

established in  
2016



# MAS JOURNAL of Applied Sciences

ISSN 2757-5675

DOI: <http://dx.doi.org/10.52520/masjaps.116>

Derleme Makalesi

## Ultrasesin Gıda İşleme Ve Muhafazasında Kullanımı

Mehmet Seçkin ADAY<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

\*Sorumlu yazar: mseckinaday@comu.edu.tr

Geliş Tarihi: 15.06.2021

Kabul Tarihi: 24.07.2021

### Özet

Modern gıda endüstrisi her zaman yüksek kaliteli ve güvenli ürünler üretebilen, işleme verimliliğini artıran ve enerji tüketimini azaltan yenilikçi teknolojiler arayışındadır. Bu tekniklerden bir tanesi olan ultrases teknolojisi, gıda endüstrisindeki çeşitli prosesler için büyük bir potansiyele sahiptir. Ultrases, insan işitme eşiğinin üzerinde frekanslara sahip ses dalgaları olarak tanımlanır. Gıda işlemede kullanılan güçlü ultrases ise, düşük frekanslarda (20-100 kHz) kullanılmakta ve 10-1000 W/cm<sup>2</sup> ses yoğunluklarında kaviteasyona neden olmaktadır. Kaviteasyon, ses dalgalarının yayılması sırasında kabarcıkların oluşumu ve patlaması olarak ifade edilmekte olup, patlamanın şiddetiyle lokal olarak 5000K'ya kadar sıcaklık ve 2000 atm'ye kadar basınç oluşabilmektedir. Ultrases, kaviteasyon sebebiyle gıdanın mekanik, fiziksel ve kimyasal/biyokimyasal özelliklerini değiştirerek, geleneksel gıda işleme yöntemlerine göre reaksiyon süresini kısaltmakta, verimi artırmakta ve maliyetleri düşürmektedir. Gıda muhafazası amacıyla, ultrasesin tek başına kullanılması bakteriyal ve enzim inaktivasyonunu sağlamada çok etkili olmasa da, basınç ve/veya ısı ile birlikte ultrases kullanımı umut verici sonuçlar sunmaktadır. Termosonikasyon (ısı+sonikasyon), manosonikasyon (basınç+sonikasyon) ve manotermosonikasyon (ısı+basınç+sonikasyon) uygulamaları hem gıdanın besinsel bileşenlerinin hem de duyu özelliklerinin korunması bakımından da önem arz etmektedir. Bu derleme, ultrasesin gıda işleme (kesme, filtrasyon, ekstraksiyon, kristalizasyon, çözündürme, kurutma, köpük ve gaz giderme, emülsiyon oluşturma, pişirme) ve muhafazasında (mikrobiyal ve enzim inaktivasyonu) kullanımına ilişkin bilgileri özetlemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ultrases, kaviteasyon, gıda işleme, enzim ve mikrobiyal inaktivasyon

## Use of Ultrasound In Food Processing and Preservation

### Abstract

The modern food industry is always on the lookout for innovative technologies that can produce high quality and safe products, increase processing efficiency and reduce energy consumption. Ultrasound technology, one of these techniques, has great potential for various processes in the food industry. Ultrasound is defined as sound waves with frequencies above the human hearing threshold. Powerful ultrasound used in food processing is used at low frequencies (20-100 kHz) and causes cavitation at sound intensities of 10-1000 W/cm<sup>2</sup>. Cavitation is expressed as the formation and explosion of bubbles during the propagation of sound waves, and temperatures up to 5000K and pressure up to 2000 atm can occur locally with the intensity of the explosion. Ultrasound changes the mechanical, physical and chemical / biochemical properties of the food due to cavitation, results in shortening the reaction time, increasing efficiency and reducing costs compared to traditional food processing methods. Although using ultrasound alone is not very effective in achieving bacterial and enzyme inactivation for food preservation, the use of ultrasound in combination with pressure and/or heat offers promising results. Thermosonication (heat+sonication), manosonication (pressure+sonication) and manothermosonication (heat+pressure+sonication) applications are also important in terms of preserving both the nutritional components of the food and the sensory properties. This review summarizes information on the use of ultrasound in food processing (cutting, filtration, extraction, crystallization, thawing, drying, defoaming and degassing, emulsification, cooking) and preservation (microbial and enzyme inactivation).

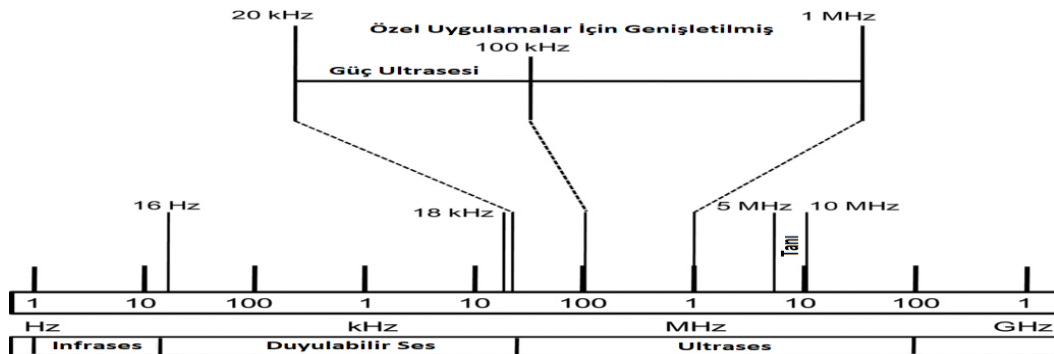
**Keywords:** Ultrasound, cavitation, food process, enzyme and microbial inactivation

## GİRİŞ

Gıdalar, içeriğinde yer alan proteinler, vitaminler, karbonhidratlar, enzimler, yağlar, mineraller, su ve diğer organik bileşenler nedeniyle kompleks materyaller olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle gıdaların işlenmesi ve muhafazası, gıda türüne bağlı olarak farklı uygulamalar gerektirmektedir (Ercan ve Soysal, 2013). Bu kapsamda, günümüzde gıdaların raf ömürlerinin artırılmasında yararlanılan termal işlemler, mikrobiyal ve enzim inaktivasyonu sağlama amacıyla en yaygın olarak kullanılan işleme yöntemlerindedir. Fakat bu işlem sırasında gıdaların yüksek sıcaklıklara maruz kalması, duyu niteliklerde, yani tekstür, tat, renk, koku ve besinsel (vitaminler, proteinler) bileşenlerde istenmeyen değişikliklere neden olabilmektedir (Demirdöven ve Baysal, 2008). Ayrıca, katkı maddeleri ve koruyucu içermeyen, doğal tat ve kokuya sahip, besinsel değeri yüksek gıda ürünlerine yönelik artan tüketici talebi de, gıda işlemede termal olmayan yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır (Rastogi, 2011). Bu taleplere yanıt olarak gıda endüstrisi, yalnızca "taze benzeri" özelliklere sahip yüksek kaliteli gıdalar elde etmek için değil, aynı zamanda fonksiyonel olarak da geliştirilmiş

gıdaları sağlamak için yüksek basınç, vurgulu elektrik ve manyetik alan gibi yeni teknolojilere yönelmiştir. Ortaya çıkan bu teknolojiler arasında özellikle ultrases yöntemine artan bir ilgi söz konusudur (Soria ve Villamiel, 2010).

Ultrases, insan işitme aralığının (16-20 kHz) üzerinde işlev gören bir ses dalgası olarak kabul edilmektedir (Şekil 1). Genel olarak, gıda endüstrisindeki ultrases uygulamaları, frekans ve yoğunluğa bağlı olarak ikiye ayrılmaktadır (Tao ve Sun, 2015). Yüksek yoğunluklu uygulamalar (güç ultrasesi olarak da bilinir) tipik olarak 20 ile 100 kHz arasındaki düşük akustik frekansları kullanmakta ve daha büyük genlikte ultrases dalgalarından meydana gelmektedir. Bu çeşit uygulamalar bir malzemenin fizikokimyasal özelliklerini veya yapısını değiştirebilmekte olup, dondurma, çözündürme, ekstraksiyon ve kurutma gibi işlemlerde kullanılmaktadır (Kentish ve Feng, 2014). Düşük yoğunluklu uygulamalar ise, yüksek frekanslarda (> 1 MHz) küçük genlikli ultrases dalgaları içermekte olup, yayıldıkları malzemeye zarar vermemektedir. Bu uygulamalar ise; gıdaların bileşim, yapı, parçacık boyutu ve akış hızı gibi fizikokimyasal özellikleri hakkında bilgi sağlamak için kullanılmaktadır (Tao ve Sun, 2015).



Şekil 1. İnfrases (1 Hz-16 Hz), duyulabilir ses (16 Hz-18 kHz), güç ultrasesi (20 kHz-100 kHz), özel uygulamalar (20 kHz-1 MHz) ve tanı ultrasesi için genişletilmiş ses frekans aralıkları (5 MHz-10 MHz) (Rastogi, 2011)

Sıvı sistemler üzerindeki ultrases etkileri esas olarak kavitasyon olgusuyla ilgilidir. Ultrases, içinden geçtiği ortamın molekülleri üzerinde indüklenen bir dizi sıkıştırma ve seyrelme dalgaları yoluyla yayılmaktadır. Yeterince yüksek bir güçte, seyrelme döngüsü sıvı moleküllerinin çekim kuvvetlerini aşabilmekte ve sıvı içinde bulunan gaz çekirdeklerinden kavitasyon kabarcıkları oluşabilmektedir. Sıvıya dağılan bu kabarcıklar, birkaç döngü boyunca, kararsız hale gelinceye ve şiddetli bir şekilde çökünceye kadar kritik bir boyuta büyümektedir. Kavitasyon kabarcıklarının patlaması, sıcak noktalarda enerji birikimlerine yol açarak aşırı sıcaklık (5000 K) ve basınç (1000 atm) oluşturmaktadır (Soria ve Villamiel, 2010).

Ultrases yönteminin gıda işleme uygulamalarında kullanımı temel olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Birinci kategori; geleneksel teknolojilerin ultrases yöntemiyle değiştirilmesini kapsamaktadır (Tao ve Sun, 2015). Gıda kesimi (Arnold ve ark., 2011), emülsifikasyon / homojenizasyon (Shanmugam ve Ashokkumar, 2017), sterilizasyon/pastörizasyon (Khandpur ve Gogate, 2016), et yumuşatma (Hu ve ark., 2018) ve gaz giderme (Villamiel ve ark., 2000) için kullanılan ultrases uygulamaları bu kategoriye aittir. Diğer kategori ise işlemlerin daha verimli ve hızlı bir şekilde tamamlanabilmesi için geleneksel tekniklere yardımcı olmak veya hızlandırmaktır. Bu ikinci durumda, işlem sırasında kullanılan geleneksel tekniklerin dezavantajları ultrases ile geliştirilmekte veya iyileştirilmektedir. Bu gıda prosesleri arasında ekstraksiyon (Lianfu ve Zelong, 2008), dondurma (Comandini ve ark., 2013), çözdürme (Nowak ve ark., 2019), salamura (Cárcel ve ark., 2007), filtrasyon (Muthukumaran ve ark., 2007)

ve kurutma/dehidrasyon (Bozkir ve ark., 2019) yer almaktadır.

Bu derleme çalışmada, ultrasesin üretimi, kavitasyon fenomeni, ultrasesin etkinliğini etkileyen faktörler ve ultrasesin uygulama alanları hakkında bilgi verilmektedir.

### **Ultrases üretimi**

Ultrases üretimini sağlayan sistem üç temelden bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi jeneratör olup, elektronik veya mekanik bir osilatördür. İkinci parça dönüştürücü olarak nitelendirilmekte olup, bu parçalar mekanik veya elektrik enerjileri belirli frekanslar altında ses enerjisine dönüştürmektedir. Üçüncü parça ise taşıyıcı olarak adlandırılmakta olup, sistemin çalışma ucu olarak da bilinmekte ve ultrases titreşimlerini ortamdaki maddeye aktaran bileşendir (Uzma-Altat ve ark., 2018). Bu sistemde en temel bileşen dönüştürücüler olup, bu amaçla, kapasitif, elektrostatik, elektromagnetik, manyetostriktif ve piezoelektrik olmak üzere beş tür dönüştürücü kullanılmaktadır. Kapasitif veya elektrostatik dönüştürücüler, düz kondansatörler olup, çok ince membran yapısındaki bir elektrotun diğer sert elektrotta çok yakın biçimde yerleştirilmesiyle meydana gelmektedir. Elektromanyetik dönüştürücüler ise, sabit bir mıknatısın manyetik alanı ile hareketli bir bobindeki alternatif elektrik akımının etkileşiminden yararlanmakta ve ultrases titreşimlerindeki elektrik salınımlarını dönüştürme amacı görmektedir.

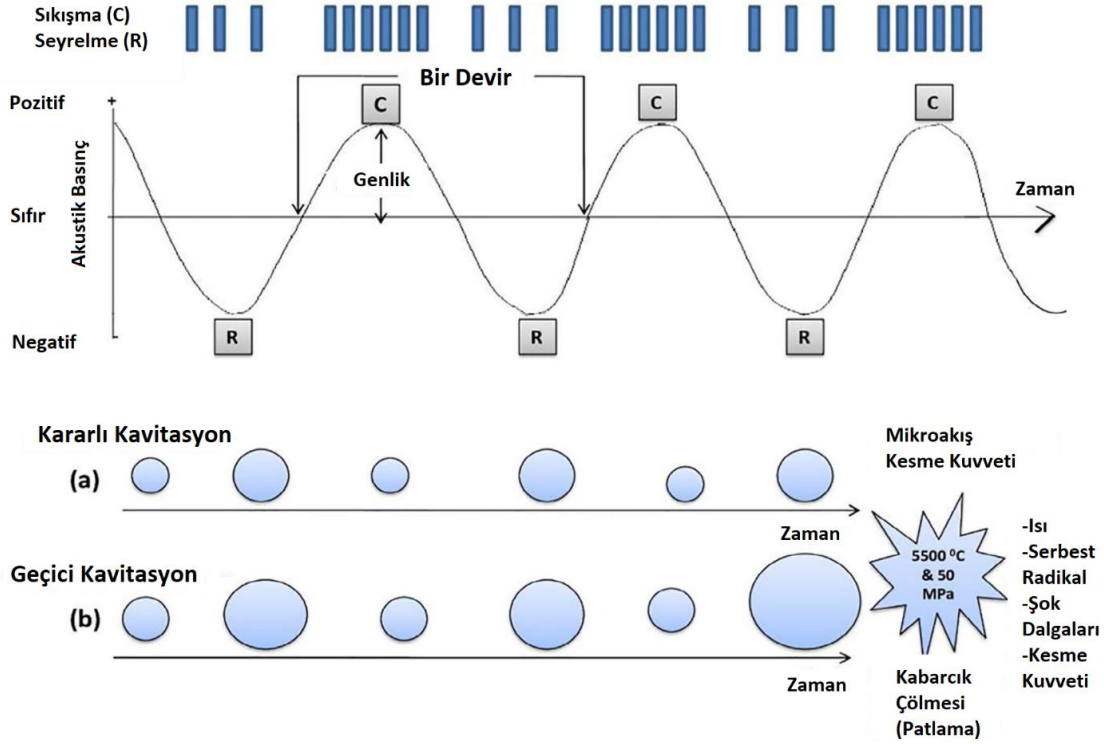
Manyetostriktif dönüştürücüler, ultrases dalgalarının oluşturulması için elektro-akustik dönüştürücü görevi yapmaktadır. Manyetostriktif dönüştürücüler, bir manyetik alan uygulaması altında boyutları değişen ferromanyetik malzemelerde üretilen manyetostriksiyon etkisini kullanmaktadır (Gallego-Juárez, 2017).



### Kavitasyon teorisi ve kavitasyonu etkileyen faktörler

Ultrasenin herhangi bir sıvı içerisine uygulanmasına sonikasyon, bu olayın meydana getirdiği etki ise

kavitasyon olarak adlandırılmaktadır (Dinçer ve Topuz, 2018). Geçici ve stabil kavitasyonlar, akustik kavitasyonun iki kategorisidir (Şekil 3).



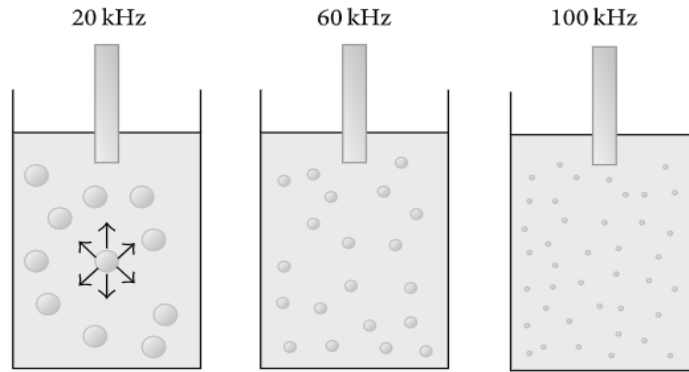
Şekil 3. Kavitasyon Çeşitleri a) Kararlı b) Geçici (Qiu ve ark., 2020)

Kararlı kavitasyon, çeşitli akustik döngüler için düzenli olarak salınan kabarcıkları içermekte (Qiu ve ark., 2020), bu sırada yüksek hız gradyanları ve ortam özelliklerini değiştiren kesme gerilmeleri ile ilişkili güçlü mikro akış akımları gelişmektedir (Soria ve Villamiel, 2010). Geçici kavitasyon süreci sırasında; termal, mekanik ve kimyasal etkiler meydana gelmektedir (Qiu ve ark., 2020). Termal etkinin oluşmasında; ses dalgalarının yarattığı akustik basınç sıvıdaki moleküllerin titreşmesine neden olarak, ortamın basıncını artırmaktadır (Tavman ve ark., 2009). Bu sırada ayrıca boylamsal dalgalar meydana gelmekte, bu sırada

sıkışma ve seyrelme evreleri oluşmaktadır (Dinçer ve Topuz, 2018). Sıkışma sırasında moleküller arası ortalama uzaklık azalmakta ve basınç pozitif değerler almaktadır. Moleküller arası ortalama uzaklığın arttığı seyrelme evresinde ise basınç negatiftir. Basıncın kritik değerlerin altına düştüğü durumlarda ise moleküller arası ortalama uzaklık moleküllerin bir arada tutulması için gereken kritik değeri aşmakta ve bunun neticesinde sıvılar kırılarak kabarcık veya boşluklar oluşmaktadır (Tavman ve ark., 2009). Bu noktadan sonra kabarcıklar ses dalgalarından enerji alarak giderek büyümektedir. Büyüme basıncın maksimum negatif

değere ulaşmasına kadar devam etmekte ve sonrasında daha fazla enerji absorplamayacak kritik noktaya geldiklerinde ise içe doğru çökmekte veya patlamaktadır (Tüfekçi ve Özkal, 2015). Patlamanın kuvvetiyle lokal olarak 5000K'ya kadar sıcaklık ve 2000 atm'ye kadar basınç oluşabilmektedir. Aynı zamanda patlamalar ısı ve kütle transfer oranlarını artırmakta ve kimyasal reaksiyonlara neden olabilmektedir (Kentish ve Feng, 2014). Mekaniksel etkiler ise mikro jetlerin oluşumudur. Kimyasal etkiler, su moleküllerinin yok edilmesini içermekte ve DNA dahil hücre içindeki maddelere zararlı olan yüksek aktiviteye sahip radikal gruplara yol açmaktadır. Hidrojen atomları ve hidroksil

radikallerinin birleşimiyle hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) oluşumu da bakteriler için bir tehdit oluşturmaktadır (Qiu ve ark., 2020). Kavitasyonu etkileyen etmenler akustik değişkenler, sıvının özellikleri ve termodinamik değişkenler olmak üzere üç faktörden etkilenmektedir. Akustik değişkenlerden bir tanesi güç olup, yüksek güçlerde ortaya çıkan kavitasyon ultrases etkisini de artırmaktadır. Fakat belirli bir noktadan sonra üretilen kabarcıklar büyük ve stabil yapıya sahip olduğundan ses dalgalarının yayılmasını engelleyen sönümlenme etkisi yaratabilmektedir (Gonzalez, 2003). Kavitasyonu etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesi ise ultrases frekansı olup oluşan kabarcık boyutunu belirlemektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Frekansın kavitasyon kabarcıklarının sayısı ve çapı üzerindeki etkisi (Carrillo-López ve ark., 2017)

Düşük frekanslarda (20 kHz), üretilen kabarcıklar boyut olarak daha büyüktür ve patladıklarında daha yüksek enerji meydana gelmektedir. Daha yüksek frekanslarda (>2,5 MHz) kabarcık oluşumu daha zor olup, kavitasyon oluşmamaktadır (Uzma-Altat ve ark., 2018). Termodinamik değişkenlerden olan dış basıncın artırılması kavitasyon eşliğini de artırmakta ve dolayısıyla oluşan kabarcık sayısını azaltmaktadır. Öte

yandan, dış basıncın artması, çökme anında kabarcıklarının içindeki basıncı artırmakta ve daha hızlı ama şiddetli bir çöküşe neden olmaktadır. Diğer bir parametre olan sıcaklık ise kabarcıklarının sayısını artırmakta ama çökme yüksek buhar basıncı nedeniyle sönümlenmektedir (Madhu ve ark., 2019). Sıvı özelliklerinden olan viskozite, eğer yüksekse uygulanması gereken negatif basınç miktarının artırılması gerekmektedir. Yüzey

geriliminin yüksek olduğu durumlarda da kavite oluşması için gereken enerji yükseltilmelidir. Kavite oluşması için diğer bir gereklilik için buhar basıncıyla ilişkilidir. Kabarcıklarda yüksek buhar basıncının olması, daha az bir patlama yaratmaktadır. Bu faktörler dışında; difüzyon sabiti, genişleme, termal iletkenlik, özgül ısı ve sıvının içerisinde bulunan safsızlıklar da kaviteyi etkileyen parametreler olarak nitelendirilmektedir (Gonzalez, 2003).

### **Gıda İşlemede Ultrases Uygulamaları**

Günümüzde süpermarket raflarında yer alan gıdalar, kullanılan üretim, işleme ve ambalajlama teknolojileri bakımından çeşitli prosesler içermektedir. Bu proseslerin temel amacı işleme süresini azaltmak, enerji tasarrufu sağlamak ve gıda ürünlerinin kalitesini iyileştirmektir (Chemat ve Khan, 2011). Bu tekniklerden bir tanesi olan ultrasesin gıda işleme uygulamalarında kullanımı temel olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Birinci kategori geleneksel teknolojilerin ultrases yöntemiyle değiştirilmesini kapsamakta olup, ikinci kategori ise işlemlerin daha verimli ve hızlı bir şekilde tamamlanabilmesi için geleneksel tekniklere yardımcı olmak veya hızlandırmaktır (Tao ve Sun, 2015).

### **Kesme**

Gıda endüstrisinde kesme, önceden tanımlanmış bir hızda kullanılan bıçak sayesinde yarı-katı veya yumuşak-katı malzemeleri ayırmak için kullanılmaktadır. Ultrasonik kesimde ise bir şaft ile ultrases kaynağının birleştirilmesiyle oluşan bıçak yer almaktadır. Ultrasonik titreşimlerinin üst üste binmesiyle meydana gelen kesim işlemi düşük enerji gerektirmektedir. Bunun yanında ultrases, titreşimler nedeniyle ürünün bıçaklara yapışmasını engellediğinden, ürün yüzeyinde

mikroorganizmaların gelişimini azaltmaktadır. Ayrıca ultrasonik titreşimler bıçakların “otomatik olarak temizlenmesini” mümkün kıldığından hijyenin iyileştirilmesine de yardımcı olmaktadır (Bhargava ve ark., 2021). Ultrasonik kesim, gıda ürünlerinin kesilmesi ve dilimlenmesinde yenilikler ve avantajlar sunarak daha az atık ve daha düşük bakım maliyetleri sağlamaktadır. Özellikle çok katmanlı ve yüksek direnç gösteren ürünler olan peynir, balık, şeker çubukları ve fırıncılık ürünlerinde kullanılmaktadır. Ultrasesin yayılması için elastik bir ortama ihtiyaç duyulduğundan, ürünün farklı katmanları enerjiyi farklı şekilde emerek işlev görmektedir (Pingret ve ark., 2013). Kesimin tekrarlanabilirliği ve doğruluğu, normal kesim işlemlerinde görülen çatlaklar veya kırıntılar nedeniyle meydana gelen kayıplarda azalmaya neden olmakta ve daha iyi bir ağırlık standardizasyonu ve porsiyon boyutları sağlamaktadır (Uzma-Altat ve ark., 2018).

### **Filtrasyon**

Gıda endüstrisinde katı maddelerin sıvılardan ayrılması veya katı madde içermeyen sıvının üretilmesi önemli bir prosedürdür. Ancak filtrasyon sırasında katı maddelerin membranın yüzeyinde birikmesi sorun oluşturmaktadır. Bunu önlemek için kullanılan ultrases uygulaması, membranın içsel geçirgenliğini etkilemeden membran yüzeyindeki kek tabakasını kırmakta ve akışı hızlandırmaktadır (Chemat ve Khan, 2011). Ultrases sırasında güç yoğunluğu yükseldikçe, membran temizliği ve akış hızı da iyileşmektedir. Ayrıca, dönüştürücünün sabit güç yoğunluğunda membrana yaklaştırılması da, ultrasesin filtrasyon hızı üzerindeki etkisini artırmaktadır. Frekans bakımından değerlendirildiğinde ise düşük değerler, yüksek frekans değerlerine göre daha



yüksek temizleme etkisi göstermektedir. Çünkü yüksek frekansta kabarcık boyutu küçük olup, ortaya çıkan enerji de azdır ve bunun neticesinde partiküllerin kek katmanından ayrılması zorlaşmaktadır (Kyllönen ve ark., 2005).

### **Emülsifikasyon**

Emülsiyonlar gıda, kozmetik, ilaç, boya ve kimya endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu emülsiyonların depolama stabilitesi oldukça önemli olup, flokülasyon, faz ayrımı, birleşme ve Ostwald olgunlaşması gibi çeşitli kararsızlık mekanizmaları emülsiyon bazlı ürünlerde problem oluşturmaktadır. Bu nedenle emülsiyonlar genellikle ara yüzey gerilimini azaltmak ve sıvı fazda dağılmış materyalin topaklaşmasını engellemek için yüzey aktif maddeler içermektedir. Yüzey aktif maddeler terimi aslında lipofilik ve hidrofilik gruplar içeren malzemeleri ifade etmektedir (Taha ve ark., 2020). Bu maddeler her bir parçacığın etrafında bir katman oluşturmaktadır. Fakat aynı zamanda bu materyaller büyük ölçüde stabilize edilmiş olan sıvı fazda asılı gaz kabarcıklarını da kapsüllemektedir. Bu şekilde yüzey aktif maddeler tüketilerek, emülsiyon kalitesi düşmektedir. Bu sorunlara çözüm olarak, ultrases ile sıvılar gazlardan ayrılmakta ve böylelikle sorun yaratan gaz kabarcık sayısı azaltılarak, emülsiyon desteklenmektedir. Ayrıca birbirine karışmayan iki sıvı arasındaki temas yüzeyi boyunca bir kaviteyasyon kabarcığının patlaması, düşük enerjide bile oldukça kararlı bir emülsiyon oluşturmaktadır (Gallo ve ark., 2018). Aynı zamanda ultrases, iki madde arasında yeni arayüz oluşumu için fazladan enerji sağlayabilmekte; bu nedenle yüzey aktif maddelerin yokluğunda bile emülsiyonlar elde edilebilmektedir. Emülsiyonun stabil olarak kalabileceği maksimum

konsantrasyon limiti de ultrases yoğunluğu artırılarak yükseltilebilmektedir (Gaikwad ve Pandit, 2008).

### **Kristalizasyon**

Dondurma, gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olup, düşük sıcaklıklarda suyun buza dönüştürülmesini içermektedir. Buzun kristalleşmesinin iki aşamaya sahip olduğu bilinmekte olup, bunlar çekirdek oluşumu ve çekirdeklerin daha sonra belirli bir kristal boyutuna büyümesinden meydana gelmektedir (Delgado ve ark., 2009). Bununla birlikte, kristalleşme sırasında yavaş donma meydana gelirse ve depolama sırasında sıcaklık dalgalanması olursa, büyük buz kristalleri oluşmakta, bu da gıda ürünlerinin hücre yapısına zarar vermektedir. Geleneksel olarak kullanılan yöntemler donma hızını artırmadığından dolayı büyük buz kristallerine neden olmaktadır (Cheng ve ark., 2015). Bu problemleri engellemek amacıyla kullanılan ultraseste oluşan kaviteyasyon ve mikro akış etkileri, ilk olarak donma ortamı ile gıda arasındaki ısı ve kütle transfer oranını etkili bir şekilde artırarak donma hızında iyileşme yaratmaktadır. İkinci olarak, ultrases uygulaması, çekirdeklenme sıcaklığını artırabilmekte ve böylelikle daha yüksek sıcaklıklarda çekirdeklenme oluşumuna katkıda bulunarak donma süresini azaltmaktadır. Son olarak ise kaviteyasyonun neden olduğu gaz kabarcıkları çekirdek görevi görebilmekte ve çekirdeklenme hızının artmasına yol açabilmektedir. Ayrıca büyük buz kristalleri ultrases uygulaması altında küçük parçalara bölünerek, çekirdeklenme bölgelerinin artmasını sağlayabilmektedir (Zhang ve ark., 2018).

### **Çözündürme**

Çözündürme, dondurma işleminin tersi bir proses olup,



dondurulmuş gıdaların fizikokimyasal özelliklerinin yanı sıra kalite özelliklerini de etkileyen karmaşık kütle ve ısı transferi süreçlerini ifade etmektedir. Büyük hacimdeki dondurulmuş gıda maddelerinin çözülme süreci zaman harcayıcı bir proses olup, dondurma işleminden daha yavaş gerçekleşmektedir (Tao ve Sun, 2015). Bu sebeple çözündürme endüstriyel gıda işlemede yüksek maliyete neden olmaktadır. Ayrıca çözündürme işlemi büyük ve küçük ölçekli yiyecek-içecek hizmetlerinde ve evde de sorun oluşturmaktadır (Miles ve ark., 1999). Bu nedenle geleneksel çözündürme yöntemlerinin (sıcak su/hava çözdürme, mikrodalga çözdürme vb.) sadece yüzeysel ısıtmayı sağlaması ve protein denatürasyonlarına neden olması dondurulmuş gıda maddelerinin çözündürme işleminde ultrases yönteminin de araştırılmasına neden olmuştur (Qiu ve ark., 2020). Fakat ultrases yöntemi de, zayıf penetrasyon, lokalize ısıtma ve yüksek güç gereksinimi gibi olumsuz yönler içerdiğinden, ultrasesin daha geniş uygulama alanlarına ulaşmasını zorlaştırmıştır (Cheng ve ark., 2015). Miles ve ark. (1999) tarafından yapılan çalışmada ise tüm sayılan olumsuz koşulların frekans ve güce bağlı olduğu belirlenmiştir ve bu sebeple frekansın 500 kHz ve gücün ise  $0,5 \text{ W/cm}^2$  ayarlanmasıyla donmuş sığır eti, domuz eti ve morinanın yaklaşık 2,5 saat içinde 7,6 cm derinliğe kadar çözülerek bu sorunların ortadan kaldırılacağı bildirilmiştir.

### **Ekstraksiyon**

Geleneksel ekstraksiyon teknikleri ile birlikte kullanılan ultrases, arayüzlere ve arayüzlerden kütle transferinin hızını ve kapsamını artırmada potansiyel bir tekniktir. Ultrasesin faydalı etkileri, oluşan akustik kaviteasyon sonucunda hücre

duvarlarının bozulmasını sağlaması ve böylelikle çözücünün ürüne nüfuz etmesini artırmasından kaynaklanmaktadır (Rastogi, 2011). Substrat kuruyorsa, ultrases, şişmeyi ve hidrasyonu kolaylaştırarak, hücre duvarı gözeneklerinin genişlemesine neden olmak için de kullanılabilir. Ayrıca bu işlem düşük sıcaklıklarda gerçekleşmekte ve bu nedenle termal olarak kararsız bileşiklerin yapısal, moleküler veya fonksiyonel özelliklerinde herhangi bir değişim yaratmaksızın ekstraksiyonu arttırmak için de önem kazanmaktadır (Soria ve Villamiel, 2010). Bu faydaların yanında; ekstraksiyon ve işleme süreleri kısaltmakta, kullanılan enerji ve çözücü miktarı azalmakta, son olarak da CO<sub>2</sub> emisyonları düşmektedir. Bu nedenle, ultrases aynı zamanda gıdaları modifiye etmek ve geleneksel gıda işleme teknolojileri kullanılarak mümkün olmayan yeni gıda ürünleri yaratmak için de kullanılmaktadır (Gallo ve ark., 2018).

### **Kurutma**

Kurutma, gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Fakat bu işlem hem ürün kalitesini olumsuz etkilemekte hem de kurutma süresinin uzun olmasından dolayı yoğun enerji gerektiren bir işlem olarak değerlendirilmektedir (Musielak ve ark., 2016). Gıdalar gibi ısıya duyarlı maddeleri kuruturken, termal olmayan bir enerji olan ultrases kullanımı özellikle uygun görülmektedir. Ultrases ayrıca, dondurarak kurutma, sıcak havayla kurutma, vakumlu kurutma veya akışkan yataklı kurutma dahil olmak üzere çeşitli kurutma işlemlerinde etkinliğin artırılmasında etkiye sahiptir. Ultrases işlemi sadece kuruma süresini önemli ölçüde azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda enerji verimliliğini artırmakta ve kurutulmuş ürünün kalitesinin korunmasına da yardımcı

olmaktadır. Ayrıca, akışkan yataklı kurutma sistemlerinde ultrases uygulamak minimum akışkanlaştırma hızını azaltabilmekte ve akışkanlaştırma homojenliğini iyileştirebilmektedir (Zhang ve Abatzoglou, 2020). Ultrases destekli kurutmada, ultrases gücü kurutma işlemi üzerinde her zaman olumlu bir etki sağlamaktadır, ancak ultrasesin etkinliği büyük ölçüde hava hızı, hava sıcaklığı, vakum basıncı vb. gibi işlem değişkenlerine bağlı olarak da değişmektedir (Huang ve ark., 2020).

### **Köpük Giderme**

Köpük, gaz kabarcıkları arasındaki mesafelerin çok küçük olduğu bir sıvı içindeki gaz dağılımı olarak bilinmektedir. Aslında köpük, çok ince bir sıvı filmle ayrılan gaz kabarcıklarının toplanması olarak da düşünülebilmektedir (Ghildyal ve ark., 1988). Gıda endüstrisi proseslerindeki köpük, proses ekipmanlarının arızalanmasının ve bozulmasının en önemli nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Köpük genellikle tüm üretim süreçlerinin tamamen durmasına kadar performans ve verimlilikte önemli düşümlere neden olmakta ve bu da ciddi gelir kayıplarına yol açmaktadır (Leuner ve ark., 2020). Aynı zamanda süt ürünlerinde meydana gelen köpük, oksidatif bozulmayı da hızlandırabilmektedir (Ashokkumar ve ark., 2010). Köpükler, gazın sıvı bir matris içinde dağılmış ayrı bir faz olarak stabilize edildiği termodinamik olarak kararsız koloidal sistemler olup, köpüğün giderilmesi, sıvılardan hava kabarcıklarının ve havanın çıkarılması işlemi olarak tarif edilmektedir (Awad ve ark., 2012). Köpük gideriminde ultrases enerjisinin kullanımı sıvı ile temas etmeden köpükleri kırmanın etkili bir yolunu temsil etmektedir. Köpüklerin giderilmesinde ultrasesin kullanılması çeşitli proseslerin bir kombinasyonunu içermektedir. Bunlar; (a) yüksek akustik

basınçla üretilen köpük kabarcığı yüzeyindeki kısmi vakum; (b) kabarcık yüzeyine ultrases basıncının çarpması; (c) köpük kabarcıklarının rezonansı ile yaratılan ve kabarcık birleşmesine neden olan interstisyel sürtünme; (d) kavitasyon; (e) sıvı film yüzeyinden püskürtme ve (f) akustik akış (Riera ve ark., 2006). Aynı zamanda yüksek yoğunluklu ultrasonik dalgalar, geleneksel olarak kullanılan yöntemlerdeki yüksek hava akışı ihtiyacını önledikleri, kimyasal kontaminasyonu engellediği ve kapalı bir ortamda, yani steril koşullar altında kullanılabilirlikleri için avantaj sağlamaktadır (Chemat ve Khan, 2011).

### **Gaz giderme/Hava alma**

Bir sıvı, içerisinde çözünmüş oksijen, karbondioksit ve azot gazını içermektedir. Genellikle bir sıvıdan, gazın arındırılması için kullanılan iki yaygın yöntem kaynatma ve basıncı düşürme olsa da, ultrases kullanımı küçük sıcaklık değişimleri yarattığından bir avantaj sunmaktadır (Chemat ve Khan, 2011). Sonikasyon ile kabarcıkların toplanması, büyük kabarcıkların yüzeye yükselmesini kolaylaştırmaktadır. Gaz gidermenin etkinliği ise, uygulanan sıvı ortamın viskozitesinin artmasıyla azalmaktadır (Madhu ve ark., 2019). Ayrıca bu etkinin temeli olan kavitasyonel etkiler, sıvıların gazdan arındırılmasındaki yüksek verimliliğinin de kaynağıdır (Capote ve De Castro, 2007). Gıda endüstrisinde, bu teknik, şişelemeden önce bira gibi gazlı içeceklerin gazdan arındırılmasında kullanılabilirliktedir. Böylelikle hava, sıvı yüzeyinden uzaklaştırılmakta bu işlem de ürünün bakteri ve oksijen tarafından organoleptik hasar görmesini önlemeyi sağlamaktadır. Mekanik çalkalama ile karşılaştırıldığında, ultrasonik yöntem, kırılan şişe sayısını ve içeceğin taşmasını azaltmaktadır. Ultrasonik destekli köpük giderme

özellikle sıvı sistemlerde hızlıdır, ancak eritilmiş çikolata gibi çok viskoz sıvılarda gazın çıkarılması çok daha zordur (Uzma-Altat ve ark., 2018).

### **Salamura uygulamaları**

Salamura uygulaması, et ve peynirler ile turşu üretiminde kullanılmaktadır. Fakat mevcut salamura işlemlerinin çoğu üç ana dezavantaja tabidir: (1) Salamurada, çok yüksek bir sodyum klorür içeriği kullanıldığından, bu içeriğini azaltmak için sevkiyattan önce bir 'tuzdan arındırma' işlemi gerekmektedir. (2) Fermantasyonda kontrol sorunları yaşanabilmektedir. (3) Salamuraya batırma işlemi; enzimatik yumuşamaya, yapısal hasara ve şişkinliğe yol açabilmektedir (Chemat ve Khan, 2011). Sánchez ve ark. (1999) tarafından yapılan araştırmada salamura sırasında kullanılan ultrases yöntemiyle peynirde tuz kazanımının iyileştiği ve su kaybının azalttığı bildirilmiştir. Bunun sebebi ise akustik kaviteasyon sebebiyle meydana gelen kütle transferindeki iyileşmedir. Cárce ve ark. (2007) ise gerçekleştirdiği çalışmada akustik yoğunluğun eşik değere ulaşması durumunda ultrasesin kütle aktarım hızını önemli ölçüde artırdığını tespit etmiştir. Öte yandan, hızlı bir salamura teknolojisi birçok başka fayda da sağlayabilmektedir. Bu yöntemle salamura edilmiş gıda maddelerinin enzimatik yumuşama, şişkinlik ve yapısal hasar sorunları kontrol edilebilmektedir. Ek olarak, yüksek tuz kazanım oranı, tuzlu su çözeltisindeki NaCl içeriğinin azalmasına izin vermekte, böylece işlemde sonra tuzdan arındırma işlemini azaltabilmektedir (Tao ve Sun, 2015).

### **Etin yumuşatılması ve pişirilmesi**

Et yumuşaklığı, et kalitesinin belirlenmesinde kullanılan en önemli özelliklerden bir tanesidir ve iskeletsel kasın bileşimi, yapısal organizasyonu ve

bütünlüğünden etkilenmektedir. İçsel kas gücünü belirleyen iki yapısal bileşen miyofibriler proteinler ve bağ dokular olup, bu iki bileşenin doğası yumuşaklığı sağlamayı zorlaştırmaktadır (Alarcon-Rojo ve ark., 2019). Et endüstrisinde, et yumuşaklığını sağlamak için bıçak veya iğnelerin kullanıldığı mekaniksel yöntemlerden yararlanılmaktadır. Bu işlemler; kas liflerini ve bağ dokularını fiziksel olarak bozan ve kesme kuvvetine karşı direnci azaltan yakından aralıklı iğneler veya keskin bıçaklar kullanarak bağ dokusunun kısmen tahrip edilmesini ve kas liflerinin kesilmesini içermektedir. Fakat temas noktalarında gerçekleşebilecek potansiyel mikrobiyal kontaminasyon, et görünümünü ve rengini etkileyebilmektedir. Aynı zamanda kas ve et kesimine bağlı olarak, tat da değişebilmektedir (Bhat ve ark., 2018). Etin yumuşaklığının sağlanmasında, yüksek yoğunluklardaki ultrases, hücresel ve alt hücresel bileşenleri bozabilmekte ve akustik basıncın periyodik salınımı, hücre zarlarının yumuşamasına neden olmaktadır. Doku tahribi, proteinlerin, minerallerin ve diğer bileşenlerin yerini değiştirmekte ve bunun sonucunda enzim aktivitesinin hızlanması sağlanmaktadır (Jayasooriya ve ark., 2004).

Geleneksel bir pişirme yönteminde, yiyecekler yüksek sıcaklıklara maruz bırakıldığında, dış kısım aşırı pişmekte ve iç kısım ise yeterince pişmediğinden dolayı kalitede bir azalma meydana gelmektedir (Chemat ve Khan, 2011).

Ultrases, bu tür sorunları engellemek için geliştirilmiş ısı transfer özellikleri sağlamakta ve yiyeceğin homojen olarak pişirilmesine yardım etmektedir. Ayrıca, ultrases ile

pişirmede gerekli enerji tüketimi de azalmaktadır (Madhu ve ark., 2019).

#### **Gıda Muhafazasında Ultrases**

Geleneksel olarak gıda ürünlerindeki mikroorganizmaları ve enzimleri inaktive etmek için kullanılan en yaygın teknikler, pastörizasyon ve sterilizasyondur. Bu ısı işlemler sırasında enzim aktivitesi azalmakta, vejetatif mikroorganizmalar ve bazı sporlar ölmekte; ancak işlemin etkinliği sıcaklık ve süreye bağlı olarak değişmektedir. Çünkü ısı işlemin etkinliği; kullanılan süre ve işlem sıcaklığına bağlı olduğundan, aynı zamanda besinsel bileşenlerin kaybı, istenmeyen tatların gelişimi ve gıda ürünlerinin fonksiyonel özelliklerinin bozulması da aynı oranda artmaktadır (Dolatowski ve ark., 2007; Ercan ve Soysal, 2013). Fakat son yıllarda tüketiciler, doğada bulunanlara benzer organoleptik ve besinsel özelliklere sahip gıdalar talep etmektedir. Ayrıca gıda ürünlerinin, tüketim öncesinde dağıtım ve saklama koşullarında da uzun bir raf ömrüne sahip olmasını beklemektedir. Bu nedenle hem gıda kalitesini hem de duyu özellikleri önemli ölçüde korurken, işleme sürelerini azaltan ve gıda ürünlerinin raf ömrünü iyileştiren minimal işleme teknolojilere ilgi artmaktadır. Bu tekniklerden bir tanesi olan ultrases, gıdalardaki mikroorganizmaları ve enzimleri inaktive ederek, gıda muhafazasında başarıyla kullanılmaktadır (Carrillo-López ve ark., 2017).

#### **Mikrobiyal İnaktivasyon**

Ultrases ile mikroorganizmalar arasındaki etkileşim karmaşıktır. Ultrases, bazı durumlarda mikrobiyal aktiviteyi azaltırken bazı durumlarda ise artırmaktadır. Genellikle ise ultrases, gıda güvenliğini sağlamak amacıyla mikroorganizmaları etkisiz hale getirmek için kullanılmakta ve bunu

gerçekleştirmek için nispeten yüksek yoğunluklu ultrases gerekmektedir. Diğer bir uygulama alanı olan fermantasyon işlemlerinde, amaç mikrobiyal çoğalmayı artırmak ve böylece ürün verimini artırmak olduğundan, bu işlev için gerekli ultrases yoğunluğu daha düşüktür (Kentish ve Feng, 2014). Bu bölümün odak noktası ise mikroorganizmaları inaktive ederek gıda muhafazasını kolaylaştırmaktır.

Ultrases teknolojisi tek başına veya diğer koruma prosesleriyle mikroorganizmaların inaktivasyonunda kullanılabilir. Bu işlemler sırasında kritik faktörler; ultrasonik dalgaların yoğunluğu, mikroorganizmalarla maruz kalma/temas süresi, mikroorganizma türü, işlenecek gıdanın hacmi, gıdanın bileşimi ve işlem sıcaklığı olarak bilinmektedir (Baysal ve Demirdoven, 2012). Aynı zamanda mikroorganizmaların şekli ve çapı da etkinliği değiştirmektedir. Daha büyük hücreler, küçük olanlara göre daha hassastır. Bu muhtemelen daha geniş yüzey alanlarından kaynaklanmaktadır. Gram pozitif bakterilerin gram negatif bakterilerden daha dirençli olduğu bilinmektedir çünkü daha kalın hücre duvarları nedeniyle ultrases etkilerine karşı daha iyi bir koruma sağlamaktadır. Mikroorganizmaların şekli ile ilgili olarak koklar, hücre yüzeyi ve hacmi arasındaki ilişki nedeniyle basillerden daha dirençlidir. Son olarak ise büyüme aşamasında olan vejetatif hücrelere kıyasla sporların yok edilmesi daha zordur (Chemat ve Khan, 2011).

Gıdaların da kompleksliği ve koruyucu doğası nedeniyle, ultrasesin bir koruma yöntemi olarak tek başına kullanılması bazen yeterli olmamaktadır. Bu amaçla tek başına ultrases kullanımı ultrasonikasyon olarak da bilinmekte ve düşük sıcaklıklarda gerçekleştiğinden, ısıya duyarlı ürünler için uygun

görülmekte, fakat uzun işlem süresi gerektirmektedir (Uzma-Altıf ve ark., 2018). Diğer bir kullanımı ise termosonikasyon (TS) olarak adlandırılmakta ve ultrasesin ısıyla kombinasyonunu ifade etmektedir. Bakterilerin TS ile inaktivasyonu için de bir üst sıcaklık sınırı bulunmaktadır. Çünkü yüksek sıcaklıklarda, buhar basıncındaki artış ve yüzey gerilimindeki azalma, bir sıvıda ultrasonik inaktivasyonun etkinliğini azaltmaktadır. Böyle bir durumda, buharla doldurulmuş kabarcıklar, bir tamponlama etkisine bağlı olarak daha az güçlü bir patlama oluşturmakta ve bu sebeple ulaşılan kavitasyon sıcaklık ve basıncı azalmaktadır (Ugarte-Romero ve ark., 2007). Diğer bir yöntem ise manosonikasyon (MS) olup, ultrasesin basınçla beraber kullanımından meydana gelmektedir. Bu işlemde düşük sıcaklıklarda orta seviyedeki basınçlar kullanılarak mikroorganizma inaktivasyonu sağlanmakta ve ısıya duyarlı gıdalarda ısıl işlemlere alternatif olabilmektedir (Manas ve ark., 2000). Son yöntem ise manotermosonikasyondur (MTS) ve ısı, ultrases ve basıncın birlikte kullanımını ifade etmektedir. Bu yöntemde mikrobiyal inaktivasyon artmakta, gereken süre kısaltılmakta ve işlemlerin tek başına yapılmasıyla ortaya çıkan enerji maliyeti azalmaktadır (Condón-Abanto ve ark., 2016).

Ultrasesin bakterisidal etkisi hücre içi kavitasyona atfedilmekte olup; hücrenin yapısal ve fonksiyonel bileşenlerini hücre lizisi noktasına kadar bozan mikromekanik şoklar olarak da bilinmektedir (Demirdöven ve Baysal, 2008). Aynı zamanda, ultrases, hücre duvarlarının incelenmesine neden olarak, sیتoplazmik zarın hücre duvarından serbest kalmasını sağlamaktadır. Ultrases, hücrenin ısıya karşı duyarlılığını da artırmakta ve

proteinlerin ve enzimlerin yapısını değiştirerek, denatürasyona daha açık hale getirmektedir (Ünver, 2016).

Ultrases kullanılarak inaktive edilen birçok mikroorganizma örneği bulunmakta olup, bu çalışmalar farklı gıdalarda, ultrasesin tek başına veya diğer yöntemlerle kombine edilerek kullanılmasını kapsamaktadır. Yalnızca ultrases alanında değil, aynı zamanda diğer gıda koruma yöntemleri arasında en sık incelenen mikroorganizmalar *Saccharomyces cerevisiae* ve *Escherichia coli*'dir. Bu mikroorganizmalardan ilki, diğerine göre ultrases uygulamasına daha dirençsizdir (Chemat ve Khan, 2011).

Ultrasesin etkinliğinin taze meyve ve sebzelerde etkinliğinin değerlendirildiği çalışmalara bakıldığında, marullarda 20 kHz frekansta 4<sup>0</sup>C ve 50<sup>0</sup>C sıcaklıklar uygulandığında, ultrasesin toplam canlı sayısı üzerindeki ani etkisi sırasıyla 0,90 ve 0,98 log olarak belirlenmiştir (Ajlouni ve ark., 2006). Çilekler üzerinde yapılan diğer bir çalışmada ise, 37 kHz frekansta, 60 dk uygulanan ultrases işleminden sonra çileklerde gözlenen maksimum mikroorganizma azalması, *E. coli*, *S. aureus*, *S. Enteritidis* ve *L. innocua* için sırasıyla 3,04, 2,41, 5,52 ve 6,12 log olarak tespit edilmiştir (Birmpa ve ark., 2013). Brokoli tohumlarında 40 kHz'de 2 dk/23<sup>0</sup>C ve 2 dk/55<sup>0</sup>C olarak seçilen işlem koşullarında, *E. coli* azalması sırasıyla 1,13 ve 1,95 log olarak tespit edilmiştir (Kim ve ark., 2006). Ultrasesin çeşitli kimyasallarla beraber uygulandığı çalışmalara bakıldığında ise, organik marullarda 40 kHz ultrases+laktik asit (%2) 5 dk kullanıldığında, *E.coli*, *S. typhimurium* ve *L. monocytogenes* için sırasıyla 2,75, 2,71 ve 2,50 log azalma saptanmıştır (Sagong ve ark., 2011). Çeri domatesler üzerinde yapılan diğer bir çalışmada ise, 45 kHz ultrases+40 ppm perasetik asitin, 10dk/ 20<sup>0</sup>C'de

uygulanmasından sonra aerobik mezofiliklerde 4,4 log, maya ve küf sayısında ise 3,4 log azalma sağlanmış olup, *S. typhimurium* azalması ise 3,88 log bulunmuştur (Brilhante São José ve Dantas Vanetti, 2012). Eriklerde 40 kHz+40 ppm klordioksit ve 10 dk/20°C olarak seçilen işlem koşullarında, aerobik mesofilik, aerobik psikrotrofik ve maya-küf azalmalarındaki ani etki sırasıyla 3,0, 2,9 ve 2 log olarak tespit edilmiştir (Chen ve Zhu, 2011).

Ultrasesin etkisinin meyve sularında araştırıldığı çalışmalar da literatürde bulunmaktadır. Buna göre; karadut sularında termosonikasyonun 20 kHz/ 750 W/ %100 genlik/ 15 dk/ 50°C koşullarında uygulanmasıyla *E. coli* sayısında 5 log azalma tespit edilmiştir (Dinçer ve Topuz, 2015). Diğer bir çalışmada, elma suyunda 24 kHz/ 400 W/ %100 genlik/ 30 dk/ 60°C termosonikasyon koşullarında *S. cerevisiae* azalması 7 log olarak bildirilmiştir (Marx ve ark., 2011). Elma (%90) ve havuç (%10) suyunun karıştırılmasıyla elde edilen meyve suyunda manotermosonikasyon 20 kHz/ 750 W/ % 100 genlik/ 100 kPa/ 1 dk/ parametrelerinin 40, 50 ve 60°C'de uygulanmasıyla *E. coli* azalması sırasıyla 2,93, 5,12 ve 6,17 log olarak bulunmuştur (Kahraman ve ark., 2017). Vişne sularında 20 kHz/ %100 genlik/ 10 dk/ 25°C koşullarında uygulanan ultrasonikasyon işlemi *E. coli* seviyesinde en fazla azaltmayı sağlamıştır (Türken ve Erge, 2017). Portakal sularında manosonikasyon (20 kHz/ 450 W/ 35°C / 200 kPa/ 110 µm genlik) ve manotermosonikasyonun (20 kHz/ 450 W/ 60°C/ 200 kPa/ 110 µm genlik) etkinliğinin araştırıldığı çalışmada, MS kullanılarak *L. monocytogenes* inaktivasyonunda 4 dk'da yaklaşık 2 log, MTS kullanılarak ise 0,5 dk da yaklaşık 2,5 log azalma tespit edilmiştir. Aynı uygulamada, *E.*

*coli* inaktivasyonunda ise MS kullanılarak 2,5 dakikada yaklaşık 3 log, MTS kullanılarak ise 1 dk da yine 3 log azalma bulunmuştur (Guzel ve ark., 2014). Yabanimersini suyunda termosonikasyon (40 kHz/ 560 W/ 20 dk/ 40°C), manosonikasyon (40 kHz/ 560 W/ 350 MPa/ 5dk), ve manotermosonikasyonun (40 kHz/ 560 W/ 350 MPa / 5 dk/ 40°C) etkisinin araştırıldığı çalışmada *E. coli* popülasyonunun sırasıyla, 3,3, 5,2 ve 5,8 log azaldığı bildirilmiştir (Zhu ve ark., 2017).

Ultrasesin mikrobiyal inaktivasyon amaçlı kullanıldığı diğer bir gıda grubu ise süt ürünleridir. Manda sütünde 28 kHz/ 338-430 W/ 20°C / 15 dk ultrasonikasyon işleminin yapılması neticesinde, kontrol grubunda yaklaşık 7 log olan toplam aerobik bakteri sayısı, 388 W işleminde 5,87 log, 430 W için ise 4,71 log değerine düşmüştür. Koliform bakteri açısından ise kontrolde 3.08-3.64 log olarak değişen sayılar, 388 W ve 430 W için sırasıyla 2,11 log ve 2,14 log olarak tespit edilmiştir. Stafilokok için ise kontrolde 4,17-4,19 log iken, 388 W uygulamasında 3,6 log, 430 W uygulamasında ise 3,8 log olarak kaydedilmiştir (Al-Hilphy ve ark., 2012). İnek sütünde sonikasyon (20 kHz/ 25 W/cm<sup>2</sup>/ 60 µm genlik/ 6 dk/ 20°C) ve termosonikasyon (20 kHz/ 52 W/cm<sup>2</sup>/ 60 µm genlik/ 12 dk/ 60 °C) işlemlerinin etkinliğinin araştırıldığı çalışmada, *S. aureus* için sonikasyon uygulamasında 0,09, termosonikasyon işleminde ise 1,37 log azalma sağlanmıştır. *E. coli* için ise aynı uygulamalarda sırasıyla, 1,54 log ve 2,98 log azalma tespit edilmiştir (Herceg ve ark., 2012). UHT sütlerde sonikasyon (24 kHz/ 62,5 µm genlik/ 5-15 dk) işleminin etkisinin araştırılması için örneklerle tüm mikroorganizma grupları için 8,1 log inokülasyon yapılmıştır. Buna göre *S. aureus* için 5-10-15 dk uygulamalarında sırasıyla 6,7,

5,5 ve 4,3 log değerlerine, *L. monocytogenes* için 6,4, 5,3 ve 4,1 log değerlerine, *S. typhimurium* ve *E. coli* için ise aynı olan 5,7, 4,7 ve 3,1 log değerlerine düşüş tespit edilmiştir (Shamila-Syuhada ve ark., 2016). Sütte manosonikasyon (20 kHz/ 113 W/ 117 µm genlik/ 200 kPa/ 4 dk/ 35°C) işlemi *C. sakazakii*'nin % 99,99 oranında inaktive edilmesinde etkiliyken, aynı oran manotermosonikasyon uygulamasında ise 20 kHz/ 113 W/ 117 µm genlik/ 200 kPa/ 1,8 dk/ 60°C parametrelerinde elde edilmiştir (Arroyo ve ark., 2011). Çiğ sütte, 37 ve 55°C olmak üzere iki sıcaklıkta uygulanan manotermosonikasyon işlemi (20 kHz/ 27,9 µm genlik/ 225 kPa) ve vurgulu elektrik alanının kombine şekilde kullanılması sonucunda, çiğ sütte başlangıçta 5 log olan toplam canlı sayısı, 37°C-MTS/PEF uygulamasında yaklaşık 2,5 log, 55°C -MTS/PEF işleminde ise 1 log değerine düşmüştür. Aynı durum, maya küf sayısında da sırasıyla 2,5 ve 1,5 log değerlerindedir (Halpin ve ark., 2013). Ultrases (24 kHz/ 240 W/ 120 µm genlik/ 15 dk/ <30°C) ve UV-C işleminin sütte kombine şekilde uygulandığı diğer bir çalışmada, toplam ve koliform bakteriler için azalma sırasıyla 4,79 log ve 5,31 log olarak tespit edilmiştir (Şengül ve ark., 2011).

### Enzim İnaktivasyonu

Bazı gıda maddelerinin stabilizasyonu için enzimlerin inaktive edilmesi veya aktivitelerinin azaltılması gerekmektedir. Çünkü proteazlar gibi bazı enzimlerin neden olduğu proteoliz, aromada kayıp ve pigmentlerde ise kahverengileşmeyen neden olabilmektedir. Bu problemleri engellemek için gereken enzim inaktivasyonu, ısı ile işlemle kolayca sağlanabilmektedir. Fakat, bazı durumlarda enzimlerin yüksek ısı direnci bir sorun oluşturmakta ve bu problemi engellemek için kullanılan yüksek ısı;

lezzet, renk veya besin değeri gibi bazı gıda özelliklerini olumsuz yönde değiştirebilmektedir (Chemat ve Khan, 2011).

Isıl işleme alternatif olarak geliştirilen ultrases teknolojisinin, enzimler üzerindeki etkisi de mikrobiyal inaktivasyonda olduğu gibi kavitasyon sebebiyledir. Kavitasyon koşulları altında ultrases, polipeptit zincirlerinde hidrojen bağının ve van der Waals etkileşimlerinin bozulmasına neden olarak, proteinin ikincil ve üçüncül yapılarında değişikliklere yol açabilmektedir (De São José ve ark., 2014). Aynı zamanda kavitasyon etkisi; ürün miktarı, enzim konsantrasyonu, ürün içinde çözülmüş gaz miktarı, ortamdaki pH derecesi ve inhibitör varlığına göre de değişmektedir. Son olarak ise ultrasesin etkisi, enzime göre değişmekte olup, bu da enzimin yapısına ve amino asit kompozisyonuna bağlı olarak farklılaşmaktadır (Dinçer ve Topuz, 2018).

Ultrasesin meyve ve sebze enzimleri üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmalara bakıldığında, domatese uygulanan 23 kHz/ % 15-75 güç/ 20-150 s koşullarında, % 15, % 25 ve % 40 ultrasonik güçlerde 150 s uygulamanın, domateslerde peroksidaz inaktivasyonunu sırasıyla % 35,84, % 36,07 ve % 83,79 oranına azalttığı tespit edilmiştir. Diğer yandan, % 100 inaktivasyon için % 50 güçte 150 s gerektiği ve aynı inaktivasyonun, % 75 güçte 90 s süreyle gerçekleştiği belirlenmiştir (Ercan ve Soysal, 2011). Domateste pektinmetilesteraz inaktivasyonunun incelendiği diğer çalışmada ise 20 kHz/ 100 W/ 20 µm genlik parametrelerinde 50, 61 ve 72°C'de işlem gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre 50°C'de D değeri 240,6 dk olarak bulunmuş, 61°C ve 72°C sıcaklıklarında ise sırasıyla 7,6 ve 0,7 dk değerleri tespit edilmiştir (Raviyan ve



ark., 2005). Domateste pektinmetilesteraz (PME) ve poligalakturonaz (PG) I ve II üzerine manotermosonikasyonun (20 kHz/ 200 kPa/ 117 µm genlik), 37°C ve 62,5°C sıcaklıklarında kullanıldığı çalışmada PME için D değeri sırasıyla 4,30 ve 0,85 dk olarak bulunmuştur. Aynı manotermosonikasyon parametrelerinin, PGI üzerine 37°C ve 86°C de incelendiği bölümde ise, D değerleri sırasıyla 3,17 ve 0,24 dk olarak, PG II için ise 37°C ve 52,5°C değerlerinde 2,23 ve 1,46 dk olarak belirlenmiştir (Lopez ve ark., 1998). Manotermosonikasyonun (20 kHz/ 200 kPa/ 117 µm genlik), portakaldaki termostabil PME fraksiyonları üzerine 38°C, 60°C, 72°C ve 79°C sıcaklık değerlerinde incelendiği çalışmada D değerleri sırasıyla 10,87, 3,01, 1,24 ve 0,8 dk olarak bulunmuştur (Vercet ve ark., 1999).

Meyve sularındaki enzimler üzerine ultrasesin inaktivasyon etkisinin değerlendirildiği çalışmalara bakıldığında, Jabbar ve ark. (2015) havuç suyunda termosonikasyonun (20 kHz/ % 70 genlik/ 48 W/cm<sup>2</sup>/ 5-10 dk/ 20-60°C) polifenolaz, peroksidaz, pektinmetilesteraz ve lipoksigenaz enzimlerindeki etkinliğini değerlendirmiştir. Sonuçlara göre POD, PPO, PME ve LOX enzimlerinin en yüksek inaktivasyonu termosonik (60°C/ 10 dakika) işlemlerde meydana gelmiştir. 20°C'deki sonikasyon uygulamalarının etkisiz olduğu, enzimlerin inaktivasyonunun işlem sıcaklığının 40°C'den 60°C'ye yükselmesiyle arttığı belirtilmiştir. Elma suyunda POD, PPO ve PME üzerine termosonikasyonun (20 kHz/ % 70 genlik/ 0,3 W/cm<sup>3</sup>/ 5-10 dk/ 20-40-60°C) etkilerinin araştırıldığı çalışmada, 40°C-5dk uygulamasında % değerler POD, PPO ve PME için sırasıyla 68, 61 ve 60 iken, 40°C-10 dk da ise 57, 53 ve 52

olarak tespit edilmiştir. En yüksek inaktivasyon ise 60°C-10 dk uygulamasında bulunmuş olup, değerler sırasıyla % 9, 6,15 ve 7,10 olarak belirlenmiştir (Abid ve ark., 2014). Termosonikasyonun (20 kHz/ 60-80-100 W/ 5-15-25 dk/ 40-60-80°C) portakal suyunda PME üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada, optimum uygulama olarak belirlenen termosonikasyon (20 kHz/ 80 W/ 9,8 dk/ 63°C) işleminde yaklaşık % 91 inaktivasyona ulaşılmıştır (Koshani ve ark., 2015). Domates suyunda termosonikasyon (20 kHz/ 40 W/ 65 µm genlik/ 4 dk/ 50-75°C) işleminin PME ve PG üzerine etkisinin incelendiği çalışmada 75°C'de PME neredeyse tamamen inaktive olurken, PG ise % 72 oranında inaktivasyona uğramıştır (Terefe ve ark., 2009). Aadir ve ark. (2015) tarafından üzüm suyunda termosonikasyon (28 kHz/ 420 W/ 30-60 dk/ 20-60°C) etkinliğinin araştırıldığı çalışmada 60°C-60dk uygulamasında PME, PPO ve POD aktiviteleri sırasıyla % 91, 90 ve 89 oranında azalmıştır. Portakal suyunda manotermosonikasyon (20 kHz/ 400 kPa / 117 µm genlik/ 30 s / 70°C) işleminin PME üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, aktivite % 94,6 oranında düşmüş olup, işlemin D değerinin 31,7 s olduğu belirlenmiştir (Lee ve ark., 2005).

Ultrasesin süt ürünleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmalar incelendiğinde, Cameron ve ark. (2009) ultrasesin (20 kHz/ 750 W/ 124 µm genlik/ 2-10 dk) sütteki alkalın fosfataz ve laktoperoksidaz enzimleri üzerine etkisinin olmadığını bildirmiştir. Ultrasesin (20 kHz/ 90-360 W/ 30-120 s/ 20-40°C) süt enzimlerinden olan fosfataz ve laktoperoksidaz üzerindeki etkisinin incelendiği diğer bir çalışmada, en yüksek enzim inaktivasyonu (LPO:6,8 ve AP:3,8) 40°C-360W uygulamasında, en düşük enzim inaktivasyonu

(LPO:17,8 ve AP:6,75) ise 20°C-90W işleminde elde edilmiştir (Ertugay ve ark., 2003). Uluko ve ark., (2013) ultrases ile ön işlem görmüş (800 W/ 1-8 dk/ <50°C) süt protein konsantrasyonunun enzimatik hidrolizini araştırmış ve tripsin aktivitesinde % 84, alkalın proteaz aktivitesinde % 185 artış tespit etmiştir. Sütün fermantasyonu sırasında ultrasesin (30 kHz/ 100 W/ 5-15 dk/ 20-40°C)  $\beta$ -galaktosidaz üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada ultrasonikasyon süresinin 5'ten 15 dakikaya çıkarılmasının, aktiviteyi % 58'in üzerine çıkardığı bildirilmiştir (Gholamhosseinpour ve Hashemi, 2019). Sütte termosonikasyonun (20 kHz/ 150 W/ 120  $\mu$ m genlik/ 56-102 s/ 61-75°C) alkalın fosfataz, glutamiltranspeptidaz ve laktoperoksidadz üzerine etkisinin incelendiği çalışmada işlem parametreleri 102s-75°C seçildiğinde AP ve GGTP enzimleri tamamen inaktive olurken, LPO enzimi ise % 70 oranında inaktive olmuştur. Sıcaklığın <30°C olduğu durumda ise, 102s-75°C parametrelerinde AP, GGTP ve LPO için inaktivasyon sırasıyla, % 1,8, % 22 ve % 15 olarak belirlenmiştir (Villamiel ve de Jong, 2000).

#### **Ultrasesin Avantaj Ve Dezavantajları**

Ultrasesin çeşitli işlem aşamalarındaki avantajları aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir;

- Kesim işlemini kolaylaştırır, ürünün bıçaklara yapılmasını engelleyerek hem mikrobiyal gelişimi hem de kayıpları azaltır (Pingret ve ark., 2013; Bhargava ve ark., 2021).
- Filtrasyon temizliğini kolaylaştırır, akışı hızlandırır (Chemat ve Khan, 2011).
- Emülsiyon stabilitesini artırır (Gallo ve ark., 2018).
- Donma hızını artırarak, kristallerin boyutunu küçültür (Zhang ve ark., 2018).
- Çözündürme işleminde kütle ve ısı transferi süreçlerini hızlandırır ve endüstriyel işlemlerdeki maliyeti azaltır (Miles ve ark., 1999; Tao ve Sun, 2015).
- Salamura uygulamalarında tuzun uzaklaştırılması işlemini önler, üründeki kaliteyi korur (Chemat ve Khan, 2011).
- Yeşil bir teknoloji olarak nitelendirildiğinden, çevresel sürdürülebilirliği katkı sağlar (De São José ve ark., 2014).
- Ekstraksiyonda enerji kullanımını ve çözücü miktarını azaltır (Gallo ve ark., 2018).
- Kurutma süresini kısaltır ve ürün kalitenin korunmasını sağlar (Zhang ve Abatzoglou, 2020).
- Gaz giderilmesi işleminde şişelerin kırılmasını ve ürünün taşmasını engeller (Uzma-Altay ve ark., 2018).
- Etin yumuşatılmasını kolaylaştırarak duyusal kaliteyi artırır, pişirme sırasında ise homojenliği sağlar (Jayasooriya ve ark., 2004; Madhu ve ark., 2019).
- Mikrobiyal ve enzim inaktivasyonu sağlayarak gıda raf ömrünü artırır (Chemat ve Khan, 2011).

Ultrasesin oluşturabileceği çeşitli sorunlar ise şunlardır;

- Etkinliği birçok değişkene (reaktöre verilen güç, numune hacmi, reaktör boyutları, prob konumu, sıcaklık geçmişi, frekans, genlik ve titreşim süresi) bağlı olduğundan, bu parametrelerin optimizasyonunu sağlamak zordur (Kentish ve Feng, 2014).
- Ultrases, yüksek yoğunluklarda uygulandığında ve sıcaklığın kontrol altına alınmadığı

durumlarda ürünün organoleptik özellikleri üzerinde zararlı etkiler yaratabilmektedir (Bhargava ve ark., 2021).

- Kavitasyon nedeniyle oluşan serbest radikaller, lipid oksidasyonu (Al-Hilphy ve ark., 2020), protein denatürasyonu ve askorbik asit bozulmasını kolaylaştırabilmektedir (Bhargava ve ark., 2021).

## SONUÇ

Ultras, özellikle tıp alanında yaygın olarak kullanılmasına rağmen, gıda endüstrisinde kullanımı ise istenilen seviyeye gelmemiştir. Bununla birlikte ultras çeşitli gıda işleme proseslerindeki yeteneklerini kanıtlamıştır. Çünkü ultras, gıda endüstrisinde kullanılan birçok proste verimliliği artırma ve operasyonlar için gereken süreyi azaltma özellikleriyle geleneksel yöntemlere kıyasla önemli bir gelecek vaat etmektedir. Fakat, mikrobiyal ve enzim inaktivasyonu bakımından ise tek başına kullanılması durumunda istenilen etkiyi yaratmadığından, ultrasin geleceği, termosonikasyon, manosonikasyon ve manotermosonikasyon gibi kombine teknolojilerde yatmaktadır. Ayrıca bu yöntemlerin nihai avantajlarının sıcaklığa duyarlı veya sıcaklığa dirençli mikroorganizmaları içeren gıdalarda daha yüksek olacağı düşünülmektedir. Sonuç olarak gıda uygulamalarında akademik esaslı ultras teknolojileri üzerine çalışmalar olsa da, bu teknoloji ticari açıdan henüz emekleme aşamasındadır ve geleneksel uygulamaların ultras gibi yeni teknolojilerle yer değiştirilmesi için çok sayıda araştırmaya ve bunların kamuoyuyla paylaşılmasına ihtiyaç vardır.

## KAYNAKLAR

- Aadil, R.M., Zeng, X.A., Zhang, Z.H., Wang, M.S., 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, M.M., Wu, T., Lei, S., Khan, M.A., Zeng, X. 2014. Thermosonication as a potential quality enhancement technique of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(3): 984-990.
- Ajlouni, S., Sibrani, H., Premier, R., Tomkins, B. 2006. Ultrasonication and fresh produce (Cos lettuce) preservation. *Journal of Food Science*, 71(2): 62-68.
- Al-Hilphy, A.R.S., Niamah, A.K., Al-Timimi, A.B. 2012. Effect of ultrasonic treatment on buffalo milk homogenization and numbers of bacteria. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 7(2): 185-189.
- Al-Hilphy, A.R., Al-Temimi, A.B., Al Rubaiy, H.H.M., Anand, U., Delgado-Pando, G., Lakhssassi, N. 2020. Ultrasound applications in poultry meat processing: A systematic review. *Journal of Food Science*, 85(5): 1386-1396.
- Alarcon-Rojo, A.D., Carrillo-Lopez, L.M., Reyes-Villagrana, R., Huerta-Jiménez, M., Garcia-Galicia, I.A. 2019. Ultrasound and meat quality: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 55: 369-382.
- Arnold, G., Zahn, S., Legler, A., Rohm, H. 2011. Ultrasonic cutting of foods with inclined moving blades. *Journal of Food Engineering*, 103(4): 394-400.
- Arroyo, C., Cebrián, G., Pagán, R., Condón, S. 2011. Inactivation of *Cronobacter sakazakii* by manothermosonication in buffer and milk. *Int J Food Microbiol*, 151(1): 21-28.

- Ashokkumar, M., Bhaskaracharya, R., Kentish, S., Lee, J., Palmer, M., Zisu, B. 2010. The ultrasonic processing of dairy products—An overview. *Dairy Science & Technology*, 90(2): 147-168.
- 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(2): 410-427.
- Baysal, T., Demirdoven, A. 2012. *Ultrasound in food technology. Handbook on Applications of Ultrasound: Sonochemistry for Sustainability*. CRC Press, Florida. ISBN 9781439842065. Page: 163-182.
- Bhargava, N., Mor, R.S., Kumar, K., Sharanagat, V.S. 2021. Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70: 105293.
- Bhat, Z.F., Morton, J.D., Mason, S.L., Bekhit, A.E.D.A. 2018. Applied and emerging methods for meat tenderization: A comparative perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4): 841-859.
- Birmpa, A., Sfika, V., Vantarakis, A. 2013. Ultraviolet light and Ultrasound as non-thermal treatments for the inactivation of microorganisms in fresh ready-to-eat foods. *Int J Food Microbiol*, 167(1): 96-102.
- Bozkir, H., Ergün, A.R., Serdar, E., Metin, G., Baysal, T. 2019. Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit. *Ultrasonics Sonochemistry*, 54: 135-141.
- Brilhante São José, J.F., Dantas Vanetti, M.C. 2012. Effect of ultrasound and commercial sanitizers in removing natural contaminants and *Salmonella enterica Typhimurium* on cherry tomatoes. *Food Control*, 24(1): 95-99.
- Cameron, M., McMaster, L.D., Britz, T.J. 2009. Impact of ultrasound on dairy spoilage microbes and milk components. *Dairy Science & Technology*, 89(1): 83-98.
- Capote, F.P., De Castro, M.D.L. 2007. *Ultrasound in analytical chemistry. Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 387(1): 249-257.
- Cárcel, J.A., Benedito, J., Bon, J., Mulet, A. 2007. High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Sci*, 76(4): 611-619.
- Carrillo-López, L.M., Alarcon-Rojo, A.D., Luna-Rodriguez, L., Reyes-Villagrana, R. 2017. Modification of food systems by ultrasound. *Journal of Food Quality*: 5794931.
- Chemat, F., Khan, M.K. 2011. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4): 813-835.
- 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): 117-123.
- Cheng, X., Zhang, M., Xu, B., Adhikari, B., Sun, J. 2015. The principles of ultrasound and its application in freezing related processes of food materials: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27: 576-585.
- Comandini, P., Blanda, G., Soto-Caballero, M.C., Sala, V., Tylewicz, U., Mujica-Paz, H., Frago, A.V., Toschi, T.G. 2013. Effects of power ultrasound on immersion freezing parameters of potatoes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 18: 120-125.
- Condón-Abanto, S., Arroyo, C., Álvarez, I., Condón, S., Lyng, J.G. 2016. Application of ultrasound in combination with heat and pressure for the inactivation of spore forming bacteria isolated from edible crab (*Cancer pagurus*). *Int J Food Microbiol*, 223: 9-16.

- De São José, J.F.B., de Andrade, N.J., Ramos, A.M., Vanetti, M.C.D., Stringheta, P.C., Chaves, J.B.P. 2014. Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. *Food Control*, 45: 36-50.
- Delgado, A.E., Zheng, L., Sun, D.W. 2009. Influence of ultrasound on freezing rate of immersion-frozen apples. *Food and Bioprocess Technology*, 2(3): 263-270.
- Demirdöven, A., Baysal, T. 2008. The use of ultrasound and combined technologies in food preservation. *Food Reviews International*, 25(1): 1-11.
- Dinçer, C., Topuz, A. 2015. Inactivation of *Escherichia coli* and quality changes in black mulberry juice under pulsed sonication and continuous thermosonication treatments. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6): 1744-1753.
- Dinçer, C., Topuz, A. 2018. Meyve suyu işlemede ultrases kullanımı. *Gıda*, 43(4): 569-581.
- Dolatowski, Z.J., Stadnik, J., Stasiak, D. 2007. Applications of ultrasound in food technology. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 6(3): 88-99.
- Ercan, S.S., Soysal, C. 2013. Use of ultrasound in food preservation. *Natural Science*, 5: 5-13.
- Ercan, S.Ş., Soysal, Ç. 2011. Effect of ultrasound and temperature on tomato peroxidase. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(2): 689-695.
- Ertugay, M., Yüksel, Y., Sengül, M. 2003. The effect of ultrasound on lactoperoxidase and alkaline phosphatase enzymes from milk. *Milchwissenschaft-Milk Science International*, 58: 593-595.
- Gaikwad, S.G., Pandit, A.B. 2008. Ultrasound emulsification: effect of ultrasonic and physicochemical properties on dispersed phase volume and droplet size. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15(4): 554-563.
- Gallego-Juárez, J.A. 2017. Basic principles of ultrasound. *Ultrasound in Food Processing*. John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom. ISBN:9781118964156. Page: 3-26.
- Gallo, M., Ferrara, L., Naviglio, D. 2018. Application of ultrasound in food science and technology: A perspective. *Foods*, 7(10): 164.
- Ghildyal, N.P., Lonsane, B.K., Karanth, N.G. 1988. Foam control in submerged fermentation: state of the art. *Advances in applied microbiology*, 33: 173-222.
- Gholamhosseinpour, A., Hashemi, S.M.B. 2019. Ultrasound pretreatment of fermented milk containing probiotic *Lactobacillus plantarum* AF1: Carbohydrate metabolism and antioxidant activity. *Journal of Food Process Engineering*, 42(1): e12930.
- Gonzalez, G.M. 2003. Effects of power ultrasound treatments on properties of Longissimus beef muscle. *Doktora Tezi*, Iowa State University
- Guzel, B.H., Arroyo, C., Condón, S., Pagán, R., Bayindirli, A., Alpas, H. 2014. Inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* by ultrasonic waves under pressure at nonlethal (manosonication) and lethal temperatures (manothermosonication) in acidic fruit juices. *Food and Bioprocess Technology*, 7(6): 1701-1712.
- Halpin, R.M., Cregenzán-Alberti, O., Whyte, P., Lyng, J.G., Noci, F. 2013. Combined treatment with mild heat, manothermosonication and pulsed electric fields reduces microbial growth in milk. *Food Control*, 34(2): 364-371.
- Herceg, Z., Režek Jambrak, A., Lelas, V., Mededovic Thagard, S. 2012. The effect of high intensity ultrasound treatment on the amount of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* in milk. *Food Technology and Biotechnology*, 50(1): 46-52.

- Hu, J., Ge, S., Huang, C., Cheung, P.C.K., Lin, L., Zhang, Y., Zheng, B., Lin, S., Huang, X. 2018. Tenderization effect of whelk meat using ultrasonic treatment. *Food Science & Nutrition*, 6(7): 1848-1857.
- Huang, D., Men, K., Li, D., Wen, T., Gong, Z., Sunden, B., Wu, Z. 2020. Application of ultrasound technology in the drying of food products. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63: 104950.
- Jabbar, S., Abid, M., Hu, B., Hashim, M.M., 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.
- Jayasooriya, S.D., Bhandari, B.R., Torley, P., D'Arcy, B.R. 2004. Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: a review. *International Journal of Food Properties*, 7(2): 301-319.
- Kahraman, O., Lee, H., Zhang, W., Feng, H. 2017. Manothermosonication (MTS) treatment of apple-carrot juice blend for inactivation of *Escherichia coli* O157:H7. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38: 820-828.
- Kentish, S., Feng, H. 2014. Applications of power ultrasound in food processing. *Annual review of food science and technology*, 5(1): 263-284.
- Khandpur, P., Gogate, P.R. 2016. Evaluation of ultrasound based sterilization approaches in terms of shelf life and quality parameters of fruit and vegetable juices. *Ultrasonics Sonochemistry*, 29: 337-353.
- Kim, H.J., Feng, H., Kushad, M.M., Fan, X. 2006. Effects of ultrasound, irradiation, and acidic electrolyzed water on germination of alfalfa and broccoli seeds and *Escherichia coli* O157:H7. *Journal of Food Science*, 71(6): 168-173.
- Koshani, R., Ziaee, E., Niakousari, M., Golmakani, M.T. 2015. Optimization of thermal and thermosonication treatments on pectin methyl esterase inactivation of sour orange juice (*Citrus aurantium*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6): 567-573.
- Kyllönen, H.M., Pirkonen, P., Nyström, M. 2005. Membrane filtration enhanced by ultrasound: A review. *Desalination*, 181(1-3): 319-335.
- Leadley, C.E., Williams, A. 2006. Pulsed electric field processing, power ultrasound and other emerging technologies. *Food Processing Handbook*, ISBN:9783527607570, Wiley, Germany. Page: 201-236.
- Lee, J., Feng, H., Kushad, M. 2005. Effect of Manothermosonication (MTS) on Quality of Orange Juice. *AIChE Annual Meeting, Conference Proceedings*, 3 November, Ohio.
- Leuner, H., Gerstenberg, C., Lechner, K., McHardy, C., Rauh, C., Repke, J.-U. 2020. Overcoming unwanted foam in industrial processes of the chemical and food industry—an ongoing survey. *Chemical Engineering Research and Design*, 163: 281-294.
- Lianfu, Z., Zelong, L. 2008. Optimization and comparison of ultrasound/microwave assisted extraction (UMAE) and ultrasonic assisted extraction (UAE) of lycopene from tomatoes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15(5): 731-737.
- Lopez, P., Vercet, A., Sanchez, A.C., Burgos, J. 1998. Inactivation of tomato pectic enzymes by manothermosonication. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A*, 207(3): 249-252.
- Madhu, B., Srinivas, M.S., 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*: 1-11.

- Manas, P., Pagan, R., Raso, J., Sala, F.J., Condon, S. 2000. Inactivation of *Salmonella Enteritidis*, *Salmonella Typhimurium*, and *Salmonella Senftenberg* by ultrasonic waves under pressure. *Journal of Food Protection*, 63(4): 451-456.
- Marx, G., Moody, A., Bermúdez-Aguirre, D. 2011. A comparative study on the structure of *Saccharomyces cerevisiae* under nonthermal technologies: High hydrostatic pressure, pulsed electric fields and thermo-sonication. *Int J Food Microbiol*, 151(3): 327-337.
- Miles, C.A., Morley, M.J., Rendell, M. 1999. High power ultrasonic thawing of frozen foods. *Journal of Food Engineering*, 39(2): 151-159.
- Musielak, G., Mierzwa, D., Kroehnke, J. 2016. Food drying enhancement by ultrasound—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 56: 126-141.
- Muthukumar, S., Kentish, S.E., Stevens, G.W., Ashokkumar, M., Mawson, R. 2007. The application of ultrasound to dairy ultrafiltration: the influence of operating conditions. *Journal of Food Engineering*, 81(2): 364-373.
- Nowak, K.W., Zielinska, M., Waszkielis, K.M. 2019. The effect of ultrasound and freezing/thawing treatment on the physical properties of blueberries. *Food Science and Biotechnology*, 28(3): 741-749.
- Pingret, D., Fabiano-Tixier, A.S., Chemat, F. 2013. Degradation during application of ultrasound in food processing: A review. *Food Control*, 31(2): 593-606.
- Qiu, L., Zhang, M., Chitrakar, B., Bhandari, B. 2020. Application of power ultrasound in freezing and thawing Processes: Effect on process efficiency and product quality. *Ultrasonics Sonochemistry*: 105230.
- Rastogi, N.K. 2011. Opportunities and challenges in application of ultrasound in food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(8): 705-722.
- Raviyan, P., Zhang, Z., Feng, H. 2005. Ultrasonication for tomato pectinmethylesterase inactivation: effect of cavitation intensity and temperature on inactivation. *Journal of Food Engineering*, 70(2): 189-196.
- Riera, E., Gallego-Juárez, J.A., Mason, T.J. 2006. Airborne ultrasound for the precipitation of smokes and powders and the destruction of foams. *Ultrasonics Sonochemistry*, 13(2): 107-116.
- 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. *Int J Food Microbiol*, 145(1): 287-292.
- Sánchez, E.S., Simal, S., Femenia, A., Benedito, J., Rosselló, C. 1999. Influence of ultrasound on mass transport during cheese brining. *European Food Research and Technology*, 209(3): 215-219.
- Santos, H.M., Capelo, J.L. 2007. Trends in ultrasonic-based equipment for analytical sample treatment. *Talanta*, 73(5): 795-802.
- Shamila-Syuhada, A.K., Chuah, L.-O., Wan-Nadiah, W.A., Cheng, L.H., Alkarkhi, A.F.M., Effarizah, M.E., Rusul, G. 2016. Inactivation of microbiota and selected spoilage and pathogenic bacteria in milk by combinations of ultrasound, hydrogen peroxide, and active lactoperoxidase system. *International Dairy Journal*, 61: 120-125.
- Shanmugam, A., Ashokkumar, M. 2017. Ultrasonic preparation of food emulsions. *Ultrasound in Food Processing: Recent Advances*. John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom. ISBN: 9781118964187. Page: 287-311.



- Soria, A.C., Villamiel, M. 2010. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(7): 323-331.
- Şengül, M., Erkaya, T., Başlar, M., Ertugay, M.F. 2011. Effect of photosonication treatment on inactivation of total and coliform bacteria in milk. *Food Control*, 22(11): 1803-1806.
- Taha, A., Ahmed, E., Ismaiel, A., Ashokkumar, M., Xu, X., Pan, S., Hu, H. 2020. Ultrasonic emulsification: An overview on the preparation of different emulsifiers-stabilized emulsions. *Trends in Food Science & Technology*.
- Tao, Y., Sun, D.W. 2015. Enhancement of food processes by ultrasound: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(4): 570-594.
- Tavman, Ş., Kumcuoğlu, S., Akkaya, Z. 2009. Bitkisel ürünlerin atıklarından antioksidan maddelerin ultrason destekli ekstraksiyonu. *Gıda*, 34(3): 175-182.
- Terefe, N.S., Gamage, M., Vilku, K., Simons, L., Mawson, R., Versteeg, C. 2009. The kinetics of inactivation of pectin methylesterase and polygalacturonase in tomato juice by thermosonication. *Food Chemistry*, 117(1): 20-27.
- Tüfekçi, S., Özkal, S.G. 2015. Gıdaların kurutulmasında ultrases kullanımı. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 21(9).
- Türken, T., Erge, H.S. 2017. Effect of ultrasound on some chemical and microbiological properties of sour cherry juice by response surface methodology. *Food Science and Technology International*, 23(6): 540-549.
- Ugarte-Romero, E., Feng, H., Martin, S.E. 2007. Inactivation of *Shigella boydii* 18 IDPH and *Listeria monocytogenes* Scott A with power ultrasound at different acoustic energy densities and temperatures. *Journal of Food Science*, 72(4): 103-107.
- Uluko, H., Zhang, S., Liu, L., Chen, J., Sun, Y., Su, Y., Li, H., Cui, W., Lv, J. 2013. Effects of microwave and ultrasound pretreatments on enzymolysis of milk protein concentrate with different enzymes. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(11): 2250-2257.
- Uzma-Altat, A., Rouf, A., Varsha, K., Qudsiya, A., Imtiyaz, Z. 2018. Ultrasound treatment: A novel processing technique for food preservation. *The Pharma Innovation* 7(2): 234-241.
- Ünver, A. 2016. Applications of ultrasound in food processing. *Green Chemical and Technological Letters*, 2(3): 121-126.
- Vercet, A., Lopez, P., Burgos, J. 1999. Inactivation of heat-resistant pectinmethylesterase from orange by manothermosonication. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(2): 432-437.
- Villamiel, M., de Jong, P. 2000. Influence of high-intensity ultrasound and heat treatment in continuous flow on fat, proteins, and native enzymes of milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(2): 472-478.
- Villamiel, M., Verdurmen, R., Jong, P.d. 2000. Degassing of milk by high-intensity ultrasound. *Milchwissenschaft-Milk Science International*, 55(3): 123-125.
- Zhang, P., Zhu, Z., Sun, D.W. 2018. Using power ultrasound to accelerate food freezing processes: Effects on freezing efficiency and food microstructure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(16): 2842-2853.
- Zhang, Y., Abatzoglou, N. 2020. Fundamentals, applications and potentials of ultrasound-assisted drying. *Chemical Engineering Research and Design*, 154: 21-46.

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.