



## Yağlı Tohumlarda Ultrasonik Destekli Ekstraksiyon Yöntemi ve Avantajları

Tuğba Dedebaş<sup>1</sup>, Tuğba Dursun Çapar<sup>2\*</sup>, Lütfiye Ekici<sup>3</sup>, Hasan Yalçın<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bolvadin MYO., Afyon, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1663-0165), tugbadedebas@gmail.com

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1075-0054), tugbadursun@erciyes.edu.tr

<sup>3</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2216-9128), lutfiyed@erciyes.edu.tr

<sup>4</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1038-1877) hyalcin@erciyes.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 30 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 03 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.759702)

**ATIF/REFERENCE:** Dedebaş, T., Dursun Çapar, T. Ekici, L. & Yalçın, H. (2021). Yağlı Tohumlarda Ultrasonik Destekli Ekstraksiyon Yöntemi ve Avantajları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 313-322.

### Öz

Tohum yağları, endüstriyel olarak mekanik presleme veya organik çözücü kullanılarak ekstrakte edilmektedir. Endüstriyel olarak solvent ekstraksiyon aşamasında, tohumlardan yağ ekstrakte etmek için çözümler kullanılmaktadır. Bu tür çözümlerin endüstriyel kullanımı ile ilgili çevresel kaygılara ek olarak, yüksek sıcaklık ve uzun ekstraksiyon zamanı gerektirmesi solvent ekstraksiyonunun dezavantajı olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda solvent ekstraksiyonuna alternatif yöntemler çalışılmaktadır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, ultrasonik-destekli ekstraksiyonun (UDE) umut verici yöntemlerden biri olduğunu ortaya koymaktadır. Ultrason uygulaması akustik kaviteasyon kuvveti ile sıvıdaki kütle transferini artırmaktadır. Patlayıcı kabarcıklar tarafından üretilen yüksek kayma derecesi, hücre duvarlarına zarar vererek hücre içi bileşenlerin çözücüye geçişini artırmaktadır. UDE yöntemi; hızlı, yüksek verimli ve düşük sıcaklıklarda uygulandığından ekstraktların termal zararlanmasını önleyerek biyoaktif bileşiklerin yapısal ve moleküler özelliklerinin korunumunda etkili bir yöntemdir. Sıralanan avantajları nedeni ile yağ endüstrisinde ideal bir seçenek oluşturmaktadır. Ultrasonik uygulamalar, sürdürülebilir “yeşil kimya” ve ekstraksiyon hedefine ulaşmada kilit bir teknoloji olarak dikkat çekmektedir. Mevcut çalışmada UDE’ nin uygulama alanları ile diğer yöntemlere kıyasla sahip olduğu avantajlar derlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ultrason, yağlı tohum, yağ ekstraksiyon, yeşil kimya,

## Ultrasound-Assisted Extraction Method and Its Advantages in Oil Seeds

### Abstract

Seed oils are extracted industrially using mechanical pressing or organic solvents. In solvent extraction method, solvents are used to extract oil from oil seeds. In addition to the environmental concerns associated with the industrial use of such solvents, the need for high temperature and long extraction time is considered to be the disadvantage of solvent extraction. In recent years, alternative methods to solvent extraction have been examined. The results of these studies reveal that ultrasonic-assisted extraction (UAE) is one of the promising methods. Ultrasound application increases the mass transfer in liquid with acoustic cavitation force. The high degree of shear produced by explosive bubbles increases the penetration of the intracellular components into the solvent by damaging the cell walls. UAE method; is an effective method for preserving the structural and molecular properties of bioactive compounds by preventing thermal damage of extracts since it is applied with high efficiency and at low temperatures. Due to the listed advantages, it is an ideal choice in the oil industry. Ultrasonic applications stand out as a key technology in achieving the goal of sustainable green chemistry” and extraction. In the present study, the application areas of the UAE and its advantages over other methods have been compiled.

**Keywords:** Ultrasound, oilseed, oil extraction, green chemistry, product.

\* Sorumlu Yazar: [tugbadursun@erciyes.edu.tr](mailto:tugbadursun@erciyes.edu.tr)

## 1. Giriş

Yağlar vücut tarafından kullanılan temel enerji kaynaklarından biridir. Sinir uyarılarının iletilmesinde, hücre zarının bütünlüğünün korunmasında ve hücresel taşımada rol alırlar. Ayrıca, birçok hormonun öncülleri olmaları gibi nedenlerle de günlük diyetlere yeterli miktarda yağın ilave edilmesi önem kazanmaktadır. Yağlı tohumlar, monoaçil gliserol, diaçil gliserol, triaçilgliserol ve pigmentler, steroller, antioksidanlar ve alkaloidler gibi minor bileşiklerin ekstrakte edilebilen kompleks matrikslerdir (Meireles, 2008).

Yağ açısından zengin bitki tohumlarının yağları, endüstriyel olarak mekanik presleme veya organik çözücü kullanılarak ekstrakte edilmektedir (Liu ve diğ., 2009a). Mekanik presleme, yüksek kalitede yağ eldesi sağlarken, ekstraksiyon işlemi ise yüksek enerji gerektirmektedir (Liu ve diğ., 2009a; Liu ve diğ., 2009b). Presleme, tohumun katı kısımdan yağın sıkılarak çıkarılmasına dayanan eski bir yöntem olup yağın %30'dan fazlası matrikste kalmaktadır. Kalan yağın çıkarılması ve maksimum yağ elde edilmesi için preslenen kek daha sonra solvent ekstraksiyonuna tabi tutulur. Solvent ekstraksiyonunda tohumda kalan yağın tamamına yakın kısmı alınabilmektedir (Carrin ve Crapiste, 2008). Endüstriyel olarak solvent ekstraksiyon aşamasında, karşı akım özütleyicilerde yüksek miktarda heksan, metanol, etanol, petrolyum eteri ve aseton gibi çözümler kullanılmaktadır (Mitra, Ramaswamy ve Chang, 2009; Eikani, Golmohammad ve Homami, 2012; Stanisavljević, Lazić ve Veljković, 2007). Bu tür çözücülerin endüstriyel kullanımı ile ilgili çevresel kaygılara ek olarak, yüksek sıcaklıkta uygulanması ve ekstraksiyon zamanının uzun olması da solvent ekstraksiyonunun dezavantajları arasında yer almaktadır (Zhang ve diğ., 2008). Belirtilen bu nedenlerle, solvent ekstraksiyonuna alternatif olarak etkili ve seçici yağ ekstraksiyonu sağlayan teknikler geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Artan enerji maliyetleri ve sürdürülebilir yeşil kimya, gıda ve bitki bazlı kimya endüstrilerini enerji tüketimini azaltan, emisyonadaki yasal gereklilikleri karşılayan, ürün/proses güvenliğini ve kontrolünü sağlayan yeni teknolojilere yöneltmiştir. Bu teknolojilerin maliyeti azaltıp, kalite ve fonksiyonelliği artırması istenmektedir. Günümüzde solvent ekstraksiyonuna alternatif olarak süper kritik akışkan ekstraksiyonu ve ultrasonik-destekli ekstraksiyon uygulamaları dikkat çekmektedir (Liu ve diğ., 2009a; Liu ve diğ., 2009b; Liu, Xu, Hao ve Gao, 2009c). Süper kritik akışkan ekstraksiyonu, temiz ve toksik olmayan çözücü gerektirirken (Liu ve diğ., 2009a) endüstriyel kullanımı karmaşık, aparatlarının pahalı ve yağ veriminin düşük olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Rui, Zhang, Li ve Pan, 2009). Bu nedenlerle özellikle son yirmi yıldır bu tür eksikliklerin giderilmesi için ultrasonik-destekli ekstraksiyon gibi otomasyona uygun, gelişmiş ve verimli ekstraksiyon tekniklerinin kullanımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Ultrason teknikleri nispeten ucuz, ekstraksiyon süresi kısa, organik çözücü tüketimi daha düşük dolayısı ile de enerji ve maliyet tasarrufu sağlayan yöntemlerdir. Bunların yanı sıra hızlı, verimi yüksek, düşük sıcaklıklarda yapılabildiği için ekstraktların termal açıdan zarar görmesini önleyen ve biyoaktif bileşiklerin moleküler özelliklerini koruyan yağ endüstrisinde ideal bir seçenek oluşturmaktadır (Madhu, Sai Srinivas, Srinivas ve Jain, 2019).

İnsan işitme sınırının ötesinde frekanslı ses dalgalarından oluşan ultrason, 20 kHz veya daha yüksek frekanslarda olan akustik basınç dalgalarını ifade etmektedir. Birçok endüstriyel uygulamada frekansı ayarlayarak ultrason başarı ile kullanılabilir. Ultrasonik dalga üreten sistemler;

jeneratör, dönüştürücü ve uygulama sistemlerinden oluşmaktadır. Jeneratör elektriksel veya mekanik enerji üretirken, dönüştürücü bu enerjiyi ultrasonik frekanslarda ses enerjisine dönüştürmektedir (Ercan ve Soysal, 2013).

Ultrason, 20 kHz ile 10 MHz aralığında olup;

- 1) yüksek yoğunluklu ve düşük frekanslı (20–100 kHz),
- 2) orta yoğunlukta ve ara frekans (100 kHz-1 MHz aralığı)
- 3) düşük yoğunluklu ve yüksek frekanslı (1-10 MHz) olmak üzere üç kategoriden oluşmaktadır

(Gharibzahedi ve Smith, 2020; Hu, Cheung, Pan, & Li-Chan, 2015; Alarcon-Rojo, Carrillo-Lopez, Reyes-Villagrana, Huerta-Jimenez ve Garcia Galicia, 2019).

Düşük yoğunluklu yüksek frekanslı ultrason yönteminde, kompozisyon ve yapı gibi gıdaların fizikokimyasal özellikleri hakkında bilgi sağlayan analitik uygulamalarda kullanılmaktadır (Zhang, Regenstein, Zhou ve Yang, 2017). Yüksek yoğunluklu ultrason olarak da bilinen yüksek güçlü ultrason ise, gıdaların fiziksel, kimyasal veya mekanik özelliklerinde değişiklikler yapmak amacıyla tercih edilmektedir (Téllez-Morales, Hernández-Santo ve Rodríguez-Miranda, 2020). Gıdalara ultrason doğrudan uygulama, cihaza bağlama ve ultrason banyosuna daldırma olmak üzere üç farklı şekilde uygulanabilmektedir (Madhu, Sai Srinivas, Srinivas ve Jain, 2019). Genel olarak, gıda işlemede ultrason düşük frekanslarda (20-100 kHz) kullanılmaktadır (Ashokkumar, 2015; Ojha Mason, O'Donnell, Kerry ve Tiwari, 2017). Ultrason uygulamalarda 10-1000 W/cm<sup>2</sup> ses yoğunluğunda kavitasyona neden olmaktadır (Feng ve Yang, 2005). Ultrason destekli ekstraksiyon yönteminde; geleneksel termal yaklaşımlara ultrasonik işlem ekleyerek oluşturulan akustik kavitasyon kuvvetinin etkisi ile kütle transferi artırılmaktadır. Patlayıcı kabarcıklar tarafından üretilen yüksek kayma derecesi, hücre duvarlarına zarar vererek hücre içi bileşenlerin çözücüye geçmesini sağlamaktadır (Boateng ve Nasiru, 2019). Son yıllarda ultrason destekli ekstraksiyondaki gelişmeler ultrason destekli Soxhlet ekstraksiyonu, ultrason destekli Clevenger destilasyonu, sürekli ultrason destekli ekstraksiyon ve mikrodalga, ekstrüzyon, süper kritik akışkan ekstraksiyonu ile birleştirilmiş ultrason gibi yenilikçi tekniklerin ortaya çıkmasını sağlamıştır (Chemat ve diğ., 2017).

## 2. Ultrasonik ekstraksiyonu etkileyen parametreler

Ultrasonun bir sıvıdaki sonokimyasal etkileri, akustik kavitasyon olaylarına bağlıdır. Akustik kavitasyon genel olarak ultrason dalgasının sıvı bir ortamda yayılması sırasında meydana gelen kabarcık oluşumu, kabarcığın büyümesi ve patlaması anlamına gelmektedir (Kentish ve Ashokkumar, 2011). Sıvı molekülleri oluşturan moleküller çekici kuvvetlerle bir arada tutulmaktadır. Ultrason dalgasının elastik bir ortam boyunca yayılması, yapısal moleküllerin uzunlamasına yer değiştirmesi ile sonuçlanan bir basınç oluşturmaktadır. Sıvı fazı oluşturan moleküller bu basınç etkisi ile orijinal konumlarından çıkmakta ve kendilerini çevreleyen moleküllerle birleşmektedirler (Ercan ve Sosyal, 2011). Ultrasonik ekstraksiyonu etkileyen parametreler fiziksel ve ortam parametreleri olarak başlıca 2 grupta toplanarak açıklanmıştır.

### 2.1. Fiziksel Parametreler

Ultrason uygulaması mekanik bir dalga olduğundan, frekans, dalga boyu ve genlik gibi özellikleri akustik kavitasyonu ve

dolayısıyla ekstraksiyonu etkilemektedir. Gücün yanı sıra reaktör tasarımı ve probun şekli de işlemi etkileyebilmektedir (Palma ve diğ., 2013). Yapılan çalışmalar yüksek ultrasonik gücün, materyalde daha büyük kesme kuvvetlerini indükleyerek (ortamın yapısına ve özelliklerine bağlı olarak) önemli değişikliklere neden olduğunu göstermektedir. Ancak, gıda endüstrisinde genellikle bu parametre, en iyi sonucu elde etmek için minimum güç kullanılarak optimize edilmektedir (Bermúdez-Aguirre, Mobbs ve Barbosa-Cánovas, 2011). Genel olarak ultrason destekli ekstraksiyonda ekstraksiyon verimi ve etkinliğini artırmak için ultrason gücü artırılmakta, çözücü-katı temasını arttırmak için gıda matrislerinin nemi azaltılmaktadır. Bu uygulamalarda ekstraksiyon süresini kısaltmak için sıcaklık da optimize edilebilmektedir. Ultrason destekli ekstraksiyonlarda en sık kullanılan frekanslar 20-100 kHz arasındadır (Madhu, Sai Srinivas, Srinivas ve Jain, 2019).

Ultrasonik yoğunluk, saniye başına ve yayılan yüzeyin metre kare başına iletilen enerji olarak ifade edilmektedir. Bu parametre doğrudan dönüştürücünün genliği ve dolayısıyla da ses dalgasının basınç genliği ile ilişkilidir. Basınç genliğindeki artışla birlikte, kabarcık çökmesi daha şiddetli olmaktadır. Kaviteasyon eşiğini elde etmek için minimum bir ultrasonik yoğunluk değeri gereklidir. Ultrasonik yoğunluk, ekstraksiyon verimini kuvvetlice etkileyen bir girdi değeridir. Ultrasonik yoğunluğun artması genellikle sonokimyasal etkilerin artmasına neden olmaktadır. Genliği artırmak ultrasonik yoğunluğu artırabilir. Ancak, yüksek genlik ultrasonik dönüştürücüsünün hızlı bir şekilde bozulmasına yol açabilmektedir. Bunun sonucunda ise kaviteasyon yerine sıvılar karışmakta ve ultrason sıvı ortamda zayıf bir şekilde iletilmektedir (Capelo-Martinez, 2009).

## 2.2. Ortam Parametreleri

Ortam, ultrason destekli ekstraksiyonun başarısında etkili parametrelerin başında gelmektedir. Ultrason uygulamasında kullanılacak çözücü, hedef metabolitlerin çözünürlüğünü esas almakla birlikte çözücünün buhar basıncı, yüzey gerilimi ve viskozitesi de önem taşımaktadır. Bu fiziksel parametreler akustik kaviteasyonu ve daha spesifik olarak kaviteasyon eşiğini etkilemektedir (Mason ve Lorimer, 2002). Viskozite veya yüzey gerilimi artışı, moleküler etkileşimlerde artışa neden olarak kaviteasyon eşiğini önemli ölçüde arttırmaktadır. Örneğin viskozitesinin artması ile ultrason cihazın hareketine olan direnci arttırdığından, yüksek viskoziteye sahip numuneler ile çalışılırken yüksek güç (genlik) ile çalışılması tavsiye edilmektedir (Capelo-Martinez, 2009). Ultrason ekstraksiyonunda genellikle düşük buhar basıncına sahip çözümler tercih edilmektedir. Çünkü bu tip çözümlerde kaviteasyon baloncuklarının bir araya gelmesi, yüksek buhar basıncına sahip olan çözümlere göre daha iyi olmaktadır (Flannigan ve Suslick, 2010).

Sıcaklık, çözümlerin özelliklerinin etkileyen bir diğer parametredir. Sıcaklık artışı viskoziteyi ve yüzey gerilimini azaltırken, buhar basıncını arttırmaktadır. Buhar basıncının artması, daha fazla çözümlerin kaviteasyon kabarcığına girmesine neden olup kaviteasyon etkilerini azaltmaktadır (Capelo-Martinez, 2009). Genellikle sıcaklığın artması, ekstraksiyon veriminin artmasına neden olmaktadır (Palma ve diğ., 2013).

Ortamda gaz bulunmayışı kaviteasyon baloncuklarının oluşumunu zorlaştırır, çünkü kaviteasyon baloncukları ultrason uygulanan sıvı içinde çözünmüş gazlardan (buhar) oluşmaktadır (Petrier, Gondrexon ve Boldo, 2008). Çözümlerin içine çözünmüş gazlar yeni bir kaviteasyon kabarcığı için çekirdek görevi görmektedir (Mason ve Lorimer, 2002; Leong, Ashokkumar ve Kentish, 2011). Ultrasonun amacına ve hedef bileşenlere göre

bitki matrisi taze veya kuru olarak kullanılabilir. Gıda matrisine uygulanan önceki işlemler önemli olmakla birlikte ekstraksiyon etkinliğini değiştirebilmektedir (Koubaa ve diğ., 2016).

## 3. Ultrasonun gıdalardaki uygulamaları

Ultrason tekniği ilk olarak 1960'lı yıllarda bakteriyel lizis, emülsifikasyon ve sanitasyon uygulamaları için düşük frekanslı ultrason üreten sonotrodların kullanımı ile başlamıştır (Mason ve Lorimer, 2002). 1970-1995 yılları arasında, 6 kW'a kadar çalışan yüksek güçlü ultrason ekipmanı geliştirilmiştir. Geçtiğimiz 10 yılda, ultrasonik uygulamalar, havada yüksek miktarda ultrason üretebilen sistemlerin yanı sıra, daha yüksek megasonik frekanslarda (>400 kHz) ve çeşitli güç seviyelerinde (sırasıyla > 100W) ultrason üretebilen sistemlerin gelişmelerinin bir sonucu olarak kullanım alanını genişletmeye devam etmektedir (Liu ve diğ., 2014).

Günümüzde, ultrason teknolojisi tıbbi tarama, mineral işleme, nanoteknoloji, gıda teknolojisi, endüstriyel kaynak, yüzey temizleme ve çevresel dekontaminasyon uygulamaları gibi hemen hemen tüm alanlarda daha geniş uygulamalar kazanmıştır (Nithila ve diğ., 2014; Seymour, Burfoot, Smith, Cox ve Lockwood, 2002). Ultrason teknolojisi gıdalarda raf ömrünü uzatırken, işlenmeyi en aza indirmek, kaliteyi artırmak, işlem etkinliğini ve verimliliğini artırmak ve gıda güvenliği sağlamak için kullanılacak yeni ve umut verici bir teknolojidir (Huang ve diğ., 2017). Gıda endüstrisinde doğrudan veya dolaylı olarak mikrobiyal inaktivasyon, köpürme, gaz giderme, pişirme, donma ve kristalizasyon, kurutma, marine etme, filtrasyon, homojenizasyon / emülsifikasyon, temizleme, enzim inaktivasyonu ve kesme işlemleri gibi çok farklı alanlarda uygulama alanı bulmuştur. Ayrıca gıdalarda bulunan antioksidanlar, pigmentler, yağlar, fitokimyasallar ve aroma maddeleri gibi çeşitli moleküllerin ekstraksiyonunda da kullanılmaktadır (Wang ve Chen, 2006). Örneğin, ultrason tekniği ile domates yan ürünlerinden (yüzey, tohum ve pulp) karotenoidlerin ekstraksiyonu gelecek vaat eden bir yöntem olarak değerlendirilmektedir (Luengo, Condón-Abanto, Condón, Álvarez ve Raso, 2014).

Mikroorganizmaların inaktivasyonu için uygulanan ısı işlem gıdalarda besin kaybı, istenmeyen tatların gelişimi ve gıda ürünlerinin fonksiyonel özelliklerinin bozulmasına neden olabilmektedir (Yusaf ve Al-Juboori, 2014). Yapılan çalışmalar ultrason işleminin diğer bileşenler ile kombinasyonu sonucunda mikrobiyal inaktivasyon için yeterli olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin; Ayyıldız, Sanik ve İleri (2011) ultrason (20 kHz) ve klordioksit kombinasyonunun, *E. coli* ve toplam koliform sayısını azalttığını belirlemişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada, aşılanmış organik marullarda 5 dakika boyunca 40 kHz gücündeki ultrason ile birlikte %2'lik konsantrasyonda laktik, sitrik veya malik asit uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu uygulamaların *E. coli* O157:H7, *S. typhimurium* ve *L. monocytogenes* inaktivasyonunda etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca marullarda renk ve dokunun önemli ölçüde korunduğu da bildirilmiştir (Sagong ve diğ., 2011). Benzer şekilde mikroorganizma inaktivasyonu ile ilgili yapılan bir diğer çalışmada ise, şeftali meyvesinde mavi küfe neden olan *P. expansum*'un inaktivasyonunda, 10 dakika boyunca 40 kHz gücünde ultrason ve beraberinde 0.05 mM salisilik asit uygulamasının, tek başına uygulanan ultrasonik işlemde daha etkili olduğu belirtilmektedir (Yang, Cao, Cai ve Zheng, 2011). Bir diğer çalışmada ise, 40 kHz gücüne sahip ultrason ve %0.1 Tween 20 kombinasyonunun, *B. cereus* sporlarının azaltılması için en etkili uygulama olduğu saptanmıştır. Bu çalışmanın

sonucunda marul ve havuçta, *B. cereus* sporlarının sayısında sırasıyla 2.49 ve 2.22 log CFU/g azalma olduğu, buna karşın dokuda herhangi bir bozulma olmadığı rapor edilmiştir (Sagong ve diğ., 2013).

Literatürde meyve ve sebzelerin hasat öncesi ve sonrası dönemlerde kalitesinin ultrasonik işlem uygulanarak artırma üzerine birçok çalışma yer almaktadır (Brilhante de São José ve diğ., 2014). Bu çalışmaların birinde Chen ve Zhu (2011), Japon eriklerinde (*Prunus salicina* L.) klordioksitin ultrasonla (40 kHz) birlikte kullanılmasının sonucunda eriklerde hasat sonrası kalitenin daha iyi korunduğunu tespit etmişlerdir. Bu koruma meyve ve sebzelerde ultrason teknolojisi bozulma etkeni olan enzimleri kavıtasyon oluşturarak etkisiz hale getirmesinden kaynaklanmaktadır. Kavıtasyon sırasında oluşan kabarcıkların çökmesi sırasında oluşan sıcaklık ve basıncın etkisiyle enzimlerin yapısında bulunan polipeptid zincirlerindeki hidrojen ve van der Waals bağları arasındaki etkileşimi bozulmamaktadır (Rawson, Tiwari, Tuohy, O'Donnell ve Brunton, 2011; Mawson, Gamage, Terefe ve Knoerzer, 2011). Lopez ve diğ., (1994) ultrason (20 kHz) ve ısıl işlemin birlikte uygulanması sonucunda soya fasülyesinde bulunan lipoksigenaz enziminin inaktif hale geldiğini belirtmişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada ise, domateslerde kararmaya neden olan polifenoloksidaz enzimini inaktif hale getirmek için 50 saniye boyunca ultrasonik güç uygulanması ile büyük bir oranda enzimin etkisiz hale getirildiği belirtilmiştir (Ercan ve Soysal, 2011). Wu, Gamage, Vilku, Simons ve Mawson, (2008), domates suyunda bulunan pektin metil esteraz enziminin etkisiz hale gelmesi için ısı (60 ve 65 °C) ve termosonikasyon (25 µm, 50 µm ve 75 µm, 60 °C ve 65 °C) işlemlerinin birlikte uygulanması ile pektin metil esteraz aktivitesinde %90 oranında düşüş olduğunu belirtmişlerdir.

Ultrasonun bir diğer uygulama alanı gazlı içeceklerde gaz gidermedir. Son zamanda gazlı içeceklerden havanın alınması ultrason işlemi ile mümkün hale gelmektedir. Soniklenmiş ortamda kabarcıkların birikmesi, büyük baloncukların yüzeyden yükselmesini kolaylaştırmaktadır (Tervo, Mettin ve Lauterborn, 2006; Boistier-Marquis, Lagsir-Oulahal ve Callard, 1999).

Bir diğer uygulama alanı olan et teknolojisinde hem düşük hem de yüksek yoğunluklu ultrason kullanılmaktadır. Düşük yoğunluk ultrason uygulaması karkas özellikleri, canlı hayvanlarda kas, yağ ve iç organlar gibi dokuların genetik iyileşmede yardımcı olarak kullanılmaktadır (Boateng ve Nasiru, 2019; Awad, Moharram, Shaltout, Asker ve Youssef, 2012). Yüksek yoğunluklu ultrason uygulaması ise tüketici memnuniyetinde önemli kalite özelliklerini temsil eden etin tadı ve yumuşaklığını geliştirmek için odaklanmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar, et ve ürünlerinde çeşitli sonikasyon zamanlarında (33 s'den 90 m'ye), frekanslarda (15 ile 130 kHz) ve yoğunluklarda (1.89 ile 64 W/ cm<sup>2</sup>) yüksek yoğunluklu ultrason yönteminin marınasyon ve ısı gibi diğer teknolojilerle birlikte uygulandığında yüksek hassasiyete yol açan mikro yapısal değişiklikler üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir (Chang, Wang, Tang ve Zhou, 2015; Fan ve diğ., 2017; de Lima Alves ve diğ., 2018; Wang ve diğ., 2018; Xue ve diğ., 2018). Örneğin, Caraveo, Alarco-Rojo, Renteria, Santello ve Paniwnyk (2015) 1,27 cm kalınlıktaki bifteğe 40 kHz frekansta 11 W/cm<sup>2</sup> yoğunlukta 0, 60 ve 90 dakika süresince uyguladıkları ultrason işlemi sonucunda et parlaklığının arttığını belirtmişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada ise, aynı frekans ve yoğunlukta 20, 40 ve 60 dakika boyunca uygulanan ultrason işlemi sonucunda etin su bağlama kabiliyetinin arttığı saptanmıştır (Gonzalez- Gonzalez ve diğ., 2017).

Süt endüstrisinde son yıllarda alternatif bir yöntem olarak emülsiyon oluşturmak için ultrason kullanılmaktadır. Sıvı gıdalarda ultrason işlemi sırasında oluşan kararsız kavıtasyon kabarcıklarının çökmesiyle yağ küreciklerinin boyutları küçülerek daha kararlı emülsiyonlar oluşmaktadır. Ayrıca ultrason işleminin yüksek basınçlı homojenizasyonla birleştirilmesiyle, stabil nanoemülsiyonlar üretilebilmektedir (Mohammadi, Ghasemi-Varnamkhasi, Ebrahimi ve Abbasvali, 2014; Akdeniz ve Akalın, 2019). Yapılan bir çalışmada %7 keten tohumu yağı içeren emülsiyona 1-8 dakika boyunca 20 kHz gücünde, 176 W sonikasyon işlemi uygulanması sonucunda emülsiyonun jelleşme zamanı azalırken, jel kuvveti ve elastik yapının geliştiği belirlenmiştir (Arroyo, Cebrián, Pagán ve Condón, 2011). Diğer bir çalışmada ise, yağ küreciklerine ultrason ve ısıl işlemin birlikte uygulanması sonucunda proteinlerin boyutunda ve moleküler ağırlığında herhangi bir azalma olmadan yağ küreciklerinin partikül boyutlarının küçüldüğü tespit edilmiştir (Nguyen, Lee ve Zhou, 2009). Hongyu, Hulbert ve Mount (2000), yoğurt fermantasyonu sırasında inkübasyondan önce 1-20 dakika süresince 20 kHz 'lik ultrasonik güç uygulamasının yoğurdun su tutma kapasitesi ve viskozitesini artırırken, fermantasyon süresini kısalttığını saptamışlardır.

Akustik kurutma olarak da bilinen ultrason destekli kurutma yöntemi potansiyel olarak ticari önemi sahiptir. Bu kurutma yönteminde ultrason uygulaması ile malzemede mikroskobik kanallar oluşturulmakta ve bu kanallar yardımıyla buharın merkezden yüzeye kolay taşınması sağlanmaktadır. Sonikasyon işlemi, kurutma işleminde geleneksel yöntemlerden daha düşük sıcaklıkların uygulanmasına izin vermektedir. Isıya duyarlı gıdaların, lezzet, renk ve besin değerlerindeki değişikliğin en düşük seviyede tutulması için ultrason destekli kurutma uygulamalarının başarı ile kullanılabilmesi aktarılmaktadır (Chemat, Huma ve Khan, 2011). Nitekim Gamboa-Santos, Montilla, Cárceles, Villamiel ve Garcia-Pérez (2014), ultrasonik destekli konvektif kurutucularda çilek gibi ısıya duyarlı ürünler için gereken kuruma süresinin kısaltılabildiğini ve bu uygulamanın umut verici bir teknoloji olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada, ultrason uygulanmış sarımsakların 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda kurutulmaları sonucunda kuruma süresinin kısaltıldığını tespit etmişlerdir (Tao, Zhang, Jiang, Xu ve Ye, 2018).

#### 4. Ultrasonun yağlı tohumlarda kullanımı

Ekstraksiyon, bitki bazlı materyallerde bulunan lipofilik bileşenlerin geri kazanılması ve saflaştırılmasında kullanılan kilit noktadır. Klasik ekstraksiyonun temeli, uygun bir çözücünün kullanılması ile lipofilik bileşiklerin yağlı tohumlardan çıkarılması esasına dayanmaktadır. Yağlı tohumlardan yağ çıkarmak için en yaygın olarak kullanılan çözücüler hekzandır. Hekzan, düşük maliyetli olması, çözücünün geri kazanılması ve yağ verimini artırması gibi nedenlerle tercih edilmektedir (Serrato, 1981). Alternatif çözücüler, çözücü ile çözünen arasındaki moleküler afinitenin düşük olması nedeni ile yeterince etkin olmadığından, çözücü ve proses ekipman maliyetleri daha yüksek olabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda ultrason uygulaması, yağlı tohumlardan yağ ekstraksiyonunu artıran potansiyel bir teknoloji olarak görülmektedir (Li, Pordesimo ve Weiss, 2004). Ultrason uygulamaları gerek uçucu gerekse de sabit yağların çıkarılmasında etkili bir şekilde kullanılmaktadır (Koubaa, ve diğ., 2016). Ultrason uygulama sürecinde, hedeflenen bir bileşiğin hücre içi ortamdan hücre dışı ortama ekstraksiyonunu geliştirmeyi amaçlamaktadır (Roselló-

Soto ve diğ., 2015a). ). Ultrason destekli yağ ekstraksiyon yönteminin temel prensibi, ultrases dalgalarının etkisiyle ortaya çıkan akustik kaviteasyonlar ve hidrostatik basınç nedeniyle kütle transferini kuvvetlendirip daha fazla miktarda çözücü transferine imkan tanıyarak ekstraksiyon etkinliğinin ve veriminin artırılmasına dayanmaktadır (Sevindik ve Selli, 2017; Tontul, Mutlu, Koç ve Erbaş, 2018).Ultrason yöntemiyle ekstraksiyon uygulaması klasik ekstraksiyon yöntemlerine göre daha ekonomik olup, daha çevreci bir yöntemdir. Ayrıca kullanılan solvent miktarının azaltılması, daha yüksek ekstraksiyon verimi, ekstraksiyon süresinin kısaltılması ve enerji tüketiminin azaltılması gibi bazı avantajlara da sahiptir (Gulzar, Rajua, Nagarajaraob ve Benjakul, 2020; Abdelkebir ve diğ., 2019; Gulzar ve Benjakul, 2018; Koubaa ve diğ., 2015; Roselló-Sotove diğ., 2015b)

Literatür verileri incelendiğinde ultrason destekli ekstraksiyonda ultrason gücü, süresi ve sıcaklık parametrelerinin papaya

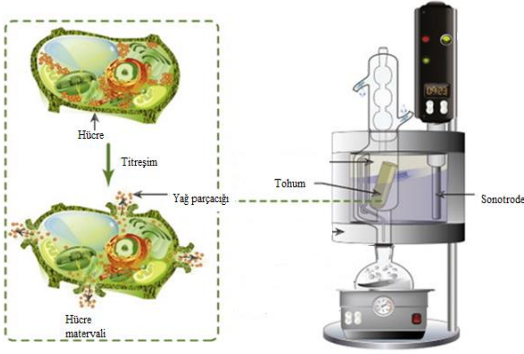
çekirdeği (Samaram, Mirhosseini, Tan ve Ghazali,, 2013; Samaram ve diğ., 2015), karpuz çekirdeği (Bimacr ve diğ. 2012), nar çekirdeği (Barizao, Boeing, Martins, Visentainer ve Almeida,2015) ve kapok çekirdeği (Senrayan ve Venkatachalam, 2020) gibi farklı bitkisel materyallerden yağ ekstraksiyonu için farklı ekstraksiyon yöntemlerinin kıyaslandığı çalışmalarda ultrasonik ekstraksiyon yönteminin hem zaman bakımından hem de elde edilen yağların ekstraksiyon veriminin daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda, soya fasulyesi (Li, Pordesimo ve Weiss, 2004) ve keten tohumu (Zhang ve diğ., 2008) gibi farklı materyallerde ultrason destekli ekstraksiyonların genel olarak yağ verimi arttırırken, yağ asidi kompozisyonunu ise çok etkilenmediği görülmektedir. Yağlı tohumlardan yağ ekstraksiyonunda kullanılan ultrason uygulamaları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yağlı tohumlardan bileşik ekstraksiyonunda ultrason uygulamaları

Matris	Ekstrakt	Proses ekipmanı	Deneysel parametreler	Referans
Ayçiçek, kolza, soya fasülyesi	Yağ	Ultrason & Soxhelet	m = 10 g, V = 100 mL, solvent = hekzan, ultrason süresi = 10 s	(Luque-Garcia ve Luque de Castro, 2004)
Badem	Yağ	Ultrasonik banyo (40 kHz, 150 W)	Solvent/örnek oranı = 10–20 (mg/L), solvent = hekzan, süre = 40–60 dakika, sıcaklık = 40–60 °C	(Zhang ve diğ., 2009)
Keten tohumu	Yağ	Ultrason probu (20 kHz, 250 W)	P = 50 W, oran = 6/1 (V/w), solvent = hekzan, V = 100 mL, süre = 30 dakika, sıcaklık = 30 °C	(Zhang ve diğ., 2008)
Papaya tohumu	Yağ, antioksidan	Ultrasonik banyo (40 kHz, 700 W)	P = 235–700 W oranı = 6/1–10/1 (V/w), solvent = hekzan, süre = 5–30 dakika, sıcaklık = 25–50 °C	(Samaram, Mirhosseini, Tan ve Ghazali 2014; Samaram ve diğ., 2015)
Pistachia içi	Yağ	Ultrason probu (30 kHz, 100 W, diameter = 10 mm)	Genlik = 0, 25, 50%, titreşim = 10 s çalışıp, 5 s kapalı, oran = 1/4 (w/V), solvent = hekzan, sıcaklık = 30, 40, 50 °C	(Hashemi,Michiels,Yousefab ad ve Hosseini, 2015)
Soya fasülyesi	Yağ	Ultrasonik banyo	I = 47.6 W/cm <sup>2</sup> , solvent=hekzan/isopropanol (3/2)	(Li, Pordesimo ve Weiss, 2004)
Fıstık	Yağ	Ultrason probu	UP: 300 W UF: 20, 28, 40 and 60 kHz	(Zhang ve diğ., 2017; Yao,Pan ve Liu 2019)
Kolza	Yağ	Ultrason probu	süre (dk): 60, P : 500 W oranı = 1/4 (w/v)	(Wei ve diğ., 2008)

Ultrason yöntemi, laboratuvar ölçekli Clevenger tipi bir sistem kullanılarak çok çeşitli bitki ve baharatlardan hidrodistilasyonla geleneksel olarak ekstrakte edilen aroma moleküllerinin geri kazanılmasında da başarıyla kullanılabilir (Lebovka, Vorobiev ve Chemat, 2016). Yüksek enerjili ultrasonik uygulamanın, organik bileşiklerin bitki ve tohumdan ekstraksiyonunu olumlu yönde etkilediği saptanmıştır (Ercan ve Sosyal, 2011). Örneğin, kimyon tohumlarından aroma maddelerinin ekstraksiyonunda ultrason destekli Clevenger sisteminin geleneksel Clevenger sistemine kıyasla karvon ve limonen kazanımları daha yüksektir (Assami, Pingret, Chemat, Meklatia ve Chemat, 2012 ).

Luque-Garcia ve Luque de Castro (2004), konveksiyonel soxhelet uygulamasını ultrason ile birleştirerek ayçiçek, soya fasülyesi ve kolza tohumları yağ ekstraksiyonunu gerçekleştirmişlerdir (Şekil 1). Ultrasonun örnek kartuşuna uygulanmasının, yağın kantitatif ekstraksiyonu için gerekli sokselet çevrim sayısını azalttığını, böylece ekstraksiyon için gerekli olan süreyi en az yarıya indirdiğini bildirmişlerdir. Diğer çalışmalara benzer şekilde yağ asidi kompozisyonunun da değişmediğini belirtmişlerdir.



Şekil 1. Sokselet aparatı kullanılarak tohum yağlarını çıkarmak için laboratuvar ölçeğinde uygulanan bir ultrason destekli ekstraksiyon (Luque-Garcia ve Luque de Castro, 2004; Koubaa ve diğ., 2016)

Samaram, Mirhosseini, Tan ve Ghazali (2014) papaya çekirdeği yağını ultrason, solvent ekstraksiyonu ve sokselet yöntemi ile ekstrakte ettikleri çalışmada, ultrason uygulaması ile elde edilen yağların en yüksek stabiliteye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Aynı çalışmada, farklı ekstraksiyon yöntemlerinin uygunluk derecesini önemli düzeyde etkilemediği saptanırken, ultrason destekli ekstraksiyonla elde edilen örnekte düşük miktarda sabunlaşmayan madde tespit edilmiştir.

## 5. Sonuç

Ultrason uygulaması, sürdürülebilir “yeşil kimya” anlayışına uygun ve yüksek kalitede ekstraksiyon hedefine ulaşmada önemli bir teknolojidir. Ultrason kullanılarak yapılan ekstraksiyon daha kısa sürede yüksek tekrarlanabilirlik ile yapılabilmekte, daha düşük miktarlarda çözen kullanımı ve daha yüksek saflıkta son ürün eldesi sağlamaktadır. Ultrason tekniği kullanılarak çeşitli matrislerden (hayvansal dokular, mikroalg, maya, gıda ve bitki materyalleri) aroma, pigment, antioksidan, organik ve mineral bileşikleri verimli şekilde ekstrakte, analiz ve formüle edilmektedir. Yenilebilir yağların ultrasonik ekstraksiyonu, yağları tohumlardan, çekirdeklerden ve meyvelerden çıkarmak için üstün bir yöntemdir. Termal olmayan bir ekstraksiyon tekniği olarak geleneksel yöntemlere kıyasla ultrason destekli ekstraksiyon ile yemeklik yağ sanayinde kaliteli yağ eldesinde yağ verimini yüksek seviyelere çıkararak azaltılmış işleme sağlamaktadır. Dolayısı ile belirtilen avantajları ile ultrason uygulaması yağ üretim teknolojisinde yeterli düzeyde verim elde edebilmek için etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

## Kaynakça

1. Abdelkebira, R., Alcántarac, C., Falcód, I., Sánchez, G., Garcia-Perez, J.V., Neffatia, M., Lorenz, J.M., Francisco J. Barbab, F.J., & Colladoc, M.C., (2019). Effect of ultrasound technology combined with binary mixtures of ethanol and water on antibacterial and antiviral activities of *Erodium glaucophyllum* extracts. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.12.009>.
2. Akdeniz, V., & Akalın, A.S., (2019). New approach for yoghurt and ice cream production: High-intensity ultrasound. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 392–398. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.046>.

3. Alarcon-Rojo, A.D., Carrillo-Lopez, L.M., Reyes-Villagrana, R., Huerta-Jimenez, M., & Garcia Galicia, I.A., (2019). Ultrasound and meat quality: A review. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 55, 369–382. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.09.016>
4. Arroyo, C., Cebrián, G., Pagán, R., & Condón, S., (2011). Inactivation of *Cronobacter sakazakii* by ultrasonic waves under pressure in buffer and foods. *International Journal of Food Microbiology*, 144 (3), 446–454. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.10.033>.
5. Arslan Tontul, S., Mutlu, C., Koç, A., & Erbaş, M. (2018). Çiya tohumundan ultrason destekli yağ ekstraksiyonunun optimizasyonu. *GIDA*, 43 (3), 393–402. doi: 10.15237
6. Ashokkumar, M., (2015). Applications of ultrasound in food and bioprocessing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 25, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.08.012>.
7. Assami, K., Pingret, D., Chemat, S., Meklatia, B.Y., & Chemat, F., (2012). Ultrasound induced intensification and selective extraction of essential oil from *Carum carvi* L. seeds. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 62, 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2012.09.003>
8. Ayyildiz, O., Sanik, S., & Ileri, B., (2011). Effect of ultrasonic pretreatment on chlorine dioxide disinfection efficiency. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(2), 683–688. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.08.008>.
9. Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D., & Youssef, M.M., (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48, 410–427. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.004>.
10. Barizao, E.O., Boeing, J.S., Martins, A.C., Visentainer, J.V., & Almeida, V.C. (2015). Application of Response Surface Methodology for the Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Seed Oil. *Food Anal Method*, 8(9), 2392–2400. doi: 10.1007/s12161-015-0135-5.
11. Bermúdez-Aguirre, D., Mobbs, T., & Barbosa-Cánovas, G.V., (2011) *Ultrasound Applications in Food Processing, in Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*, H. Feng, G. Barbosa-Canovas, and J. Weiss, Editors., Springer New York: New York, NY. p. 65–105.
12. Bimacr, M., Rahman, R.A., Taip, F.S., Adzahan, N.M., Sarker, M.Z.I., & Ganjloo, A. (2012). Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Crude Oil from Winter Melon (*Benincasa hispida*) Seed Using Response Surface Methodology and Evaluation of Its Antioxidant Activity, Total Phenolic Content and Fatty Acid Composition. *Molecule*, 17(10), 11748–11762. doi: 10.3390/molecules171011748.
13. Boateng, E.F., & Nasiru, M.M., (2019). Applications of Ultrasound in Meat Processing Technology: A Review. *Food Science and Technology*, 7(2), 11–15. doi: 10.13189/fst.2019.070201
14. Boistier-Marquis, E., Lagsir-Oulahal, N., & Callard, M., (1999). Applications des ultrasons de puissances en industries alimentaires. *Industries Agricoles et Alimentaires*, 116, 23–31.
15. Brilhante de São José, J.F., José de Andrade, N., Ramos, A.M., Dantas Vanetti, M.C., Stringheta, P.C., & Paes Chaves, J.B., (2014). Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. *Food Control*, 45, 36–50.

- doi: 10.1016/j.foodcont.2014.04.015.
16. Capelo-Martínez, J.-L., (2009). Ultrasound in chemistry: analytical applications. John Wiley & Sons, (171 pages).
  17. Caraveo, O., Alarcon-Rojo, A.D., Renteria, A., Santellano, E., & Paniwnyk, L., (2015). Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated with high intensity ultrasound and stored at 4 °C, Journal Science. Food and Agriculture, 95, 2487–2493, <https://doi.org/10.1002/jsfa.6979>.
  18. Carrín, M.E. & Crapiste G.H. (2008). Mathematical modeling of vegetable oil–solvent extraction in a multistage horizontal extractor. Journal of Food Engineering, 85(3), 418–425. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.08.003>
  19. Chang, H.-J., Wang, Q., Tang, C.-H., & Zhou, G.-H., (2015). Effects of ultrasound treatment on connective tissue collagen and meat quality of beef semitendinosus muscle, Journal Food Quality, 38, 256–267. <https://doi.org/10.1111/jfq.12141>
  20. Chemat, F., Huma, Z., & Khan, M. K., (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. Ultrasonics Sonochemistry, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
  21. Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A.-G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A.-S., & Abert-Vian, M., (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. Ultrasonics Sonochemistry, 34, 540–560. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>.
  22. Chen, Z., & Zhu, C., (2011). Combined effects of aqueous chlorine dioxide and ultrasonic treatments on postharvest storage quality of plum fruit (*Prunus salicina* L.). Postharvest Biology and Technology, 61(2-3), 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.03.006>.
  23. de Lima Alves, L., Stefanello da Silva, M., Martins Flores, D.R., Rodrigues Athayde, D., Roggia Ruviano, A., da Silva Brum, D., Fagundes Batista, V.S., de Oliveira Mello, R., Ragagnin de Menezes, C., Bastianello Campagnol, P.C., Wagner, R., Smaniotto Barin, J., & Cichoski A.J., (2018). Effect of ultrasound on the physicochemical and microbiological characteristics of Italian salami. Food Research International, 106, 363–373. doi: 10.1016/j.foodres.2017.12.074.
  24. Eikani, M.H., Golmohammad, F., & Homami, S.S., (2012). Extraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil using superheated hexane. Food and Bioprocess Processing, 90(1), 32–36. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.01.002>
  25. Ercan, S.S., & Soysal, C., (2011). Effect of ultrasound and temperature on tomato peroxidase. Ultrasonics Sonochemistry, 18(2), 686–695. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.09.014>.
  26. Ercan, S. & Soysal, Ç., (2013). Use of ultrasound in food preservation. Natural Science, 5, 5–13. doi: 10.4236/ns.2013.58A2002
  27. Fan, D., Huang, L., Li, B., Huang, J., Zhao, J., Yan, B., Zhou, W., Zhang, W., & Zhang, H., (2017). Acoustic intensity in ultrasound field and ultrasound-assisted gelling of surimi, LWT – Food Science Technology, 75, 497–504. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.002>.
  28. Feng, H., & Yang, W., (2005). Power ultrasound. In Y. H. Hui (Eds). Handbook of food science, technology and engineering. New York: CRC Press; 1<sup>st</sup> Edition.
  29. Flannigan, D.J., & Suslick, K.S., (2010). Inertially confined plasma in an imploding bubble. Nature Physics, 6(8), 598. doi: 10.1038/NPHYS1701
  30. Gamboa-Santos, J., Montilla, A., Cárcel, J.A., Villamiel, M., & García-Pérez, J.V., (2014). Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry. Journal of Food Engineering, 2014, 128 (5): 132–139. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.12.021.
  31. Gonzalez-Gonzalez, L., Luna-Rodriguez, L., Carrillo-Lopez, L.M., Alarcon-Rojo, A.D., Garcia-Galicia, I., & Reyes-Villagrana, R., (2017). Ultrasound as an alternative to conventional marination: acceptability and mass transfer. Journal of Food Quality, 2, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2017/8675720>.
  32. Gharibzahedi, S.M.T., & Smith, B., (2020). The functional modification of legume proteins by ultrasonication: A review. Trends in Food Science & Technology, 98, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.002>.
  33. Gulzar, S., & Benjakul, S., (2018). Ultrasound waves increase the yield and carotenoid content of lipid extracted from cephalothorax of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). European Journal of Lipid Science and Technology, 120(5), 1–11. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700495>.
  34. Gulzar, S., Rajua, N., Nagarajaraob, R.C., & Benjakul, S., (2020). Oil and pigments from shrimp processing by-products: Extraction, composition, bioactivities and its application- A review. Trends in Food Science & Technology, 100, 307–319. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.005>.
  35. Hashemi, S.M.B., Michiels, J., Yousefabad, S.H.A., & Hosseini, M., (2015). Kolkhoung (*Pistacia khinjuk*) kernel oil quality is affected by different parameters in pulsed ultrasound-assisted solvent extraction. Industrial Crops and Products, 70, 28–33. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.023>
  36. Hongyu, W., Hulbert, G.J., & Mount, J.R., (2000). Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter, Innovative Food Sci. Emerg. Technology, 1, 211–218. doi: 10.1016/S1466-8564(00)00020-5.
  37. Hu, H., Cheung, I. W., Pan, S., & Li-Chan, E. C. (2015). Effect of high intensity ultrasound on physicochemical and functional properties of aggregated soybean  $\beta$ -conglycinin and glycinin. Food Hydrocolloids, 45, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.004>.
  38. Huang, G., Chen, S., Dai, C., Sun, L., Sun, W., Tang, Y., Xiong, F., He, R., & Ma, H., (2017). Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity. Ultrasonics Sonochemistry, 37, 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.018>.
  39. Kentish, S. & Ashokkumar, M., (2011). The Physical and Chemical Effects of Ultrasound, in Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing, H. Feng, G. Barbosa-Canovas, and J. Weiss, Editors., Springer New York: New York, NY. p. 1–12.
  40. Koubaa, M., Roselló-Soto, E., Šic Žlabur, J., Režek Jambrak, A., Brnčić, M., Grimi, N., Boussetta, N., & Barba, F. J. (2015). Current and new insights in the sustainable and green recovery of nutritionally valuable compounds from Stevia rebaudiana Bertoni. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 63, 6835–6846.

- <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01994>
41. Koubaa, M., Mhemdi, H., Barba, F.J., Roohinejad, S., Greiner, R., & Vorobiev, E., (2016). Oilseed treatment by ultrasounds and microwaves to improve oil yield and quality: An overview. *Food Research International*, 85, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.007>
  42. Lebovka, N., Vorobiev, E., & Chemat, F., (2016). Enhancing extraction processes in the food industry, 1st Edition, (570 pages). CRC Press.
  43. Leong, T., Ashokkumar, M., & Kentish, S., (2011). The fundamentals of power ultrasound-A review. *Acoustics Australia*, 39 (2), 54-63. August (2011) No. 2 - 4329.
  44. Li, H., Pordesimo, L., & Weiss, J., (2004). High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans. *Food Research International*, 37(7), 731-738  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.02.016>.
  45. Liu, W., Fu, Y-J., Zu, Y-G., Tong, M-H., Wu, N., Liu, X-L., & Zang, S., (2009a). Supercritical carbon dioxide extraction of seed oil from *Opuntia dillenii* Haw. and its antioxidant activity. *Food Chemistry*, 114(1),334-339.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.049>.
  46. Liu, S., Yang, F., Zhang, C., Ji, H., Hong, P., & Deng, C., (2009b). Optimization of process parameters for supercritical carbon dioxide extraction of *Passiflora* seed oil by response surface methodology. *The Journal of Supercritical Fluids*, 48(1) 9-14.  
<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2008.09.013>
  47. Liu, G., Xu, X., Hao, Q., & Gao, Y., (2009c). Supercritical CO<sub>2</sub> extraction optimization of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil using response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 42(9), 1491-1495.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.04.011>
  48. Liu, Z., Juliano, P., Williams, R., Niere, J., & Augustin, M., (2014). Ultrasound effects on the assembly of casein micelles in reconstituted skim milk. *Journal of Dairy Research*, 81(2), 146-155. doi: 10.1017/S0022029913000721
  49. Lopez, P., Sala, F. J., De La Fuente, J. L., Condon, S., Raso, J., & Burgos, J. (1994). Inactivation of peroxidase, lipoygenase, and polyphenol oxidase by manothermosonication. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 252-256.  
<https://doi.org/10.1021/jf00038a005>.
  50. Luengo, E., Condón-Abanto, S., Condón-, S., Álvarez, I., & Raso, J., (2014). Improving the extraction of carotenoids from tomato waste by application of ultrasound under pressure. *Separation and Purification Technology*, 136,130-136.  
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.09.008>.
  51. Luque-García, J.L., & Luque de Castro, M.D., (2004). Ultrasound-assisted Soxhlet extraction: an expeditive approach for solid sample treatment. Application to the extraction of total fat from oleaginous seeds. *Journal Chromatography A*, 1034 (1-2),237-42.  
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.02.020>
  52. Madhu, B., Sai Srinivas, M., Srinivas, G., & Jain, S.K., (2019). Ultrasonic Technology and Its Applications in Quality Control, Processing and Preservation of Food: A Review. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 32(5),1-11.doi: 10.9734/CJAST/2019/46909.
  53. Mason, T. & Lorimer, J., (2002). *Applied Sonochemistry: Uses of Power Ultrasound in Chemistry*.
  54. Mason TJ, Paniwnyk,L., & Lorimer,J. P., (1996).The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 3,253- 260. [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(96\)00034-X](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(96)00034-X).
  55. Mawson, R., Gamage, M., Terefe, N. S., & Knoerzer, K. (2011). Ultrasound in enzyme activation and inactivation. In H. Feng, G. V. Barbosa-Cánovas, & J. Weiss (Eds.), *Ultrasound technologies for food and bioprocessing* (pp. 369-404). New York: Springer.
  56. Meireles, M.A.A., *Extracting bioactive compounds for food products: theory and applications*. 2008: CRC press.
  57. Mitra, P., Ramaswamy, H.S., & Chang, K.S. (2009). Pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed oil extraction using supercritical carbon dioxide and physicochemical properties of the oil. *Journal of Food Engineering*, 95(1), 208-213. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.04.033>
  58. Mohammadi, V., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ebrahimi, R., & Abbasvali, M., (2014). Ultrasonic techniques for the milk production industry. *Measurement*, 58, 93-102.  
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.08.022>
  59. Nithila, S.D, Anandkumar, B., Vanithakumari, S.C., George, R.P., Mudali, U.K., & Dayal, R.K., (2014). Studies to control biofilm formation by coupling ultrasonication of natural waters and anodization of titanium. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21, 189–199. doi: 10.1016/j.ultsonch.2013.06.010.
  60. Nguyen, T.M.P., Lee, Y.K., & Zhou, W., (2009). Stimulating fermentative activities of bifidobacteria in milk by highintensity ultrasound, *International Dairy Journal* 19 (6-7), 410–416. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.02.004>
  61. Palma, M., Barbero, G.F., Pineiro, Z., Liazid, A., Barroso, C.G., Rostagno, M.A., Prado J.M., & Meireles, M.A.A., (2013). Extraction of natural products: Principles and fundamental aspects. *Natural product extraction: principles and applications*, RSC Publishing, Mauricio A Rostagno, Juliana M Prado, Editors(s.58)
  62. Ojha, K. S., Mason, T. J., O'Donnell, C. P., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2017). Ultrasound technology for food fermentation applications. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 410–417. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.001>.
  63. Pétrier, C., Gondrexon, N., & Boldo, P., (2008). Ultrasons et sonochimie. *techniques de l'ingénieur*. AF, 6,310.
  64. Rawson, A., Tiwari, B. K., Tuohy, M. G., O'Donnell, C. P., & Brunton, N. (2011). Effect of ultrasound and blanching pretreatments on polyacetylene and carotenoid content of hot air and freeze dried carrots discs. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(5), 1172-1179. doi: 10.1016/j.ultsonch.2011.03.009.
  65. Rui, H., Zhang, L., Li, Z., & Pan, Y., (2009). Extraction and characteristics of seed kernel oil from white pitaya. *Journal of Food Engineering*, 93(4),482-486.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.02.016>
  66. Roselló-Soto, E., Koubaa, M., Moubarik, A., Lopes, R. P., Saraiva, J. A., Boussetta, N., Girimi, N., & Barba, F. J. (2015a). Emerging opportunities for the effective valorization of wastes and byproducts generated during olive oil production process: Non-conventional methods for the recovery of high-added value compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 296–310.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.003>.
  67. Roselló-Soto, E., Galanakis, C. M., Brnčić, M., Orlien, V., Trujillo, F. J., Mawson, R., Knoerzer, K., Tiwari, B.K., & Barba, F.J., (2015b). Clean recovery of antioxidant



- compounds from plant foods, by-products and algae assisted by ultrasounds processing. Modeling approaches to optimize processing conditions. *Trends in Food Science & Technology*, 42(2), 134–149. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.01.002>.
68. Sagong, H. G., Lee, S.-Y., Chang, P. S., Heu, S., Ryu, S., Choi, Y. J., & Kang, D.-H., (2011). Combined effect of ultrasound and organic acids to reduce *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* on organic fresh lettuce. *International Journal of Food Microbiology*, 145(1), 287–292. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.01.010>.
69. Sagong, H. G., Cheon, H.-L., Lee, S. Y., Park, K. H., Chung, M.S., Choi, Y. J., & Kang, D.-H., (2013). Combined effects of ultrasound and surfactants to reduce *Bacillus cereus* spores on lettuce and carrots. *International Journal of Food Microbiology*, 160(3), 367–372. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.10.014>.
70. Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C.P., & Ghazali, H.M. (2013). Ultrasound-Assisted Extraction (UAE) and Solvent Extraction of Papaya Seed Oil: Yield, Fatty Acid Composition and Triacylglycerol Profile. *Molecules*, 18(10), 12474–12487. doi: 10.3390/molecules181012474
71. Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C.P., & Ghazali, H.M., (2014). Ultrasound-assisted extraction and solvent extraction of papaya seed oil: Crystallization and thermal behavior, saturation degree, color and oxidative stability. *Industrial Crops and Products*, 52, 702–708. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.047>.
72. Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C.-P., Ghazalib, H.-M., Bordbar, S., & Serjouiea, A., (2015). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of oil from papaya seed by response surface methodology: Oil recovery, radical scavenging antioxidant activity, and oxidation stability. *Food Chemistry*, 172, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.068>.
73. Senrayan, J., & Venkatachalam, S., (2020). Ultrasonic acoustic-cavitation as a novel and emerging energy efficient technique for oil extraction from kapok seeds. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 62, 102347. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102347>.
74. Seymour, I.J., Burfoot, D., Smith, R.L., Cox, L.A., & Lockwood, A., (2002). Ultrasound decontamination of minimally processed fruits and vegetables. *International Journal of Food Science and Technology*, 37(5), 547–557. doi: 10.1046/j.1365-2621.2002.00613.x
75. Sevindik, O., & Selli, S., (2017). Üzüm çekirdek yağı eldesinde kullanılan ekstraksiyon yöntemleri. *Gıda*, 42(1), 95–103. doi: 10.15237/gida.GD16052.
76. Stanisavljević, I.T., Lazić, M.L., & Veljković, V.B., (2007). Ultrasonic extraction of oil from tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) seeds. *Ultrasonics Sonochemistry*, 14(5), 646–652. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2006.10.003>
77. Serrato, A.G., (1981). Extraction of oil from soybeans. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 58(3), 157–159.
78. Tao, Y., Zhang, J., Jiang, S., Xu, Y., & Ye, M., (2018). Contacting ultrasound enhanced hot-air convective drying of garlic slices: Mass transfer modeling and quality evaluation. *Journal of Food Engineering*, 2018, 235(10), 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.04.028>
79. Téllez-Morales, J.A., Hernández-Santo, B., & Rodríguez-Miranda, J., (2020). Effect of ultrasound on the techno-functional properties of food components/ingredients: A review. *Ultrasonics – Sonochemistry*, 61, 104787. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104787>
80. Tervo, J.T., Mettin, R., & Lauterborn, W., (2006). Bubble cluster dynamics in acoustic cavitation. *Acustica united with Acustica*, 92, 178–180. <https://doi.org/10.1121/1.4802906>.
81. Wang, C.Y., & Chen, B.H., (2006). Tomato pulp as source for the production of lycopene powder containing high proportion of cis-isomers. *European Food Research and Technology*, 222(3), 347–353. doi: 10.1007/s00217-005-0058-2.
82. Wang, A., Kang, D., Zhang, W., Zhang, C., Zou, Y., & Zhou, G., (2018). Changes in calpain activity, protein degradation and microstructure of beef *M. semitendinosus* by the application of ultrasound. *Food Chemistry*, 245, 724–730. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.003>.
83. Wei, F., Gao, G. -Z., Wang, X. -F., Dong, X. -Y., Li, P. -P., Hua, W., & Chen, H. (2008). Quantitative determination of oil content in small quantity of oilseed rape by ultrasound-assisted extraction combined with gas chromatography. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15(6), 938–942. doi: 10.1016/j.ultsonch.2008.04.003
84. Wu, J., Gamage, T.V., Vilku, K.S., Simons, L.K., & Mawson, R., (2008). Effect of thermosonication on quality improvement of tomato juice. *Inno Food Sci Emerg Tec*, 9, 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.07.007>.
85. Xue, S., Xu, X., Shan, H., Wang, H., Yang, J., & Zhou, G., (2018). Effects of high-intensity ultrasound, high pressure processing, and high-pressure homogenization on the physicochemical and functional properties of myofibrillar proteins. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 354–360. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.12.007>.
86. Zhang, Z.-S., Wang, J.-T., Li, D., Jiao, S.-S., Chen, X.-D., & Mao, Z.-H., (2008). Ultrasound-assisted extraction of oil from flaxseed. *Separation and Purification Technology*, 62(1), 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2008.01.014>
87. Zhang, Q.-A., Zhang, Z.-Q., Yue, X.-F., Fan, X.-H., Li, T., & Chen, T.-L., (2009). Response surface optimization of ultrasound-assisted oil extraction from autoclaved almond powder. *Food Chemistry*, 116(2), 513–518. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.071>.
88. Zhang, L., Zhou, C., Wang, B., Yagoub, A.E.A., Ma, H., Zhang, X., & Wu, M., (2017). Study of ultrasonic cavitation during extraction of the peanut oil at varying frequencies. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 37(7), 106–113. doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.12.034.
89. Zhang, Z., Regenstein, J. M., Zhou, P., & Yang, Y. (2017). Effects of high intensity ultrasound modification on physicochemical property and water in myofibrillar protein gel. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 960–967. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.08.008>.
90. Yang, Z., Cao, S., Cai, Y., & Zheng, Y., (2011). Combination of salicylic acid and ultrasound to control postharvest blue mould caused by *Penicillium expansum* in peach fruit. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12(3), 310–314. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.04.010>.

91. Yao, Y., Pan, Y., & Liu, S., (2019). Power Ultrasound and Its Applications: A State-of-the-art Review. *Ultrasonics Sonochemistry*.  
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104722>.
92. Yusaf, T., & Al-Juboori, R.A., (2014). Alternative methods of microorganism disruption for agricultural applications. *Applied Energy*, 114, 909–923.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.085>