



## Meyve Suyu İşlemede Ultrason Yönteminin Kalite Üzerine Etkileri

Gözde DOĞANAY<sup>1</sup>, Hande BALTACIOĞLU<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Niğde, TÜRKİYE

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1227-9892>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0774-0872>

Sorumlu Yazar: handebaltacioglu@ohu.edu.tr

### Derleme Makalesi

### ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi:22 Nisan 2022

Kabul tarihi: 7 Haziran 2022

Online Yayınlanma:15 Aralık 2022

*Anahtar Kelimeler:*

Ultrason

Meyve suyu

Kavitasyon

Biyoaktif bileşen

Fizikokimyasal özellik

Son yıllarda tüketicinin yüksek kaliteli, taze ve sağlıklı ürünlere olan talepleri termal olmayan teknolojilere ilgiyi artırmıştır. Ultrason yöntemi bu tekniklerden birisidir. Ultrason, insan duyma eşiğinin (~20 kHz) üzerindeki frekanslarda ses dalgaları olarak tanımlanır. Ultrasonun etki mekanizması kavitasyon oluşumudur. Buna bağlı olarak oluşan bazı fiziksel ve kimyasal etkiler ile meyve suyunda enzim ve mikroorganizma inaktivasyonu sağlanır. Gıda endüstrisinde ultrason tek başına uygulanabildiği gibi etkinliği arttırabilmek için, ısı işlem ve/veya yüksek basınç ile birlikte de kullanılabilir. Ultrason sıcaklık ya da basınçla kullanıldığında, meyve sularında daha düşük sıcaklık ve sürelerde enzim ve mikroorganizma inaktivasyonu sağlanır. Bununla birlikte meyve suyunun rengini ve lezzetini etkileyen biyoaktif bileşikler olumlu etkilenebilir. Bu işleme yöntemiyle düşük sıcaklık ve sürede, daha iyi kalitede, lezzetli ve besleyici meyve suyu elde edilebilir. Bu derlemede meyve suyu işlemede ultrason yönteminin kalite üzerine etkilerini inceleyen çalışmalara yer verilmiştir.

## Effects of ultrasound method on quality in fruit juice processing

### Rewiv Article

### ABSTRACT

*Article History:*

Received: 22 April 2022

Accepted:7 June 2022

Published Online:15 December 2022

*Keywords*

Ultrasound

Fruit juice

Cavitation

Bioactive compound

Physicochemical properties

In recent years, consumer demands for high quality, fresh and healthy products have increased the interest in non-thermal technologies. Ultrasound method is one of these techniques. Ultrasound is defined as sound waves at frequencies above the threshold of human hearing (~20 kHz). The mechanism of action of ultrasound is the formation of cavitation. Enzyme and microorganism inactivation is provided in fruit juice with some physical and chemical effects that occur due to cavitation. In the food industry, ultrasound can be used alone or in combination with thermal treatment and/or high pressure to increase efficiency. When ultrasound is used with temperature or pressure, enzyme and microorganism inactivation is provided in fruit juices at lower temperatures and times. However, bioactive compounds that affect the color and flavor of fruit juice can be positively affected. With this processing method, better quality, delicious and nutritious juice can be obtained at low temperature and time. In this article, studies on the effects of ultrasound method on fruit juice processing are included.

### Atf Şekli

Doğanay G, Baltacıoğlu H., 2022. Meyve Suyu İşlemede Ultrason Yönteminin Kalite Üzerine Etkileri. Tarım, Gıda, Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi, 3(2): 178-194.

### To Cite :

Doğanay G, Baltacıoğlu H., 2022. Effects of ultrasound method on quality in fruit juice processing. J. Agric. Food, Environ. Anim. Sci. 3(2): 178-194

## GİRİŞ

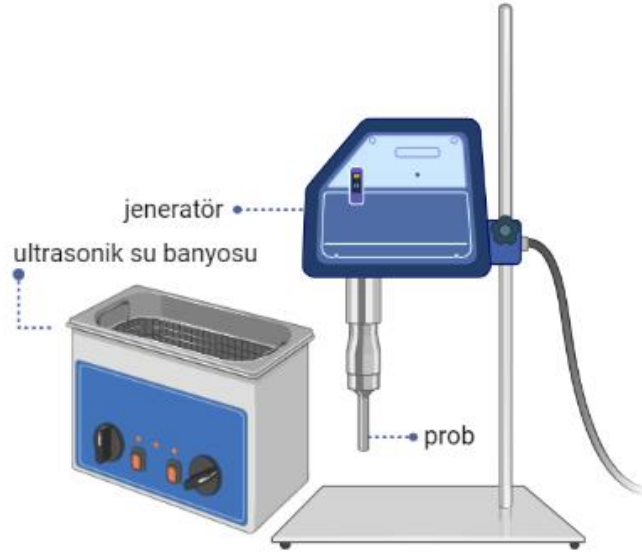
Meyve suları; mineraller, vitaminler ve fitokimyasallar gibi faydalı mikro besinleri içeren, termal olarak hassas, kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik değişikliklere duyarlı gıda ürünlerinden biridir. İşleme yöntemleri meyve sularının kalitesini ve güvenliğini etkileyebilir (Abdullah ve Chin 2014). Günümüzde ısı işlem uygulamaları, daha uzun raf ömrü sağlayan mikrobiyal ve enzim inaktivasyonu için en yaygın işleme yöntemleridir. Ancak yüksek sıcaklık; doku, tat, renk, koku gibi duyuşal özelliklerde ve besin (vitaminler, proteinler) değerlerinde değişikliklere neden olabilir. (Demirdöven ve Baysal, 2009). Son yıllarda taze ve yüksek kaliteli duyuşal ve besleyici özelliklere sahip gıda ürünlerine yönelik artan tüketici talepleri termal olmayan teknolojilere olan ilgiyi artırmıştır. Ultrason, özellikle ısıya duyarlı, besleyici, duyuşal ve fonksiyonel özelliklere sahip gıdalarda kaliteyi artıran ve güvenliği sağlayan, hızla gelişen tekniklerden biridir (Anaya-Esparza ark., 2017a). Aynı zamanda ultrason, daha iyi kalite, daha az kimyasal kullanımı, seçicilik ve enerji verimliliği açısından avantajlar sunduğu için “yeşil” bir teknoloji olarak kabul edilmiştir (Perera ve Alzahrani, 2021). Ultrason tekniği gıda endüstrisinde; oksidasyonun hızlandırılmasında, enzim inaktivasyonunda, mikroorganizma inhibisyonunda, kurutmada, filtrasyon işleminde, homojenizasyonda, emülsifiye işleminde, ekstraksiyonda, depolimerizasyon, pişirme, ekstrüzyon, kesme, köpük giderme, sterilizasyon-pastörizasyon, kristalizasyon, marinyasyon, gaz ve hava giderme gibi birçok işlemin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır (Türksönmez ve Diler, 2021).

Bu derlemede; meyve suyu üretiminde geleneksel pastörizasyona alternatif bir yöntem olan ultrasonun, sistemlerinden ve etki mekanizmasından bahsedilmiştir. Bununla birlikte, meyve suyunun güvenliğinden sorumlu olan enzim ve mikroorganizmaların ultrason yöntemiyle inaktivasyonunu içeren çalışmalara yer verilmiş, ultrasonun meyve suyunun biyoaktif bileşenler ve fizikokimyasal özellikler üzerine etkilerini içeren çalışmalar özetlenmiştir.

### Ultrason sistemleri

Ultrason, insan işitme eşiğinin (~20 kHz) üzerinde, yüksek frekanslı ses dalgaları olarak tanımlanır (Carrillo-Lopez ark., 2021). Gıda endüstrisinde ultrason yöntemi, prob tabanlı sistem yada ultrasonik su banyosu kullanılarak gerçekleştirilir. Şekil 1 'de ultrason sistemleri gösterilmiştir. Ultrasonik ekipman temel olarak jeneratör ve dönüştürücüden oluşur. Jeneratör elektrik veya mekanik enerji üretir. Dönüştürücü ise bu enerjiyi ultrasonik frekanslarda ses enerjisine dönüştürür. Sıvı tahrikli dönüştürücüler, manyetostriktif dönüştürücüler ve piezoelektrik dönüştürücüler olmak üzere 3 tip dönüştürücü vardır. Piezoelektrik dönüştürücüler en yaygın kullanılan cihazlardır. Ultrasonik banyolarda genellikle dönüştürücüler tankın alt tarafına sabitlenir ve genelde 40 kHz'de çalıştırılır. Prob tabanlı sistem, ultrasonik sinyali iletmek veya yükseltmek için kullanılır. Bu sistemlerde prob şekli, ultrasonik sinyalin genlik kazancını tanımlamaktadır. Prob uzunluğu boyunca aynı çaptaysa

genlikte herhangi bir kazanç oluşmamakta ve akustik enerji basitçe ortama aktarılmaktadır (Rani ark., 2020). Kademeli prob şekli ise, tüm prob şekillerinden daha yüksek genlik kazanç sunar. Problar genellikle titanyum alaşımından yapılır ve ısıya dayanıklıdır (Santos ve Capelo 2007). Ultrasonik banyolar, kullanımı kolay ve ekonomik olarak avantajlı olmalarına rağmen reaksiyonun tekrarlanabilirliği düşük olduğundan kimyasal reaksiyonlar için daha az kullanılır (Chemat ark., 2017). Prob sistemi, küçük hacimli örneklerin sonikasyonu için yaygın olarak kullanılırken; büyük hacim için ultrasonik banyo tercih edilir (Chemat ark., 2017; Dolas ark., 2019). Gıda uygulamalarında kullanılan ultrasonik ekipman, sürekli mod ve darbeli mod olmak üzere iki temel tipte işlevini gerçekleştirir. Sürekli mod üretiminde ultrasonik dönüştürücü, sabit bir genlikte elektrik sinüs dalgası ile sürekli olarak uyarılır. Darbe modu üretiminde jeneratörün ultrasonik çıkışı kısa süreliğine açılıp kapatılır ve işlem tekrarlanır. Darbe modülasyonunun meyve sularının kalite özelliklerine etkisi belirlenmemiş bir alandır (Dolas ark., 2019).



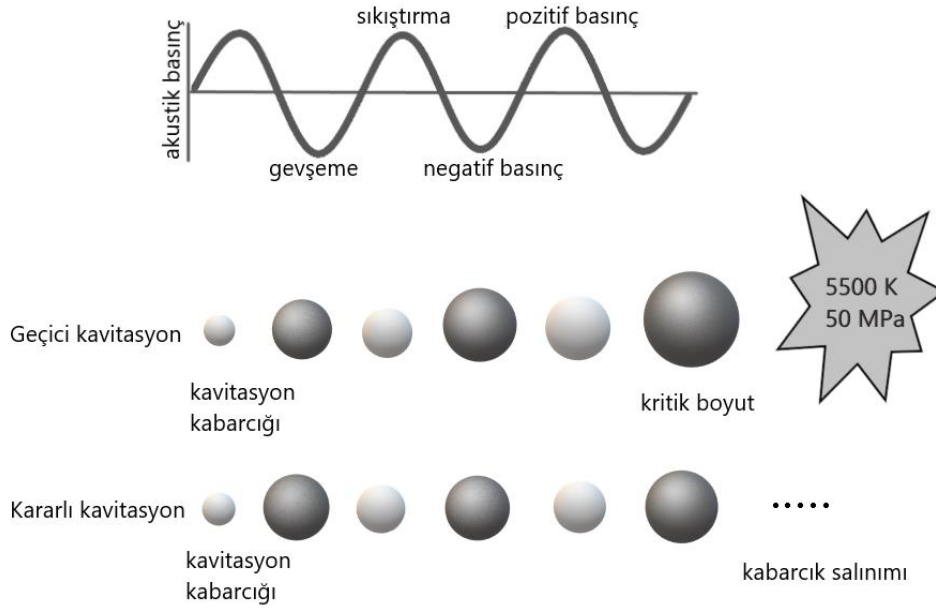
Şekil 1. Ultrason sistemleri (BioRender kullanılarak yapılmıştır)

Ultrason uygulamalarının sınıflandırılması için üretilen ses alanının enerji miktarı en önemli kriterdir. Ses gücü (W) veya ses yoğunluğu ( $W/m^2$ ) ile kategorize edilir (Knorr ark.,2004). Genellikle yüksek yoğunluk-düşük frekanslı ( $10-1000 W/cm^2$ ; 20-100 kHz) ve düşük yoğunluk-yüksek frekanslı ( $< 1 W/cm^2$ ;  $>1 MHz$ ) ultrason olarak ikiye ayrılırlar (Carrillo-Lopez ark., 2021). Düşük enerjili ultrasonik uygulama gıdaların fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesinde kullanılırken; yüksek enerjili ultrasonik uygulama ise gıdalarda mikrobiyal ve enzimatik inaktivasyon amaçlı kullanılır (Swamy ark., 2018).

## 2.Ultrasonun etki mekanizması

Sıvı bir ortamda ultrason/sonikasyon işleminin ana mekanizması, kavitasyon kabarcıklarının oluşumudur. Bir ultrason dalgası bir ortamdan geçerken, partiküllerin uzunlamasına yer değiştirmesine neden olur. Bu durum ortamda değişen bir dizi

sıkıştırma ve gevşeme döngüleri ile sonuçlanır (Perera ark., 2021). Sıkıştırma döngüsünde ultrason dalgaları sıvı molekülleri sıkıştırırken, gevşeme döngüsünde ultrason dalgaları sıvı molekülleri gerer ve negatif basınç oluşturur. Negatif basınç, sıvı moleküller arasındaki kuvveti aştığında, sıvı moleküller ayrışır ve ardından bir boşluk oluşturur. Periyodik döngü sırasında, ultrason dalgaları sıvı içinde yayıldıkça kavite büyümeye devam eder ve böylece kavite kabarcıkları oluşur (Fan ark., 2021). Kavite kabarcıkları, gevşeme evrelerinde büyür ve sıkıştırma döngüleri sırasında boyut olarak küçülür (Perera ark., 2021). Kavite kabarcıkları rezonans boyutu olarak adlandırılan kritik bir noktaya geldiğinde patlar. Kabarcığın patladığı anda yerel bir yüksek sıcaklık (5500 K) ve basınç (50 MPa) meydana gelir. Bir kabarcığın rezonans boyutu, ses alanında uygulanan frekansa bağlıdır (Fan ark., 2021; Firouz ark., 2019). Kavite iki türe ayrılır: kararlı kavite ve geçici kavite. Şekil 2’de kavite çeşitleri gösterilmiştir. Sıvı içindeki ultrason dalgalarının titreşimi yoluyla küçük kararlı kavite kabarcıkları oluşur (Fan ark., 2021). Kavite kabarcığının hacmi kademeli olarak genişler ancak sıkıştırma döngüsü sırasında kritik kırılma boyutundan daha küçük kalır (Yuan ark., 2021). Bu nedenle kabarcıklar rezonansa yakın bir boyutta, birçok döngü içinde salınım halindedir. Geçici kavite kabarcıkları birkaç akustik döngü içinde kararsız hale gelebilir ve şiddetli bir şekilde çökebilir (Firouz ark., 2019). Bu durum hücre yapısının zarar görmesine neden olarak biyomoleküllerin sızmasına neden olur (Fan ark., 2021).



Şekil 2. Kavite Çeşitleri (Dolas ark., 2019’dan uyarlanmıştır).

Ultrason tek başına kullanılabildiği gibi, enzim ve mikrobiyal inaktivasyon etkinliğini artırmak için sıcaklık, basınç ile kombine kullanılabilir. Bunlar; termosonikasyon (ısı ve ultrason), monosonikasyon (basınç ve ultrason) ve monoterminosonikasyon (ısı, basınç ve ultrason) uygulamalarıdır. (Demirdöven ve Baysal, 2008). Meyve suyu işleme endüstrisinde termosonikasyon yöntemi; işlem süresini kısaltması, enerji

tüketimini azaltması, verimliliği artırması ve meyve sularının raf ömrünü ve kalitesini geliştirmesi gibi faydaları nedeniyle önemli bir potansiyele sahiptir (Rani ark.,2020).

### 3. Meyve suyu işlemede ultrason yönteminin mikrobiyal inaktivasyona etkisi

Termosonikasyonun mikrobiyal inaktivasyon mekanizmaları, kavitasyon ile açıklanır (Rani ark., 2020). Kavitasyonla birlikte bazı fiziksel ve kimyasal etkiler meydana gelmektedir. Kavitasyonun kimyasal etkileri; serbest radikaller ile hidrojen peroksit oluşumudur (Lee ve Feng, 2010).

Çizelge 1. Ultrasonun meyve sularında mikrobiyal inaktivasyon üzerine etkileri

Meyve suyu	İşlem koşulları	Mikroorganizma	Mikrobiyal azalma (log)	Kaynak
Elma-Havuç suyu	750 W, 20 kHz, 13 mm prob, 3010 kPa, 60 °C, 30 s	<i>Escherichia coli</i> 0157:H7	5	Kahraman ark., 2016
Elma suyu	200 W, 24 kHz, 3 mm prob, %100 genlik, 75 °C, 30 dk	<i>Neosartorya fischeri</i> ascospores	1.6	Evelyn ark., 2016
Elma suyu	600 W, 20 kHz, 13 mm prob, %80 genlik, 44 °C, 30 dk	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> KE162	5.8	Ferrario ark., 2015
Portakal suyu	700 W, 20 kHz, 13 mm prob, %80 genlik, 60 °C, 30 dk	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213	10.6	Tahi ark., 2021
Portakal suyu	700 W, 20 kHz, 13 mm prob	<i>Escherichia coli</i>	3.02	Bhavya ve Hebbar, 2019
Karadut suyu	750 W, 20 kHz, 13 mm prob, genlik %100, 1,63 W/mL, 50°C, 15 dk	<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	5.14	Dinçer ve Topuz, 2014
Çin kocayemişi suyu	400 W, 20 kHz, 10 mm prob 63 °C, 9,6 dk	<i>Bacillus subtilis</i>	5	Li ark., 2019
Yaban mersini suyu	560 W, 350 MPa, 40 °C, 5 dk	<i>Escherichia coli</i> 0157:H7	5.85	Zhu ark., 2017

Akustik kavitasyon kabarcıklarının patlaması, suyun hidrojen atomu (H<sup>+</sup>) ile hidroksil radikalinin (OH<sup>-</sup>) ayrışmasına ve serbest radikal oluşumuna neden olur. Hidrojen atomu ve hidroksil radikalinin yeniden birleşmesiyle, bakterisidal etkiye sahip olan hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) meydana gelir. H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup> ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, DNA replikasyonunu kırmak için mikroorganizmaların DNA zincirleriyle reaksiyona girerek inaktivasyonu sağlarlar (Fan ark., 2021). Kavitasyonun fiziksel etkileri; lokalize yüksek sıcaklık ve basınç, şok dalgaları ve mikro akış oluşumudur (Lee ve Feng, 2010). Bununla birlikte kesme kuvvetleri ve mikro jetler gibi mekanik etkiler, bakteri hücre zarlarının mekanik olarak tahrip olmasına ve parçalanmasına yol açar (Wang ark.,2021). Ultrason dalgalarının bakterisidal etkisi, bakteri duvarının kalınlığı, uygulama alanındaki bakteri popülasyonu ve ultrason işleminin süresi, sıklığı ve yoğunluğu gibi birçok

faktöre bağlıdır (Tahi ark., 2021). Çizelge 1’de gösterildiği gibi, meyve sularında mikroorganizmaların inaktivasyon oranları üzerine ultrason işleminin etkisi incelenmiştir. Mikrobiyal inaktivasyon üzerine yapılan çalışmaların çoğu, düşük frekanslarda (20 kHz) ve yüksek güçlerde (>100 W uygulanan güç) gerçekleştirilmiştir. Genel olarak gram-pozitif bakteriler daha kalın hücre duvarları nedeniyle, gram-negatif bakterilere göre; bakteriyel sporlar ve mantarlar, vejetatif bakterilere göre; kok veya küresel şekilli hücreler, hücre yüzeyi ve hacmi arasındaki ilişkiden dolayı, basil veya çubuk şeklindeki hücrelere göre ultrasona karşı daha dirençlidir (Abdullah ve Chin, 2014).

### **Meyve suyu işlemede ultrason yönteminin enzim inaktivasyonuna etkisi**

Meyvelerin ve sebzelerin işlenmesinde gıda kalitesinin sağlanması için enzimlerin inaktive edilmesi oldukça önem taşımaktadır. Polifenol oksidaz (PPO) ve Peroksidaz (POD) kaynaklı enzimatik esmerleşmeye bağlı olarak meydana gelen renk değişimleri, meyve suyunda kaliteyi etkileyen önemli bir problem olarak görülmektedir. Günümüzde meyve suyu üretiminde mikroorganizma ve enzimlerin inaktivasyonu için genellikle ısı işlem kullanılmaktadır. Ancak, ısı işlemler sırasında seçilen parametrelere göre gıdanın besinsel ve duyuşsal özellikleri olumsuz etkilenmektedir (Baltacıoğlu, H., ve Doğanay, G., 2019). Bilimsel kanıtlar geleneksel ısı işleme (30 dakika, 60 °C) karşılaştırıldığında, termosonikasyonun meyve ve sebze sularının işlenmesi için uygun bir teknoloji olduğunu göstermektedir. (Anaya-Esparza ark., 2017). Çizelge 2’de ultrason işleminin meyve sularında enzim inaktivasyonu üzerine etkilerini içeren bazı çalışmalar özetlenmiştir.

Saeeduddin ark. (2015), armut suyuna uygulanan (750 W, 65°C, 10 dk) ultrason işleminde sonra % 90 üzerinde enzim inaktivasyonu sağlamıştır. Aynı sıcaklık ve süre parametrelerinde pastörizasyon uygulandığında ise daha düşük oranda (~%40) enzim inaktivasyonu elde edilmiştir. Karagöz ve Demirdöven (2016), havuç suyu örneğine 65 °C’de uygulanan geleneksel termal işleme 62. dakikada ve aynı sıcaklıkta termosonikasyon işlemiyle 37. dakikada PME inaktivasyonunu sağlamışlardır. Termosonikasyon uygulaması ile inaktivasyon süresi % 40,3 oranlarında daha kısa sürmüştür. Ultrasonun ısı işlemle beraber uygulanması sonucunda enzim inaktivasyon süresinin neredeyse yarı yarıya düştüğü ifade edilmiştir. Benzer şekilde greyfurt suyuna (420 W, 60 °C, 60 dk) uygulanan termosonikasyon işlemi sonucunda enzim inaktivasyonu %90 üzerinde sağlanmıştır.

Çizelge 2. Ultrasonun meyve suyunda enzim inaktivasyonu üzerine etkileri

Meyve suyu	İşlem Koşulları	Enzim İnaktivasyonuna Etkisi	Kaynak
------------	-----------------	------------------------------	--------

Şeftali suyu	400 W, 24 kHz, %80 genlik, 60 °C, 10 dk	PPO %97,41, POD %89,47 oranında inaktivasyon	Baltacıoğlu, 2021
Portakal suyu	200 W, 24 kHz, 3 mm prob, 63 °C 9,8 dk	PME % 91 oranında inaktivasyon	Koshani ark., 2014
Elma suyu	750 W, 20 kHz, 13 mm çapında prob, genlik %70, 0,3 W/cm <sup>3</sup> , 60 °C, 10 dk 500 W, 25 kHz, ultrasonik banyo, %70 genlik, 0,06 W/cm <sup>3</sup> , 60 °C, 30 dk,	PPO % 93,85, PME % 92,9 POD % 91 oranında inaktivasyon PPO %37, POD %30, PME %38 oranında inaktivasyon	Aabid ark., 2014
Elma suyu	400 W, 24 kHz, %80 genlik, 60 °C, 15 dk	PPO ~%97, POD ~%87 oranında inaktivasyon	Şahin, 2019
Greyfurt suyu	420 W, 28 kHz, Ultrasonik banyo, %70, 60 °C, 60 dk	PME % 91, PPO % 90, POD % 89 oranında inaktivasyon	Aadil ark., 2015
Armut suyu	750 W, 20 kHz, genlik %70, 65 °C, 10 dk	PPO % 98.09, PME % 96,75, POD % 95,7	Saeeduddin ark.,2015
Havuç suyu	750 W, 20 kHz, 13 mm prob, %70 genlik, 48 W/cm <sup>2</sup> , 60 °C, 10 dk	PPO, POD, PME ve LOX enzimlerinde %90 üzerinde inaktivasyon	Jabbar ark., 2015
Havuç suyu	Ultrasonik banyo, 65 °C, 37 dk	PME enzim inaktivasyonu sağlanmıştır	Karagöz ve Demirdöven, 2016
Yaban mersini suyu	560 W, 350 MPa, 40 °C, 5 dk	PPO ~%89 oranında inaktivasyon	Zhu ark., 2017
Hint inciri suyu	1500 W, 20 kHz, %80 genlik, 50 °C, 25 dk	PME enzim aktivitesi azalmıştır	Cruz-Cansino ark., 2015

Sonuçlar, düşük sıcaklıkta termosonikasyonun, enzim ve mikroorganizma inaktivasyonunu artırabileceğini göstermiştir. Böylece ultrasonun ısı ile kombine kullanımının, daha iyi sonuç elde etmek için potansiyel bir teknik olarak değerlendirildiği belirtilmiştir (Aadil ark., 2015). Bir başka çalışmada taze elma suyu örneklerine, ultrasonik banyo (25 kHz, 30 dakika, 0,06 W/cm<sup>3</sup>) ve probu ultrasonik sonikatör (20 kHz, 5 ve 10 dakika, 0,30 W/cm<sup>3</sup>) kullanılarak 20 °C, 40 °C ve 60 °C’de termosonikasyon uygulanmıştır. Ultrasonik banyo ile gerçekleştirilen (60 °C, 30 dk) işlemde kalan PPO, POD ve PME enzim aktivitesi sırasıyla %63, %70, %62’dir. Prob sistemi ile elde edilen sonuçlara göre 60 °C’de 10 dk işlemde kalan tüm enzimlerin inaktivasyonu %90 üzerinde sağlanmıştır. Prob sisteminin, ultrasonik banyo ile kıyaslandığında daha düşük sıcaklıkta ve kısa sürede, daha yüksek enzim inaktivasyonu sağladığı belirlenmiştir (Abid ark., 2014). Enzim inaktivasyonunda, ultrason işlemi düşük sıcaklık, düşük basınç ve pH gibi uygulamalar ile kombinlendiğinde etkinliğinin arttığı tespit edilmiştir (Türksönmez ve Diler, 2021).

Ultrason ile mikroorganizmaların ve enzimlerin inaktivasyonu başlıca fiziksel (kavitasyon, mekanik etkiler) ve/veya kimyasal (sonokimyasal reaksiyon nedeniyle serbest radikallerin oluşumu) işlemler tarafından gerçekleşmektedir (Ulusoy ve Karakaya, 2011). İnaktivasyon mekanizmaları, her enzime özeldir ve aminoasit kompozisyonlarına ve konformasyonel yapılarına bağlıdır (Islam, Zhang ve Adhikari, 2014). Enzim inaktivasyonunda yer alan temel prensip depolimerizasyon etkisidir (Dolas ark., 2019). Kavitasyon, polipeptit zincirlerinde hidrojen bağının veya Van der Walls etkileşiminin bozulmasına, proteinin ikincil ve üçüncül yapısının değişmesine neden olabilir. Bu değişiklik, birçok enzimin aktivitesinin kaybına neden olur (Rani ark., 2020).

### **Meyve suyu işlemede ultrason yönteminin biyoaktif bileşikler ve fizikokimyasal özellikler üzerine etkileri**

Meyve sularında askorbik asit, fenolik bileşikler, karotenoidler gibi biyoaktif bileşiklerin varlığı, kalite ve besin değeri için oldukça önemlidir. Birçok yazar farklı çalışma koşullarında uygulanan ultrason yönteminin, meyve suyunun fizikokimyasal özelliklerine (bulanıklık, renk, pH, asitlik, briks ve viskozite) ve biyoaktif bileşenlerine (fenolik bileşikler, askorbik asit, antosiyaninler) etkilerini incelemiştir (Çizelde 3 ve 4).

Asitlik meyvenin türüne bağlı olmakla birlikte, meyve sularının stabilitesi ile ilgili önemli bir özelliktir. Termosonikasyon işleminden sonra mango suyu (Santhira segaraham ark., 2013), elma suyu (Abid ark., 2014), karadut suyu (Dinçer ve Topuz, 2014), havuç suyu (Jabbar ark., 2015), armut suyu (Saeeduddin ark., 2015), çilek suyu (Bhat ve Goh, 2017), örneklerinin pH, briks, asitlik değerlerinde önemli bir değişiklik bildirilmemiştir. Viskozite, uygulanan ultrason gücü, uygulama süresi ve sıcaklığı ile meyve suyu çeşidi ve içeriğine göre önemli farklılıklar göstermektedir. Ultrason işleminden sonra çilek suyunun viskozitesindeki azalış, polimerik yapıların (genellikle pektin) parçalanmasıyla ilişkilendirilmiştir (Bhat ve Goh, 2017).

Meyve suyu örneklerindeki renk değişimi, renk parametrelerinin artışıyla açıklanabilir. Yüksek işlem sıcaklığında (60 °C) elma suyunun renk, görünüm ve bulanıklık parametreleri ultrasonik işlemde olumlu etkilenmiştir (Ertugay ve Başlar, 2014). Çizelge 4’de farklı ultrason işlem koşullarında elma suyu, karadut suyu, havuç suyu örneklerinin L\*, a\* ve b\* değerlerinde artış belirlenmiştir (Abid ark., 2014; Dinçer ve Topuz, 2014; Jabbar ark., 2015). Başlar ve Ertugay (2013), ultrasonik işlemin elma suyu örneklerinin L\* ve b\* değerlerinde artışa neden olduğunu ve renk değişiminin işlem sırasında akustik kavitasyonlarla enzimatik esmerleşme bileşiklerinin parçalanmasından kaynaklanabileceğini bildirmiştir. Benzer bir şekilde termosonike edilmiş şeftali suyu örneğinde L\* değerindeki artışa bağlı olarak rengin korunduğu ve daha açık hale geldiği belirlenmiştir. Aynı zamanda b\* değerindeki artış örnekte sarılığın arttığını, a\* değerindeki düşüş, termosonikasyon sırasında meyve sularının daha az kırmızıya döndüğünü göstermiştir. Renk değerleri incelendiğinde termosonikasyon işlemi ile ısıl işleme göre daha kaliteli meyve suyu elde edildiği görülmüştür (Baltacıoğlu, 2022).



Çizelge 3’de çilek suyu, yaban mersini suyu ve ıspanak suyu örneklerinin antosiyanin içeriğindeki artış sunulmuştur.

Çizelge 3. Ultrasonun meyve suyunda biyoaktif bileşikler üzerine etkileri

Meyve suyu	İşlem Koşulları	Etki	Kaynak
Elma suyu	750 W, 20 kHz, 13 mm prob, 0,30 W/cm <sup>3</sup> , %70 genlik 60 °C, 10 dk 500 W, 25 kHz, Ultrasonik banyo, %70 genlik, 0,06 W/cm <sup>3</sup> , 60 °C, 30 dk	Kontrolle göre askorbik asit ~%7 toplam fenolik madde ~%26, toplam flavonoid ~%8, flavonol ~%25 azalış göstermiş Askorbik asit ~%9,9, fenolik madde ~%31, flavonoid ~%14,4, flavonol ~%33,7 azalış	Abid ark., 2014
Elma suyu	400 W, 24 kHz, %80 genlik, 60 °C, 15 dk	Toplam fenolik bileşende ~%46 artış belirlenmiş	Şahin EM., 2019
Greyfurt suyu	420 W, 28 kHz, Ultrasonik banyo, %70, 60 dk, 60°C	Askorbik asitte ~%11,3, toplam fenoliklerde ~%3,8, flavonoidlerde ~%6,8 ve flavonollerde ~%15,4 azalış	Aadil ark., 2015
Mango suyu	130 W, 40 kHz, 25 °C, 15 dk	Karotenoidler %9 ve toplam fenolik madde ~%30 artış, askorbik asit ~% 13 azalış	Santhirasegar am ark., 2013
Kivi suyu	400 W, 25 kHz, 16 dk	Toplam fenolik %108 ve flavonoid %105 artış, askorbik asit %55,09 azalış	Wang ark., 2019
Çilek suyu	25 kHz, % 70 genlik, 20 °C, 15 dk	Askorbik asit içeriği ~%12,7 Antosiyanin ~%4, toplam fenolik bileşikler ~%9,49 artış	Bhat ve Goh, 2017
Çilek suyu	400 W, 20 kHz, %50 genlik, 12 dk	Toplam fenolik ~%66 artış, flavonoid ~%80 artış, askorbik asit ~%62 artış	Wang ark., 2018
Çilek suyu	0,29 W/mL, 24 kHz, 55 °C, 3 dk	Toplam antosiyanin ~%8,9 artış, toplam fenolikte değişim bildirilmemiştir	Yıldız ark., 2021
Şeftali suyu	400 W, %80 genlik, 60 °C, 10 dk	Askorbik asit % 44,73 azalış, toplam fenoliklerde ~%7 azalış	Baltacıoğlu H., 2022
Havuç suyu	400 W, 24 kHz, 22 mm prob, genlik 120 µm, 58°C, 10 dk	Karotenoidlerde ~%3,44 ve antioksidan kapasitede ~%5,21 artış, fenolik bileşikler ve askorbik asitte önemli bir değişim bildirilmemiş	Martínez-Flores ark., 2015
Yaban mersini suyu	600 W, 20 kHz, %50 genlik, 60 °C, 15 dk	Kontrolle göre toplam fenol içeriğinde %139,32 toplam flavonoid %251,72 toplam antosiyaninde %94,12 artış	Wu ark., 2021

Balkabağı suyu	150 W, 37 kHz, ultrasonik banyo, 60 °C, 15 dk	Toplam flavonoid miktarı, kontrole göre yaklaşık %45 artış göstermiş, antioksidan kapasitede 2,3 kat artış	Demir ve Kılınç, 2018
Karadut suyu	750 W, 20 kHz, 13 mm prop, 1,63 W/mL genlik, 50 °C, 15 dk	Antosiyanin yaklaşık %2,5 azalış belirlenmiş	Dinçer ve Topuz, 2014
Ispanak suyu	600 W, 30 kHz, % 50 genlik, 60 °C, 20 dk	Toplam fenolik bileşen toplam flovonol flovonoid antosiyanin artış belirlenmiş	Manzoor ark., 2021
Altın çilek suyu	240 W, 42 kHz, Ultrasonik banyo, 30 °C 40 dk	Toplam fenolik içerik β-carotene belirlenmiş	Ordó ñez-Santos ark., 2017

Bulanıklık, meyve suyunun görünümünü, lezzetini etkileyen önemli bir kalite parametresidir. Genellikle pektin, protein, selüloz ve lipidlerden oluşan partiküllerle ilişkilidir (Baker ve Cameron, 1999; Ertugay ve Başlar, 2014). Termosonikasyon işleminden sonra greyfurt suyu (Aadil ark., 2015) ve bulanık elma suyu (Shen ark., 2021) örneklerinin bulanıklık değerinde artış belirlenmiştir (Çizelge 4). Bulanıklık değerindeki artış, kavitasyonlar tarafından uygulanan yüksek basınç gradyanı nedeniyle meyve suyunda (organik asitler, pektin veya şeker) asılı kalan büyük moleküllerin daha küçük moleküllere parçalanıp, yüzey alanının genişleyerek parçacıklar arasındaki mesafenin kısalmasıyla ilişkilendirilmiştir (Aadil ark., 2015; Bhat ve Goh, 2017).

Askorbik asit uygulanan ultrason işlemi koşullarına (genlik, akustik enerji, sıcaklık ve zaman ) ve meyve suyu çeşidine bağlı olarak değişiklik gösterir. Ultrason işleminden sonra şeftali suyu (Baltacıoğlu, 2022), kivi suyu (Wang ark., 2019), greyfurt suyu (Aadil ark., 2015), elma suyu (Abid ark., 2014) ve mango suyu (Santhirasegaram ark., 2013) örneklerinde askorbik asit kaybı bildirilirken, çilek suyu örneklerinde (Bhat ve Goh, 2017; Wang ark., 2018) artış belirlenmiştir. Çilek suyu örneklerinin askorbik asit içeriğinde belirlenen artışın, termosonikasyon işlemi sırasında oluşan kavitasyon ile çözünmüş oksijenin uzaklaştırılmasıyla veya hücre duvarının mekanik yırtılmasından kaynaklı olabileceği belirtilmiştir.

Tiwari ark. (2009), ısı işlem uygulanan portakal suyu örneklerinin askorbik asit içeriğini, kontrol ve sonikasyon uygulanan örnekten daha düşük miktarda belirlemiştir. Benzer şekilde mango suyunda sonikasyondan sonra termal işleme göre daha az oranda askorbik asit kaybı belirlenmiştir (Santhirasegaram ark., 2013).

Çizelge 4. Ultrasonun meyve suyunda fizikokimyasal özellikler üzerine etkileri

Meyve suyu	İşlem Koşulları	Etki	Kaynak
------------	-----------------	------	--------

Şeftali suyu	400 W, %80 genlik, 60 °C, 10 dk	pH, titre edilebilir asitlikte azalış, L* ve b* değerlerinde artış, a* değerinde azalış belirlenmiş	Baltacıoğlu H., 2022
Armut suyu	750 W, 20 kHz, %70 genlik, 65 °C, 10 dk	pH, briks ve titre edilebilir asitlikte önemli bir değişim bildirilmemiş	Saeeduddin ark., 2015
Elma suyu	750 W, 20 kHz, 13 mm prob 0,30 W/cm <sup>3</sup> , %70 genlik, 60 °C, 10 dk 500W, 25kHz, ,%70 genlik, 0,06 W/cm <sup>3</sup> , ultrasonik banyo 60 °C, 30 dk	pH, briks ve titre edilebilir asitlikte önemli bir değişim gözlenmezken, L*, a* ve b* değerlerinde artış belirlenmiş	Abid ark., 2014
Bulanık elma suyu	1125 W, 15 mm prob, 60 °C, 12 dk	Reolojik özelliklerde (görünür viskozite, akma gerilimi, tiksotropi) ve süspansiyon stabilitesinde gelişme belirlenmiş, bulanıklık stabilitesinde artış	Shen ark., 2021
Mango suyu	130 W, 40 kHz, 25 °C, 15 dk	pH, toplam çözünür katılar ve titre edilebilir asitlikte önemli bir değişiklik belirlenmezken, renk parametrelerinden L* değeri artarken, a* ve b* değeri azalmıştır.	Santhira segaraham ark., 2013
Çilek suyu	25 kHz, % 70 genlik, 20 °C, 15 dk	pH, su aktivitesi, briks, titre edilebilir asitlik ve renk parametrelerinde önemli bir değişim belirlenmezken, viskozitede azalış belirlenmiş	Bhat ve Goh, 2017
Greyfurt suyu	420 W, 28 kHz, %70 genlik, Ultrasonik banyo, 60 °C, 60 dk,	Elektriksel iletkenlikte azalış, bulanıklık, viskozitede ve L*, a*, b* değerlerinde artış belirlenmiş	Aadil ark., 2015
Ispanak suyu	600 W, 30 kHz,% 50 genlik 60 °C, 20 dk	Renk özellikleri ve süspansiyon stabilitesinde gelişme belirlenmiş	Manzoor ark., 2021
Altın çilek suyu	240 W, 42 kHz, Ultrasonik banyo, 30 °C, 40 dk	pH, briks ve titre edilebilir asitlikte önemli bir değişim yoktur.	Ordó ñez-Santos ark.,2017
Havuç suyu	400 W, 24 kHz, 22 mm prob, genlik 120 µm, 58°C, 10 dk	pH, briks ve titre edilebilir asitlikte önemli bir değişim gözlenmezken, L*, a*, b* değerlerinde artış belirlenmiş	Jabbar ark., 2015
Karadut suyu	750 W, 20 kHz, 13 mm prob, %100 genlik, 1,63 W/ml, 50 °C, 15 dk	pH ve titrasyon asitliğinde bir değişim belirlenmezken, L*, a*, b* değerlerinde artış bildirilmiş	Dinçer ve Topuz, 2014

Fenolik bileşikler ve antosiyaninler, renk ve lezzet gelişimine önemli ölçüde katkıda bulunan, ortamdaki serbest radikalleri temizleyebilen doğal antioksidanlardır. Meyve

suyunda bulunan toplam fenoller ve askorbik asit içeriğini arttırmak için uygun işlem koşullarında ultrason yöntemi kullanılabilir (Wang ark., 2018). Termosonikasyon işleminden sonra yaban mersini suyu (Wu ark., 2021), ıspanak suyu (Manzoor ark., 2021), elma suyu (Şahin EM., 2019), kivi suyu (Wang ark.,2019), çilek suyu (Bhat ve Goh, 2017), altın çilek suyu (Ordóñez-Santos ark., 2017) ve mango suyu (Santhirasegaram ark., 2013) örneklerinin fenolik madde miktarında artış belirlenmiştir (Çizelge 3). Ultrason işlemi sırasında, dokuda mikro boşlukların oluşmasının daha fazla fenolik bileşenin salınmasına ve kütle transfer oranının artmasına neden olduğu bildirilmiştir (Wu ark., 2021). Benzer şekilde ultrason işleminden sonra kivi suyunun mikro yapısı taralamalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Kivi suyu örneğinde % 108 gibi yüksek bir oranla fenolik bileşiklerdeki artışın, artan işlem süresiyle kivi dokusunda yüzeyinde veya hücreler arası boşluklarında daha fazla yırtılma ve bozulma meydana geldiği, daha büyük boyutlu mikroskobik delikler veya kanallar oluşmasına bağlı olduğu bildirilmiştir. (Wang ark., 2019). Termosonike edilen elma suyunun toplam fenolik madde içeriğindeki artışın, enzim inaktivasyonu ile birlikte PPO gibi enzimlerin fenolik bileşikleri substrat olarak kullanamamasına bağlı olabileceği düşünölmüştür (Şahin, 2019). Yapılan bir başka çalışmada ultrasondan sonra çilek suyunda belirlenen fenoliklerdeki artışın nedeninin, fenolik bileşiklerin aromatik halkasına sonokimyasal olarak üretilen hidroksil radikallerinin (OH<sup>·</sup>) eklenmesi olabileceği belirtilmiştir (Wang ark., 2018).

## SONUÇ

Literatür çalışmalarında ultrason yönteminin meyve suyu kalitesine etkisinin, işlem koşullarına (genlik, akustik enerji, sıcaklık ve zaman) ve meyve çeşidine bağlı olarak değişiklik gösterdiği rapor edilmiştir. Genellikle ultrason, tek başına kullanıldığında üründe kısa sürede ani sıcaklık yükselişine neden olarak bioaktif bileşiklerde meydana gelen kayıpları arttırmaktayken, ısıl işlemle (termosonikasyon) veya basınçla (monosonikasyon) kombine kullanıldığında, inaktivasyon çalışmalarında daha etkili sonuçlar elde edilmektedir. Bu yöntemlerle, meyve suyunun güvenliğini etkileyen mikroorganizma ve enzim inaktivasyonu, termal yönteme kıyasla daha düşük sıcaklık ve süre parametrelerinde sağlanmıştır. Bununla birlikte kavitasyon etkisine bağlı olarak meyve suyunun fenolik içeriğini geliştirmesi, askorbik asit kayıplarını azaltması, renk ve bulanıklık stabilitesini geliştirmesi ultrason işleminin önemini arttırmaktadır. Kaliteyi geliştirmesi nedeniyle ultrason, farklı birçok meyve suyu çalışmalarında, termal yönteme kıyasla güvenilir ve umut vadeden bir alternatif yöntem olarak değerlendirilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Aadil RM, Zeng XA, Zhang ZH, Wang MS, Han Z, Jing H, Jabbar S., 2015. Thermosonication: a potential technique that influences the quality of grapefruit juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(5): 1275–1282.
- Abid M, Jabbar S, Hu B, Hashim MM, Wu T, Lei S, Khan MA, Zeng X., 2014. Thermosonication as a potential quality enhancement technique of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(3): 984-990.
- Abdullah Norazlin, Chin Nyuk Ling., 2014. Application of thermosonication treatment in processing and production of high quality and safe-to-drink fruit juices. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2: 320–327.
- Anaya-Esparza LM, Velázquez-Estrada RM, Roig AX, García HS, Sayago-Ayerdi SG, Montalvo-González E., 2017. Thermosonication: An alternative processing for fruit and vegetable juices, *Trends in Food Science & Technology*, 61: 26-37.
- Baker RA, Cameron RG., 1999. Clouds of citrus juices and juice drinks. *Food Technology*, 53: 64–69.
- Baltacıoğlu H., 2022. Thermosonication of peach juice: investigation of PPO and POD activities, physicochemical and bioactive compounds changes, and development of FT-IR–based chemometric models for the evaluation of quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 57: 1688–1697.
- Baltacıoğlu H, ve Doğanay G, 2021. Isıl işlemin elma suyunda enzim aktivitesi ve fenolik bileşiklere etkisi: FTIR ve HPLC çalışması, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(1): 14 – 26.
- Başlar M, Ertugay, MF., 2013. The effect of ultrasound and photosonication treatment on PPO activity, total phenolic component, and colour of apple juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(4): 886-892.
- Bhavya ML, Hebbar HU., 2019. Sono-photodynamic inactivation of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* in orange juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 57: 108–115.
- Bhat R, Goh, KM., 2017. Sonication treatment convalesce the overall quality of hand-pressed strawberry juice. *Food Chemistry*, 215: 470–476.
- Carrillo-Lopez LM, Garcia-Galicia IA, Tirado-Gallegos JM, Sanchez-Vega R, Huerta-Jimenez M, Ashokkumar M, Alarcon-Rojo AD., 2021. Recent advances in the application of ultrasound in dairy products: Effect on functional, physical, chemical, microbiological and sensory properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73: 105467.
- Chemat F, Rombaut N, Meullemiestre A, Turk M, Perino S, Anne-Sylvie FT, Abert-Vian M., 2017. Review of Green Food Processing techniques: Preservation, transformation, and extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 41: 357-377.

- Cruz-Cansino NDS, Ramírez-Moreno E, León-Rivera JE, Delgado-Olivares L, Alanís-García E, Ariza-Ortega JA, Jaramillo-Bustos DP., (2015). Shelf life, physicochemical, microbiological and antioxidant properties of purple cactus pear (*Opuntia ficus indica*) juice after thermoultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27: 277-286.
- Dinçer C., Topuz A., 2014. Inactivation of *Escherichia coli* and quality changes in black mulberry juice under pulsed sonication and continuous thermosonication treatments. *Journal of Food Processing Preservation*, 39(6):1744-1753.
- Demir H, Kılınç A., 2018. Termosonikasyon uygulamasının bal kabağı suyunun biyoaktif bileşen ve antioksidan kapasitesi üzerine etkisi. *Gıda*, 43 (5): 787-799.
- Demirdöven A, Baysal T., 2008. The use of ultrasound and combined technologies in food preservation. *Food Reviews International*, 25(1): 1-11.
- Dolas R, Saravanan C, Pal Kaur B., 2019. Emergence and era of ultrasonic's in fruit juice preservation: A Review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 58: 104609
- Ertugay MF, Başlar M., 2014 The effect of ultrasonic treatments on cloudy quality-related quality parameters in apple juice, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 26: 226-231.
- Evelyn, Kim HJ, Silva FVM., (2016). Modeling the inactivation of *Neosartorya fischeri* ascospores in apple juice by high pressure, power ultrasound and thermal processing. *Food Control*, 59: 530–537.
- Fan K, Wu J, Chen L., 2021. Ultrasound and its combined application in the improvement of microbial and physicochemical quality of fruits and vegetables: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 80:105838
- Ferrario M, Alzamora SM, Guerrero S., 2015. Study of the inactivation of spoilage microorganisms in apple juice by pulsed light and ultrasound. *Food Microbiology*, 46: 635–642.
- Firouz MS, Farahmandi A, Hosseinpour S., 2019. Recent advances in ultrasound application as a novel technique in analysis, processing and quality control of fruits, juices and dairy products industries: A Review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 57: 73-88.
- Islam MN, Zhang M, Adhikari B., 2014. The inactivation of enzymes by ultrasound-A review of potential mechanisms. *Food Reviews International*, 30: 1–21.
- Jabbar S, Abid M, Hu B, Hashim MM, Lei S, Wu T, Zeng X., 2015. Exploring the potential of thermosonication in carrot juice processing. *Journal of Food Science and Technology*, 52(11): 7002-7013.
- Kahraman O, Lee H, Zhang W, Feng H., 2016. Manothermosonication (MTS) treatment of apple-carrot juice blend for inactivation of *Escherichia coli* 0157:H7. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38: 820-828.

- Karagöz Ş, Demirdöven A., 2016. Termosonikasyon ve geleneksel ısıtma uygulamalarının havuç suyuna etkileri: Pektinmetilesteraz inaktivasyonu ve fizikokimyasal özellikler. *Gıda*, 41 (5): 345-350.
- Knorr D, Zenker M, Heinz V, Lee DU., 2004. Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends in Food Science & Technology*, 15: 261–266.
- Koshani R, Ziaee E, Niakousari M, Golmakani MT., 2014. Optimization of thermal and thermosonication treatments on pectin methyl esterase inactivation of sour orange juice (*Citrus Aurantium*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 39: 567-573.
- Lee H, Feng H., 2010. Effect of power ultrasound on food quality. *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*, 559–582.
- Li J, Cheng H, Liao X, Liu D, Xiang Q, Wang J, Chen S, Ye X, Ding T., 2019. Inactivation of *Bacillus subtilis* and quality assurance in Chinese bayberry (*Myrica rubra*) juice with ultrasound and mild heat. *LWT*, 108: 113–119.
- Manzoor MF, Xu B, Khan S, Shukat R, Ahmad N, Imran M, Korma SA, Rehman A, Karrar A, Aadil RM, Korma SM., 2021. Impact of high-intensity thermosonication treatment on spinach juice: Bioactive compounds, rheological, microbial, and enzymatic activities. *Ultrasonics Sonochemistry*, 78: 105740.
- Martínez-Flores HE, Garnica-Romo MG, Bermúdez-Aguirre D, Pokhrel PR, Barbosa-Cánovas, GV., 2015., Physico-chemical parameters, bioactive compounds and microbial quality of thermo-sonicated carrot juice during storage. *Food Chemistry*, 172: 650-656.
- Ordóñez-Santos LE, Martínez-Girón J, Arias-Jaramillo ME., 2017. Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice. *Food Chemistry*, 233: 96-100.
- Perera CO, Alzahrani MAJ., 2021. Ultrasound as a pre-treatment for extraction of bioactive compounds and food safety: A review. *LWT- Food Science and Technology*, 142: 111114.
- Rani M, Sood M, Bandral JD, Bhat A, Gupta I., 2020. Thermosonication technology and its application in food industry. *International Journal of Chemical Studies* 8(3):922-928.
- Saeeduddin M, Abid M, Jabbar S, Wu T, Hashim MM, Awad FN., Hu B, Lei S, Zeng X., 2015. Quality assessment of pear juice under ultrasound and commercial pasteurization processing conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 64 (1), 452-458.
- Santhirasegaram V, Razali Z, Somasundram C., 2013. Effects of thermal treatment and sonication on quality attributes of Chokanan mango (*Mangifera indica* L.) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20: 1276–1282.
- Santos HM, Capelo JL., 2007. Trends in ultrasonic-based equipment for analytical sample treatment. *Talanta*, 73(5): 795-802.

Shen Y, Zhu D, Xi P, Cai T, Cao X, Liu H, Li J., 2021. Effects of temperature-controlled ultrasound treatment on sensory properties, physical characteristics and antioxidant activity of cloudy apple juice. *LWT- Food Science and Technology*, 142: 111030.

Swamy GJ, Muthukumarappan K, Asokapandian S., 2018. Ultrasound for Fruit Juice Preservation. *Fruit Juice*, 451–462.

Şahin EM., 2019. Elma suyunda termosonikasyon süresince fenolik bileşiklerdeki değişimin ftır spektroskopisi kullanılarak belirlenmesi ve polifenol oksidaz, peroksidaz inaktivasyonu. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilimdalı Yüksek Lisans Tezi, Niğde, Türkiye

Tahi AA, Sousa S, Madani K, Silva CLM, Miller FA., 2021. Ultrasound and heat treatment effects on *Staphylococcus aureus* cell viability in orange juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 78: 105743.

Tiwari BK, O'Donnell CP, Muthukumarappan K, Cullen PJ., 2009. Ascorbic acid degradation kinetics of sonicated orange juice during storage and comparison with thermally pasteurized juice, *LWT – Food Science and Technology*. 42 (3): 700–704.

Türksönmez Ç, Diler A., 2021. Gıda endüstrisinde ultrason uygulamaları. *Aydın Gastronomy*, 5(2):177 – 191.

Ulusoy K, Karakaya M., 2011. Gıda endüstrisinde ultrasonik ses dalgalarının kullanımı. *GIDA*, 36 (2):113-120.

Yildiz S, Pokhrel PR, Unluturk S, Barbosa-Cánovas GV., 2021. Shelf life extension of strawberry juice by equivalent ultrasound, high pressure, and pulsed electric fields processes. *Food Research International*, 140: 110040.

Yuan S, Li C, Zhang Y, Yu H, Xie Y, Guo Y, Yao W., 2021. Ultrasound as an emerging technology for the elimination of chemical contaminants in food: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 109: 374–385.

Zhu J, Wang Y, Li X, Li B, Liu S, Chang N, Jie D, Ning C, Gao H, Meng X, 2017. Combined effect of ultrasound, heat, and pressure on *Escherichia coli* O157:H7, polyphenol oxidase activity, and anthocyanins in blueberry (*Vaccinium corymbosum*) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 37: 251–259.

Wang G, Wu W, Zhu JJ, Peng D., 2021. The promise of low-intensity ultrasound: A review on sonosensitizers and sonocatalysts by ultrasonic activation for bacterial killing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 79: 105781.

Wang J, Vanga SK, Raghavan V., 2019. High-intensity ultrasound processing of kiwifruit juice: Effects on the ascorbic acid, total phenolics, flavonoids and antioxidant capacity. *LWT-Food Science and Technology*, 107: 299- 307.

Wang J, Wang J, Ye J, Vanga SK, Raghavan V., 2018. Influence of high-intensity ultrasound on bioactive compounds of strawberry juice: Profiles of ascorbic acid, phenolics, antioxidant activity and microstructure. *Food Control*, 96: 128-136.



Wu Y, Xu L, Liu X, Hasan KMF, Li H, Zhou S, Zhou Y., 2021. Effect of thermosonication treatment on blueberry juice quality: Total phenolics, flavonoids, anthocyanin, and antioxidant activity. *LWT- Food Science and Technology*, 150: 112021.