophys*, 652, 18-26.
- Esua, OJ., Chin, NL., Yusof, YA., Sukor, R. (2019). Aynı anda UV-C radyasyonu ve hasat sonrası ultrasonik enerji uygulamasının domateslerin depolama sırasında biyoaktif bileşikler ve antioksidan aktivitesi üzerindeki etkileri, *Food Chemistry*, 270, 113–122.
- FAO (2020). Küresel gıda kayıpları ve gıda israfı. Kapsam, nedenler ve önleme, <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.htm>
- Fernandes FAN, Rodrigues S, García-Pérez JV, Cárcel JA. (2015). Ultrason Destekli Hava Kurutmanın Kiraz Domateslerin Vitaminleri ve Karotenoidleri Üzerindeki Etkileri. *Drying Technology*, 34, 986–996.
- Fernandes, F.A.N., ve Rodrigues, S. (2007). Meyvelerin kurutulması için ön işlem olarak ultrason: Muzun dehidrasyonu. *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 82, 261-267.
- Fu, X.Z., Zhang, QA., Zhang, B.S., ve Liu, P. (2018). Ultrasonun bir model şarapta ksantilyum katyon

pigmentlerinin üretimi üzerindeki etkisi. *Food Chemistry*, 268, 431 – 440.

GallegoJuárez, J., Rodriguez, G., Acosta, V. ve Riera, E. (2010). Endüstriyel işlemler için kapsamlı radyatörlere sahip güçlü ultrasonik transdüserler. *Ultrasonik Sonokimya*, 17, 953 – 964.

Gani, A., Baba, WN., Ahmad, M., Shah, U., Khan, AA., Wani, IA. Masoodi, FA., ve Gani, A. (2016). Ultrason tedavisinin çileğin fiziko-kimyasal, nutrasötik ve mikrobiyal kalitesine etkisi. *LWT-Gıda Bilimi ve Teknolojisi*, 66, 496–502.

Gao, Y., Nagy, B., Liu, X., Simand, B., ve Wang, Q. (2009). Supercritical CO₂ extraction of lutein esters from marigold (*Tagetes erecta* L.) enhanced by ultrasound. *J. Supercrit Fluid*, 49, 345-350.

Gao, S., Lewis, G.D., Ashokkumar, M. ve Hemar, Y. (2014). Düşük frekanslı yüksek güçlü ultrason ile mikroorganizmaların inaktivasyonu: 1. Bakterilerin büyüme fazı ve kapsül özelliklerinin etkisi. *Ultrasonik Sonokimya*, 21, 446-453.

Garcia-Castello, EM., Rodriguez Lopez, AD., Mayor, L., Ballesteros, R., Conidi, C. ve Cassano, A. (2015). Greylort (Citrus *paradisi* L.) katı atıklarından flavonoidlerin geleneksel ve ultrason destekli ekstraksiyonunun optimizasyonu. *LWT-Gıda Bilimi ve Teknolojisi*, 64 (2), 1114 – 1122.

- Grönroos, A., Pirkonen, P., ve Ruppert, O. (2004). Sulu karboksimetil selülozun ultrasonik depolimerizasyonu. *Ultrasonics Sonochemistry*, 11, 9-12.
- Guerroij, K., Sanchez-Rubio, M., Taboada-Rodriguez, A., Cava-Roda, RM., ve Marin-Iniesta, F. (2016). Sonication at mild temperatures enhances bioactive compounds and microbiological quality of orange juice. *Food Bioprod Proces*, 99, 20-28.
- Guo, X., Shang, X.F., Zhou, Z.X., Zhao, B.T., ve Zhang, J.Y. (2017). Rhododendron aganniphum'dan polisakkaritlerin ultrason destekli ekstraksiyonu: antioksidan aktivite ve reolojik özellikler. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38, 246–255.
- Haroon, ET., Zou, X., Gustav, KM., Muhammad, A., Mandour, A., ve Li. Z. (2019). Meyve ve sebzelerin korunmasında sakız yenilebilir kaplama uygulamalarındaki son gelişmeler: Bir inceleme
- Hu, Z., Wang, P., Zhou, H., ve Li, Y. (2018). Farklı yöntemler kullanarak Carex meyeriana Kunth'tan polisakkaritlerin ekstraksiyonu, karakterizasyonu ve in vitro antioksidan aktivitesi. *Int. J. Biol. Macromol*, 120, 2155–2164.
- İrkilmez, M.U., Başlar, M., Sağdin, O., Arıcı, M., ve Ertugay, M.F. (2017). The effect of ultrasonic treatments on turbidity, micribial load, an polyphenol oxidase (PPO) activity of plum nectar. *J Food Meas Charact*, 11 (2), 380-387.

- Jabbar, S., Abid, M., Hu, B., Hashim, MM., Lei, S., Wu, T., ve Zeng, X. (2015). Exploring the potential of thermosonication in carrot juice processing. *Journal of Food Science and Technology*, 52(11), 7002-7013.
- Jabbar, S., Abid, M., Hu, B., Wu, T., Hashim, MA , Lei, S., and Zeng, X. (2014). Ağartma ve sonikasyon işlemlerinden etkilenen havuç suyunun kalitesi. *LWT- Gıda Bilimi ve Teknolojisi*, 55, 16–21.
- Jafari, SM., He, Y., ve Bhandari, B. (2006). Sonikasyon ve mikro-akışkanlaştırma ile nano emülsiyon üretimi- bir karşılaştırma. *International Journal of Food Properties*, 9, 475–485.
- Jambrak, A.R. (2012). Gıda işlemede yüksek güçlü ultrason ve mikrodalga uygulaması: ekstraksiyon J. Gıda İşlemi. Technol., 2012, 3.
- Jambrak, A., Herceg, Z., Šubaric, D., Babic, J. Brncic, M., Brncic, SM., Bosiljkov, T., Cvek, B., ve Tripalo, J. (2010). Mısır nişastasının fiziksel özellikleri üzerine ultrason etkisi Karbonhidr. Polym, 79, 91–100.
- Jayaparakasha, G., Girenavar, B., ve Patil, B.S. (2008). Rio Red greylift ve Ekşi portakal meyve özlerinin farklı in vitro model sistemlerde radikal temizleme sitesi. *Bioresource Teknolojisi*, 99(10), 4484–4494.

- Khan, M.K \., Abert-Vian, M., Fabiano Tixer, AS., Dangles, O. ve Chemat, F. (2010). Portakal (*Citrus sinensis L.*) kabuğundan polifenollerin (flavanon glikozitler) ultrason destekli ekstraksiyonu. *Gıda Kimyası, 119 (2)*, 851 – 85.
- Kimbaris, A.C., Siatis, N.G, Daferera, D.J., Tarantilis, P.A., Pappas, C.S., ve Polissiou, M.G. (2006). Hassas aroma bileşiklerinin sarımsaktan (*Allium sativum*) izolasyonu için damıtma ve ultrason destekli ekstraksiyon yöntemlerinin karşılaştırılması. *Ultrasonics Sonochemistry, 13*, 54-60.
- Koda, S., Miyamoto, M., Toma, M., Matsuok, T. Ve Maebayashi, M. (2009). 500 kHz'de ultrason ile *Escherichiacoli* ve *Streptococcus mutans* inaktivasyonu. *Ultrasonik Sonokimya, 16*, 655–659.
- Kovacevic, BD., Bilobrk, J., Buntic, B., Bosiljkov, T., Karlovic, S., Rocchetti, G., Lucini, L., Barba, FJ., Lorenza, JM., Putnik, P. (2019). High-power ultrasound altered the polyphenolic content and antioxidant capacity in cloudy apple juice during storage. *Journal of Food Processing and Presservation*, e114023.
- Kumcuoğlu, S., Yılmaz, Y., ve Tavman, Ş. (2011). Salça Üretim Atıklarından Ultrason Destekli Ekstraksiyon İşlemiyle Likopen Ekstraksiyonu, *Akademik Gıda, 9(6)*, 23-28.
- Kwaw, E., Ma, Y., Tchabo, W., Apaliya, MT, Sackey, AS., Wu, M., Xiao, L. (2018). Ultrasonikasyonun

ve darbeli ışık uygulamalarının laktik asitle fermente edilmiş dut suyunun fenolik konsantrasyonu ve antioksidan aktiviteleri üzerindeki etkisi. *LWT- Gıda Bilimi. Technol.*, 92, 61–66.

Laborde, J.L., Bouyer, C., Caltagirone, J.P., ve Gerard, A. (1998). Düşük frekanslarda akustik kabarcık kavitasyonu. *Ultrasonik*, 36, 589–594.

Langi, P., Kiokias, S., Varzakas., ve Proestos, C. (2018). Carotenoids: From plants to food and feed industries. In: Barreiro C, Barredo JL. (eds). *Microbial Carotenoids*. New York: NY. Humana Press. 1852: 57-71.

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.

Lianfu, Z. ve Zelong, L. (2008). Optimization and comparison of ultrasound/microwave assisted extraction (UMAE) and ultrasonic assisted extraction (UDE) of lycopene from tomatoes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15, 731-737.

Lin, I., ve Erel D. (1992). *Dinamik ultrasonik temizleme ve dezenfekte etme cihazı ve yöntemi*. ABD Patenti No. 5113881A. Washington, DC : ABD Patent ve Ticari Marka Ofisi

- Luengo, E., Condón Abanto, S., Condón, S., Álvarez, I., Raso, J. (2014). Basınç altında ultrason uygulamasıyla domates atıklarından karotenoidlerin ekstraksiyonunun iyileştirilmesi. *Sep. Purif. Technol.*, 136, 130-136.
- Mac as-Sanchez, MD., Mantell, C., Rodriguez, M., Ossa, M., Lubian, E., ve Montero, O. (2009). Comparison of supercritical fluid and ultrasound-assisted extraction of carotenoids and chlorophyll a from *Dunaliella Salina*. *Talanta*, 77, 948-952.
- Manna, L., Bugnone, C.A., ve Banchero, M. (2015). Triglisitlerin ve polifenollerin süper kritik sıvı ekstraksiyonu yoluyla fındık, kahve ve üzüm atıklarının değerlendirilmesi. *Süper Kritik Akışkanlar Dergisi*, 104, 204-211.
- Mehmood, A., Ishaq, M., Zhao, L., Yaqoob, S., Safdar, B., Nadeem, M., Munir, M., ve Wan, C. (2019). Ultrason ve geleneksel ekstraksiyon tekniklerinin mavi kelebek bezelye çiçeğinin (*Clitoria ternatea* L) biyoaktif bileşikler ve biyolojik aktiviteleri üzerindeki etkisi *Ultrasonics Sonochemistry*, 51, 12-19.
- Morey, M.D., Deshpande, N.S., ve Barigou, M. (1999). Mekanik ve ultrasonik titreşimlerle köpük dengesizliği. *Journal Colloid Interf. Science*, 219, 90-98.
- Moses, JA., Rajauria, G., ve Tiwari, BK. (2017). Effect of Ultrasound on Anthocyanins. In: Villamiel M,

Garcia-Perez JV, Montilla A, Carcel JA, Benedito J. (eds.). *Ultrasound in Food Processing: Recent Advances*. The UK. John Wiley and Sons Ltd. pp: 485-505.

MoussaAyoub, TE, Jaeger, H. , Youssef, K. , Knorr, D. , El-Samahy, S., Kroh, LW ve Rohn, S. (2016). *Opuntia dillenii* kaktüs meyve suyunun, darbeli elektrik alanı ön işleminin etkisiyle teknolojik özellikleri ve seçilmiş biyoaktif bileşikleri. *Gıda Kimyası*, 210, 249-261.

Muzaffar, S., Ahmad, M., Wani, SM., Gani, A., Baba, WN., Shah, U., Khan, AA., Masoodi, FA., Gani, A., ve Wani, TA (2016). Ultrason tedavisi: kiraz *Prunus avium*'un fizikokimyasal, mikrobiyal ve antioksidan özelliklerine etkisi. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 2752 – 2759.

Nadery Dehsheikh, F., ve Taghian Dinani, S. (2019). Konvektif kurutmadan önce ultrasonik bir sistemde karboksimetil selüloz kullanılarak muz dilimlerinin kaplanması. *Ultrasonics Sonochemistry*, 52, 401–413.

Nahimana, H., Zhang, M., Mujumdar, A.S., ve Ding, Z. (2011). Meyve ve sebzelerin ozmotik dehidrasyonu sırasında kütle transfer modellemesi ve büzülme düşüncesi. *Food Reviews International*, 27 (4), 331-356 .

Nayak, P.K., Chandrasekar, C.M., ve Kesevan, R.K. (2018). Effect of thermonosonation on the quality

attributel of star fruit juice. *Journal of Food Procces Engineering* 41(7), 12857.

Nayak, B., Dahmoune, F. , Moussi, K. , Remini, H. , Dairi, S. , Aoun, O. ve Khodir, M. (2015). Citrussinensi s kabuklarından polifenollerin geri kazanılması için mikrodalga, ultrason ve hızlandırılmış yardımcı çözücü ekstraksiyonunun karşılaştırılması. *Gıda Kimyası*, 187, 507-516

Nguyen, C., ve Nguyen H. (2018). Ultrasonic Effects on the Quality of Mulberry juice. *Beverages*, 4(3), 56.

NicolauLapeña, I., Lafarga, T., Viñas, I., Abadias, M., Bobo, G., ve Aguiló-Aguayo, I. (2019). Taze ve işlenmiş meyve ve sebzelerin güvenlik ve kalite koruma stratejisi olarak tek başına veya diğer kimyasal veya fiziksel işlemlerle kombinasyon halinde ultrason işleme: Bir inceleme. *Food Bioprocess Technology*, 1–20.

Oliveira, A.L., Destandau, E., Fougère, L. ve Lafosse, M. (2014). Brezilya kiraz tohumlarından (*Eugenia uniflora* L.) fenolik bileşiklerin basınçlı sıvı ekstraksiyonu (PFE) ile izolasyonu ve CPC ve HPLC / ESI / MS kullanılarak tanımlama. *Gıda Kimyası*, 145, 522-529.

Oliveira, I.P.F., Gallão, M.I., Rodrigues, S., ve Fernandes, F.A.N. (2010). Ön işlem olarak ultrason kullanılarak Malay elmasının (L.) susuzlaştırılması. *Gıda Biyoproses Teknolojisi*, 4, 610-615.

- Opalić, M., Domitran, Z., Komes, D., Belščak, A., Horzic, D., ve Karlovic, D. (2009). Ultrasonla ön işlem ve havada kurutmanın kurutulmuş elma kalitesine etkisi. *Journal of Food Science*, 27, 297-300.
- Pan, Z., Qu, W., Ma, H., Atungulu, G.G., McHugh, T.H. (2012). Nar kabuğundan antioksidanların sürekli ve darbeli ultrason destekli ekstraksiyonu. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19, 365-372.
- Paula, J.A.M., Brito, L.F., Caetano, K.L.F.N., de Moraes Rodrigues, M.C., Borges, L.L., ve da Conceição, E.C. (2016). Azadirachta indica A. Juss'un (Meliaceae) kurutulmuş tüm meyvelerinden ultrason yardımlı azadirachtin ekstraksiyonu ve doğrulanmış bir HPLC-PDA yöntemi ile belirlenmesi. *Talanta*, 149, 77-84.
- Pinheiro, J., Alegria, C., Abreu, M., Gonçalves, E.M., ve Silva, C.L.M. (2015). Hasat sonrası ultrason uygulamalarının domates (*Solanum lycopersicum*, cv. Zinac) kalitesi ve depolama sırasında mikrobiyal yük üzerindeki etkisi. *Ultrasonik Sonokimya*, 27, 552-559.
- Qiao, L., Sun, Y., Chen, R., Fu, Y., Zhang, W., Li, X., Chen, J., Shen, Y., ve Ye, X. (2014). Turunçgillerde yaygın olan 14 flavonoid üzerinde sonokimyasal etkiler: Stabilite ile ilişkisi PLoS ONE, 9.
- Qiao, L., Ye, X., Sun, Y., Ying, J., Shen, Y., ve Chen, J. (2013). Bir model sistemde ultrason tedavisi altında

serbest fenolik asitler üzerindeki sonokimyasal etkiler. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20, 1017–1025.

Qu, W., Masoud Sehemu, R., Feng, Y., Shi, S., Wang, J., Ma, H., ve Venkitasamy, C. (2017). Düz tarama frekansı ve darbeleri ultrason (FSFP) tedavisinin bir model sistemdeki fenolik asitlerin stabilitesi üzerindeki sonokimyasal etkisi. *Ultrasonics Sonochemistry*, 39, 707-715.

Rajha, H.N., Boussetta, N., Louka, N., Maroun, R. G., ve Vorobiev, E. (2015). Effect of alternative physical pretreatments (pulsed electric field, high voltage electrical discharges and ultrasound) on the dead-end ultrafiltration of vine-shoot extracts. *Separation and Purification Technology*, 146, 243–251.

Raviyan, P. , Zhang, Z. ve Feng, H. (2005). Domates pektinmetilesteraz inaktivasyonu için ultrasonikasyon: Kavitasyon yoğunluğu ve sıcaklığının inaktivasyona etkisi. *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 70, 189-196.

Rawson, A., Tiwari, BK., Tuohy, MG., O'Donnell, C.P., ve Brunton, N. (2011). Ultrason ve ağartma ön işlemlerinin sıcak hava ve dondurularak kurutulmuş havuç disklerinin poliasetilen ve karotenoid içeriği üzerine etkisi. *Ultrasonik ve Sonokimya*, 18 (5), 1172 – 1179.

Ren, R., Perussello, C.A., Zhang, Z., Kerry, JP. ve Tiwari, B.K. (2018). Sıcak hava ile kurutulmuş

ve dondurularak kurutulmuş soğanın fonksiyonel özelliklerine ultrason ve ağartmanın etkisi. *LWT*, 87, 102–111.

Riera E. (2007). Sebzelelerin Dehidrasyonu için Yüksek Güçlü Ultrason Uygulaması: İşlemler ve Cihazlar. *Drying Technology*, 25, 1893–1901.

Riera, E., Golas, Y., Blanco, A., Gallego, J.A., Blasco, M. ve Mulet, A. (2004). Süper kritik sıvıların ekstraksiyonunda güç ultrasonu ile kütle transferini iyileştirme. *Ultrasonik Sonokimya*, 11(3-4), 241-244.,

Rodríguez, Ó., Santacatalina, J.V., Simal, S., Garcia-Perez, J.V., Femenia, A., ve Rosselló, C. (2014). Elmanın kurutma kinetiğine ve antioksidan ve mikroyapısal özelliklerine güç ultrason uygulamasının etkisi. *J. Gıda Müh.*, 129, 21–29.

Rodriguez-Perez, C., Quirantesçam, R., Fernandez Gutierrez, A., ve SeguraCarretero, A. (2015). Moringa oleifera lam yapraklarından fenolik bileşikler açısından zengin bir ekstrakt elde etmek için ekstraksiyon yönteminin optimizasyonu. *Sanayi Bitkileri ve Ürünleri*, 66, 246-254.

Saad, S.M., Abd, Elaleem, I.M., Eissa, H.A., Abdelmoniem, G.M., Ibrahim, W.A. (2013). Effects of thermonosication on apple guava juices quality. *Journal of Applied Science Research*, 9(8), 5323-5336

SaoJose, J.F.B., deAndrade, N.J., Ramos, A.M., Vanetti, M.C.D., Stringheta, P.C. ve Chaves, J.B.P. (2014). Taze meyve ve sebzelerde ultrason uygulaması ile dekontaminasyon. *Yiyecek Kontrolü*, 45, 36-50.

Schmid, G., Rommel, O. (1939). Makromoleküllerin ultrason ile parçalanması *Z. Phys. Chemistry A*, 185, 97–139.

Sivakumar, V., Vijaeswarri, J., Anna, J.L. 2011. Ultrason kullanarak farklı bitki materyallerinden etkili doğal boya ekstraksiyonu San. Mahsulleri Üret. , 33 (2011) , s. 116 – 122.

Sivakumar, V., Ilanhtiraiyan, S., Ilayaraja, K., Ashly, A., ve Hariharan, S. (2014). Avaram kabuğu (*Cassia auriculata*) tanen ekstraksiyonu ve tabaklama üzerine ultrasonun etkisi. *Kimya Mühendisliği Araştırma ve Tasarım*, 92 (10), 1827 - 1833 .

Strati, IF , Gogou, E. ve Oreopoulou, V. (2015). Enzim ve yüksek basınç destekli domates atıklarından karotenoid ekstraksiyonu. *Gıda ve Biyo Ürün İşleme* , 94, 668 - 674

Sun, Y., Guangpeng, M., Ye, X., Yu, D. 2011. Effects of different factors of ultrasound treatment on the extraction yield of the all-trans-b-carotene from citrus peels. *Ultrason Sonochem*, 13: 243-249.

Sun, J., Luo, H., Li, X., Lu, Y., Bai, W. (2019). Düşük güçlü ultrasonik işlemin siyanidin-3-O-glukozitin metilpiranosiyanidin-3-O-glukozide dönüşümü ve

stabilite değerlendirmesi üzerindeki etkileri. *Food Chemistry*, 276, 240–246.

Szadzińska, J., Łechtańska, J., Kowalski, S.J., ve Stasiak, M. (2017). Yüksek güçlü hava kaynaklı ultrason ve mikrodalgaların yeşil biberin konvektif kurutma etkinliği ve kalitesi üzerindeki etkisi. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 531 – 539.

Tekin, Z.H., ve Başlar, M. (2018). Ultrason destekli vakumla kurutmanın kırmızı biberin kuruma hızı ve kalitesi üzerindeki etkisi. *Termal Analiz ve Kalorimetri Dergisi*, 132, 1131-1143.

Tervo, J.T., Mettin, R., ve Lauterborn, W. (2006). Akustik kaviteasyonda kabarcık kümesi dinamiği. *Açta Acust. Acust*, 92, 178-180

Tiwari, B. K. (2015). Ultrasound: A clean, green extraction technology. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 71, 100–109.

Tiwari, B.K., O'Donnell, C.P., Patras, A., Culle, P.J. (2008). Sonike edilmiş çilek suyunda antosiyanin ve askorbik asit yıkımı. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 56, 10071–10077.

Valcke, M, Bourgault, M., Rochette, L., Normandin, L., Samuel, O., Belleville, D., Blanchet, C., Phaneuf, D. (2017). Artık pestisit içeren meyve ve sebzelerin tüketimine ilişkin insan sağlığı risk değerlendirmesi: Bir kanser ve kanser dışı

risk/fayda perspektifi. *Environ International*, 108, 63 – 74.

Vallverdú Queralt, A., Odriozola Serrano, I., Oms-Oliu, G., Lamuela Raventós, R.M., Elez-Martínez, P., ve Martín-Belloso, O. (2013). Yüksek yoğunluklu darbeleri elektrik alanlarının, orta yoğunlukta darbeleri elektrik alanında işlenmiş domateslerden yapılan domates suyunun karotenoid profili üzerindeki etkisi. *Gıda Kimyası*, 141(3), 3131–3138.

Wang, C.Y., ve Chen, Y.B. (2006). Yüksek oranda cis-izomer içeren likopen tozu üretimi için kaynak olarak domates posası EUR. *Gıda Arş. Technol*, 222, 347–353.

Wang, H., Zhao, Q.S., Wang, X.S., Hong, Z.D., ve Zhao, B. (2019). Ultrason kombine vakumun ön işlemleri bamyanın konvektif kurutma verimini ve fizikokimyasal özelliklerini artırır (*Abelmoschus esculentus*). *LWT-Food Science and Technology*, 112, Madde 108201.

Xu, F., Liu, S., Xiao, Z., ve Fu, L. (2019). 1-metilsiklopropan (1-MCP) ile kombine ultrasonik işlemin hasat edilen elma meyvesindeki depolama kalitesi ve etilen reseptörleri gen ekspresyonu üzerindeki etkisi. *Journal of Food Biochemistry*, 43.

Xu, H.S., Zhang, M., Duan, X., Mujumdar, A.S., ve Sun, J.C. (2009). Dondurarak kurutmadan önce

edamame üzerinde güçlü ultrason ön işleminin etkisi. *Kurutma Teknolojisi*, 27(2), 186-193.

Xu, J.K., Li, M.F. ve Sun, R.C. (2015). Identifying the impact of ultrasound-assisted extraction on polysaccharides and natural antioxidants from *Eucommia ulmoides* Oliver. *Process Biochemistry*, 50(3), 473–481.

Yıldız, 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.

Yıldız, 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.

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.

Yıldız, 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.

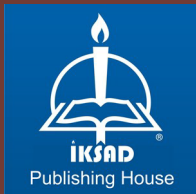
- Yildiz, G., ve Izli G. (2018). Non-thermal process: Ultrasound Technology. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing. ISBN: 978-3-659-97350-5.
- Yildiz, G. (2019). Application of ultrasound and high-pressure homogenization against high temperature-short time in peach juice. *Journal of Food Process Engineering*, 42 (3), e12997.
- Yildiz, G., ve Izli, G. (2019). 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 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.

- Yıldız, G, İzli, 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.
- Yıldız, G., ve İzli G. (2020). Microwave and Convective Drying Methods on Food Drying. Ankara, Turkey: IKSAD INTERNATIONAL PUBLISHING HOUSE. ISBN: 978-605-7811-87-5.
- Yıldız, G., ve Aadil, R.M. (2021). Comparative Analysis of Antibrowning Agents, Hot Water and High-intensity Ultrasound Treatments to Maintain the Quality of Fresh-cut Mangoes. *Journal of Food Science and Technology*, <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05001-y>
- İzli, G., ve Yıldız, G. (2021). Evaluation of the high intensity ultrasound pre-treatment effects on the physical properties and bioactive compounds of convective dried quince samples. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 645-656.
- Yıldız, G. (2021). The Effect of High Intensity Ultrasound Pre-treatment on the Functional Properties of Microwave-dried Pears (*Pyrus communis*). *Latin American Applied Research Journal*, 51(2),133-137.
- Yıldız, G., İzli, G., Çavuş, M., ve Ceylan, M.M. (2021). Ultrason Ön İşleminin Kurutulmuş Iğdır Kayısısının Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi.

Journal of the Institute of Science and Technology, 11(1), 303-313.

- Yu, J., Engeseth, N.J., ve Feng H. (2016). Abiyotik elisitör olarak yüksek yoğunluklu ultrason-marulun antioksidan kapasitesi ve genel kalitesi üzerindeki etkiler. *Food Bioprocess Technology, 9, 262–273.*
- Zafra-Rojas, Q.Y., Cruz-Cansino, N., Ramírez-Moreno, E., Delgado-Olivares, L., Villanueva-Sánchez, J., ve Alanís-García, E. (2013). Mor kaktüs armut (*Opuntia ficus-indica*) suyunda ultrason tedavisinin etkileri. *Ultrasonics Sonochemistry, 20 (5), 1283-8.*
- Zaghdoudi, K., Framboisier, X., Frochot, C., Vanderesse, R., Kalthoum Cherif, J., Guiavarc'h, Y. (2016). Persimmon'dan (*Diospyros kaki L.*) karotenoidlerin Süperkritik Sıvı Ekstraksiyonuna (SFE) uygulanan yanıt yüzey metodolojisi. *Gıda Kimyası, 208, 209-219.*
- Zhang, X., Zhang, M., Devahastin, S., ve Guo, Z. (2019). Kombine Ultrasonikasyon ve Modifiye Atmosfer Paketlemenin Pakchoi *Brassica chinensis L*'nin Depolama Kalitesine Etkisi. *Food Bioprocess Technology, 12, 1573 – 1583.*
- Zheng, L., ve Sun, D.W. (2006). Gıda dondurma işlemleri sırasında yenilikçi güç ultrason uygulamaları- Bir inceleme. *Gıda Bilimi ve Teknolojisi, 17, 16-23.*

Zhu, Y., Zhang, T., Xu, D., Wang, S, Yuan, Y. He, S., ve Cao, Y. (2019). Pakchoi'den (*Brassica rape L. ssp. Chinensis*) pestisit kalıntılarının ultrasonik tedavi ile uzaklaştırılması. *Gıda Kontrol*, 95,176 – 180.



ISBN: 978-625-8007-21-3