



## ULTRASON UYGULAMASININ SÜT ÜRÜNLERİNDE HOMOJENİZASYON, JEL YAPISI, VİSKOZİTE VE SU TUTMA KAPASİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

**Vildan Akdeniz\*, A. Sibel Akalın**

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süt Teknolojisi Bölümü, Bornova, İzmir, Türkiye

Geliş / Received: 05.07.2017; Kabul / Accepted: 05.11.2017; Online baskı / Published online: 21.11.2017

Akdeniz, V., Akalın, A. S. (2017). Ultrason uygulamasının süt ürünlerinde homojenizasyon, jel yapısı, viskozite ve su tutma kapasitesi üzerine etkisi. *GIDA* (2017) 42 (6): 743-753 doi: 10.15237/gida.GD17062

### ÖZ

Süt endüstrisinde son yıllarda geleneksel ısı işlem yerine besin öğelerine daha az zarar veren ve daha uzun raf ömrü sağlayan teknolojilere artan bir ilgi ve tüketici talebi olduğu görülmektedir. Ultrason bu yenilikçi teknolojilerden biridir. Ultrason uygulamaları nispeten ucuz, basit, hızlı, toksik olmayan, çevre dostu ve enerji tasarrufu sağlayan bir proses olduğundan gıda endüstrisinde gelişmekte olan bir teknolojidir. Süt endüstrisinde ultrason uygulamaları yüksek ısı işlem ile karşılaştırıldığında, homojenizasyon veriminin artırılması, jel kuvveti ve sıklığının iyileştirilmesi, viskozite ve su tutma kapasitesinin artırılması gibi önemli avantajlara sahiptir. Bu çalışmada, ultrasonun temel prensipleri ile süt ürünlerinde homojenizasyon, jel yapısı, viskozite ve su tutma kapasitesi üzerine ultrasonun etkilerini ele alan ve araştırma bulgularını da içeren çalışmalar derlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ultrason, süt ürünleri, homojenizasyon, viskozite, su tutma kapasitesi, jel yapısı

## EFFECTS OF ULTRASOUND APPLICATION ON HOMOGENIZATION, GEL STRUCTURE, VISCOSITY AND WATER HOLDING CAPACITY IN DAIRY PRODUCTS

### ABSTRACT

In dairy technology, there is an increased significance and consumer demand for technologies which give least damage to the nutritional ingredients and provide longer shelf life instead of traditional heat treatment in recent years. Ultrasound is one of these innovative technologies. Ultrasound applications have becoming an emerging technology in food industry as they are relatively cheap, simple, fast, non-toxic, environment friendly and energy saving processes. In dairy industry, ultrasound applications have important advantages compared to high temperature heat treatment such as increasing homogenization efficiency, viscosity and water holding capacity and improving gel strength and firmness. In this study, the basic principles of ultrasound and the studies including research findings on the effects of ultrasound on homogenization, gel structure, viscosity and water holding capacity of dairy products were reviewed.

**Keywords:** Ultrasound, dairy products, homogenization, viscosity, water holding capacity, gel structure

\* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ vildan.akdeniz@ege.edu.tr, ☎ (+90) 232 311 2733/ 4471 📠 (+90) 232 342 5713

## GİRİŞ

Süt sanayinde istenmeyen mikroorganizmaların ve enzimlerin inaktive edilmesi, ürünün raf ömrünün uzatılması amacıyla en fazla kullanılan muhafaza yöntemi ısıtma işlemidir. Fakat ısıtma işleminin süt ve süt ürünleri üzerinde bazı olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Örneğin; ısıtma işleminin süresine ve şiddetine bağlı olarak sütte renk değişikliği ve istenmeyen aroma oluşumu ile süütün duyu kalitesinde bozulma ve besin değerinde azalma gibi dezavantajları olduğu gözlemlenmiştir (Chouliara vd., 2010; Engin ve Karagul Yuçer, 2012; Marchesini vd., 2012; Shanmugam vd., 2012). Bu sebeple son yıllarda ısıtma işleme alternatif teknolojilere yönelen bir eğilim söz konusudur ve ultrason bu yenilikçi teknolojilerden biridir (Chouliara vd., 2010; Shanmugam vd., 2012). Süt endüstrisinde, ultrason uygulamaları yüksek ısıtma işlemi ile karşılaştırıldığında, homojenizasyon veriminin artırılması ve yapının iyileştirilmesi gibi önemli avantajlara sahiptir (Huang vd., 2017; Paniwnyk, 2017).

Son yıllarda gıda sanayinde nispeten ucuz, basit, hızlı ve enerji tasarrufu sağlayan uygulamalara önemli bir talep bulunmaktadır. Ultrason uygulamaları bu alanda gelişen yeni teknolojilerden birisidir (Awad vd., 2012; Zwieter vd., 2017). Ultrason, saniyede 20.000 veya daha fazla ses dalgasının titreşimi ile oluşan enerji türü olarak tanımlanmakta, ultrason teknolojisi ise, insan duyma eşiğinin (>20 kHz) üzerindeki frekansdaki ses dalgalarından oluşmaktadır (Soria ve Villamiel, 2010; Awad vd., 2012; Shershenkov ve Suchkova, 2015). Güvenli ve çevre dostu olan ses dalgaları toksik etki göstermediğinden ultrason uygulaması diğer teknolojilere göre önemli bir avantaj da sağlamaktadır (Arzeni vd., 2012).

Gıda proseslerinde kullanılan ultrason uygulamaları frekans aralığına göre düşük enerjili ve yüksek enerjili olmak üzere iki tipe sınıflandırılır (Jambrak vd., 2014; Nöbel vd., 2016; Zhang vd., 2017). Düşük enerjili ultrason uygulamaları 100 kHz ile 1 MHz arasındaki yüksek frekanslı ve 1 W/cm<sup>2</sup>'den düşük yoğunluklu uygulamalar olup genellikle gıda ürünlerini ve proseslerini gözlemlenme amacıyla gıda sistemlerinin değerlendirilmesinde ve gıda

kalite kontrolünde kullanılmaktadır (Loveday vd., 2013; Chandrapala ve Leong, 2015; Mohammadi vd., 2017). Yüksek enerjili ultrason uygulamaları ise 20 kHz ile 100 kHz arasındaki düşük frekanslı ve 10 ile 1000 W/cm<sup>2</sup> arasındaki yüksek yoğunluklu uygulamalar olup gıdanın yapısında fiziksel, kimyasal ve mekanik değişikliklere yol açarlar (Mohammadi vd., 2014; Ashokkumar, 2015; Ojha vd., 2017).

## Ultrasonun Etki Mekanizması

Ultrasonik uygulamaların neden olduğu etkilerden sorumlu temel olgu kavitasyondur. Akustik kavitasyon; akustik akış, şok dalgaları, mikro jetler, türbülans ve kayma kuvveti gibi aşırı fiziksel kuvvetler üreterek süt gibi sıvı ürünlerde değişikliklere sebep olan bir dizi fiziksel ve kimyasal etkiler oluşturmaktadır (Soria ve Villamiel, 2010; Ashokkumar, 2011; Chandrapala vd., 2012a). Ses enerjisi sürekli dalga tipi bir hareket oluşturarak ortama girdiğinde, bu hareketin bir sonucu olarak boylamsal dalgalar oluşmaktadır (Knorr vd., 2004). Ultrasonik dalgalar sıvı içinde yayılırken bölgesel basınç zamanla değişmekte ve basınç farkı nedeniyle gaz baloncukları genişleyip daralmaktadır (Riener vd., 2009; Chandrapala vd., 2011; Zhang vd., 2015). Bu baloncuklar daha fazla enerji absorblayamayacak hacme ulaştıklarında patlamakta ve şok dalgasına neden olan çarpışmalar meydana gelmektedir. Bu şok dalgaları yüksek sıcaklık (yaklaşık 5000 K) ve yüksek basınç (100MPa fazla) bölgeleri oluşturmaktadır (Pingret vd., 2013; Gao vd., 2014; Cheng vd., 2015). Döngüsel üretim ve baloncukların patlaması sıvı ortamlarda kimyasal ve fiziksel değişimlere sebep olabilmektedir ki bu değişimler baloncukların çevresinde oluşan yüksek basınç ve sıcaklık kaynaklıdır (Arzeni vd., 2012).

Süt teknolojisinde 20 kHz ile 40 kHz frekans arasında ve 10 W/cm<sup>2</sup>'den yüksek yoğunluklu ultrason uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır (Ashokkumar, 2015). Bu alanda ultrason işlemi, süt yağ globül boyutunu azaltarak homojenizasyonu ve emülsifikasyonu artırmak, peynir altı suyu proteinlerinin koagülasyon özelliklerini geliştirerek jel kuvveti ve sıklığını

arttırmak, sineresisi azaltarak viskozite ve su tutma kapasitesini iyileştirmek amaçlarıyla kullanılabilir (Chandrapala vd., 2012b; Mohammadi vd., 2014; O'Sullivan vd., 2015)

### ULTRASONUN HOMOJENİZASYON ÜZERİNE ETKİSİ

Tipik bir su-yağ emülsiyonu olan sütte yağ globüller halinde bulunmakta, yağ globül membranı ise emülgatör olarak işlev görmektedir. Membranda bulunan aglutininlerin reaksiyonları ve ara yüzey gerilimi nedeniyle süt yağ globülleri birbiriyle çarpışma ve büyüme eğilimindedir (Sfakianakis ve Tzia, 2014). Süt yağı globülleri, sütte 1-10 µm çapında ve ağırlıklı olarak fosfolipid ve enzimlerden oluşan süt yağı globül membranı ile çevrili olarak bulunurlar. Birçok süt ürününün fizikokimyasal, duyu ve reolojik özellikleri içerdiği yağ globüllerinin boyut dağılımı ve membran bileşimine bağlıdır. Ultrason uygulandığında akustik kavitasyonun sebep olduğu türbülans, karıştırma ve kayma kuvveti gibi kuvvetler yağ globüllerini parçalayarak ortalama globül çaplarını önemli ölçüde küçültmektedirler (Chandrapala vd., 2016; Paniwnyk, 2017). Daha büyük çaplı yağ globülleri kavitasyonun sebep olduğu fiziksel kuvvetlerden daha çok etkilenmektedir (Shestakov vd., 2013). Çizelge 1'de de görüldüğü üzere bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır ve bu çalışmaların sonuçları, ultrason uygulanan sütlerde yağ globül boyutlarının klasik homojenizasyona göre belirgin şekilde daha küçük olduğunu ve böylece ultrason uygulamasının süt homojenizasyonunda önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bazı araştırmacılar farklı güçlerde ve sürelerde ultrason uygulamalarını karşılaştırmışlar ve en iyi homojenizasyon etkinliği kombinasyonunun yüksek güç ve uzun sürede gerçekleştiğini saptamışlardır (Wu vd., 2001; Ertugay vd., 2004; Sengul vd., 2009; Vijayakumar vd., 2015). Diğer yandan farklı süt ürünlerinde de bu alanda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Ultrasonun ısı işlem ile kombine edilerek kullanıldığı uygulama (termosonikasyon) ile üretilen krem peynirinde yağ içeriği, verim, yayılabilirlik, viskoelastik özellikler ve termal stabilitenin önemli ölçüde değiştiği saptanmıştır (Almanza-Rubio vd., 2016).

Ultrason uygulamasının geleneksel homojenizatörlere kıyasla daha düşük yatırım maliyeti ve temizleme kolaylığı gibi avantajları olduğu da bildirilmektedir (Shershenkov ve Suchkova, 2015).

Ayrıca bazı araştırmacılar ultrason uygulamasının süttten yağı ayırmak için gelecek vaat eden bir teknoloji olduğunu belirlemişlerdir. Ultrason uygulaması ile süttten yağ ayrımı hızlı bir şekilde gerçekleşirken yağ globül membranı da çok az hasar görmektedir (Leong vd., 2015; Leong vd., 2016).

### ULTRASONUN JEL YAPISI ÜZERİNE ETKİSİ

Yoğurt ve peynir bir tür protein jeli olduklarından süt proteinleri bu ürünlerin oluşumunda önemli bir etkiye sahiptir. Süt proteinleri gerek fizikokimyasal açıdan gerekse beslenme yönünden yoğurt ve peynirin en önemli bileşenidir. İyi bir jel yapısının oluşmasında peynir altı suyu proteinlerinin denatürasyon özellikleri kritik önem taşımaktadır. Ultrason uygulaması süt ürünlerinde emülsiyonların jelleşme süresini kısaltırken jelleşme özelliklerini, jel kuvvetini ve elastik yapıyı geliştirmektedir (Higuera-Barraza vd., 2016; Gursoy vd., 2016; Paniwnyk, 2017). Bu durumun, ultrason uygulamasının kazein misellerini alt birimlere ayırmasından ve alt birimlerin birbiriyle ve kısmen denatüre olmuş peynir altı suyu proteinleri ile güçlü bir şekilde yeniden bir araya gelerek kuvvetli ağlar oluşturmasından ve ayrıca ultrason sonucu oluşan çok sayıda daha küçük yağ globüllerinin ortama yerleşmesiyle pıhtılaşmış protein kümelerinin güçlendirilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Riener vd., 2009). Çizelge 2'den de anlaşılacağı üzere bu konuda yapılan çalışmalar umut verici sonuçlar ortaya koymaktadır. Çalışmalar göstermektedir ki ultrason uygulaması peynir altı suyu proteinlerinin jelleşme özelliklerini geliştirmekte, jel sıklığı ve jel kuvvetini artırarak sineresisi azaltmakta ayrıca jelleşme süresini kısaltmaktadır. Bu sonuçlar ışığında ultrasonun süt proteinlerinin jelleşme özelliklerini geliştirmek için alternatif olarak kullanılma potansiyelinin yüksek olduğu söylenebilir.

Çizelge 1. Ultrasonun sütte yağ globül boyutuna ve homojenizasyon verimine etkisi

Amaç	Ultrason Uygulaması	Ultrason Etkileri	Referans
Ultrasonun klasik homojenizasyona kıyasla homojenizasyon verimi üzerine etkisini belirlemek	1, 6 ve 10 dak. süreyle 20 kHz, 90W, 225W ve 450W	Ultrason uygulamasının klasik homojenizasyona kıyasla çok iyi bir homojenizasyon etkisine sahip olduğu saptanmıştır. 450W gücündeki homojenizasyon etkisi diğer güç seviyelerinden daha iyi sonuç vermiştir.	Wu vd., 2001
Klasik homojenizasyona kıyasla ultrasonun süt örneklerinin homojenizasyon verimi üzerine etkisini belirlemek	55°C'de 5 ve 10 dak. süreyle 20 kHz, 90W, 180W, 360W ve 450W	Klasik homojenizatör ve ultrason kullanılarak homojenize edilen süt yağ globül çapları sırasıyla 2,0-3,0 ve 0,5-5,0 µm arasında saptanmıştır. Ultrason ile homojenize edilen süt (daha yüksek güç seviyelerinde) daha küçük yağ globüllerine sahip olmuştur. En iyi homojenizasyon ve en küçük yağ globül çapı 450W gücünde 10 dakika süreyle elde edilmiştir.	Ertugay vd., 2004
Ultrasonun klasik homojenizasyona kıyasla homojenizasyon verimi üzerine etkisini belirlemek	3 ve 6 dak. süreyle 20 kHz, 90W, 225W ve 315W	En düşük güç seviyesi-süre kombinasyonunda (90W - 3 dak.) bile, ultrasonun homojenizasyon etkinliği klasik yöntemden daha iyi bulunmuştur. En iyi homojenizasyon etkinliği, 315W'da 6 dak. süreyle elde edilmiştir.	Sengul vd., 2009
Geleneksel ısı işlem uygulanan yoğurtlara kıyasla termosonikasyon uygulanan yoğurtlarda termosonikasyonun yağ globül boyutuna etkisini belirlemek	72°C'de 10 dak. süreyle 24 kHz, 400W	Termosonikasyon uygulanan yoğurtlardaki ortalama yağ globülleri boyutu geleneksel ısı işlem uygulanan (90°C'de 10 dak.) yoğurtlara kıyasla daha küçük (<1µm) bulunmuştur.	Riener vd., 2009
Ultrason uygulamasının koyun sütünün homojenizasyon derecesine etkisini belirlemek	2-15 dak. süreyle 30 kHz, 100W'a kadar	Süre ve güç arttıkça homojenizasyon derecesinde önemli derecede artış saptanmıştır.	Bosiljkov vd., 2012
Ultrason uygulamasının pastörize ve homojenize edilmiş yağsız sütün yağ globül boyutuna etkisini belirlemek	60 dak.'ya kadar 20 kHz, 20W	20W güç seviyesinde yağ globüllerinde önemli ölçüde küçülme olmuştur. Homojenize edilen fakat ultrason uygulanmayan örneklerde yağ globül boyutları 170 nm iken homojenize edildikten sonra 60 dak. süreyle ultrason uygulandığında 20W güçte yağ globül boyutları 157 nm olarak bulunmuştur.	Shanmugam vd., 2012
İki kademeli homojenizasyona kıyasla ultrason uygulamasının yağ globül boyutuna etkisini belirlemek	10 dak. süreyle 20 kHz, 150-750W	Ultrasonun ve iki kademeli homojenizasyonun (10–30 MPa/5 MPa) yağ globül boyutlarını eşit ölçüde küçülttüğü saptanmıştır.	Sfakianakis vd., 2015

Çizelge 1 devam

Termosonikasyon uygulamasının krema ve yağsız sütte yağ globül boyutuna etkisini belirlemek	72°C'de 1 ve 3 dak. süreyle 20 kHz, 104W ve 115W	Termosoniksasyon uygulaması yağsız sütte ve kremada yağ globül boyutlarını küçültmüştür ve sürenin uzaması ile homojenizasyon etkinliği artmıştır.	Vijayakumar vd., 2015
Krem peynir üretiminde ultrason uygulamasının süttün yağ globül boyutuna etkisini belirlemek	4-63°C arasında, 30 dak.'ya kadar 20 kHz ve 0-100W arasında farklı kombinasyonlar	Termosonikasyon uygulamasının yağ globül boyutlarını 7µm'den 2µm'nin altına düşürdüğü ve krem peynirin yağ içeriğini arttırdığı saptanmıştır. 35-50°C arasında 50W güçte 30 dak.'ya kadar olan uygulamalarda krem peynirlerin en iyi yapısal ve reolojik özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir.	Almanza-Rubio vd., 2016
Düşük sıcaklıkta ultrasonun yüksek sıcaklıkta klasik homojenizasyona kıyasla homojenize edilmiş çığ süt, ultrafiltrasyon retentatı ve krema örneklerinde yağ globül boyutuna etkisini belirlemek	10°C'de 20 kHz, 31W ve 50W	Ultrason, çığ süt ve ultrafiltrasyon retentatında yağ globül boyutunu küçültmüştür. Klasik krema homojenizasyonunda 50°C'de oluşan yağ globül boyutları, ultrason uygulamasında 10°C'den düşük sıcaklıklarda elde edilmiştir. Böylece daha düşük sıcaklıklarda daha az enerji ihtiyacı ile krema homojenizasyonu gerçekleştirilebilecektir.	Chandrapala vd., 2016

### ULTRASONUN VİSKOZİTE VE SU TUTMA KAPASİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Ultrason uygulaması süt ürünlerinde viskoziteyi ve su tutma kapasitesini de arttırmaktadır. Bu alanda daha çok fermente süt ürünlerinde yapılan çalışmalarda olumlu bulgulara ulaşılmıştır (Wu vd., 2001; Sfakianakis vd., 2015). Fermente süt ürünlerinin tüketici tarafından tercih edilebilirliğinin belirlenmesinde, tekstürel ve duyuşal özellikler büyük önem taşımaktadır. Toplam kurumadde, protein içeriği, denatüre serum proteinleri içeriği, denatüre serum proteinleri ile k-kazein arasındaki interaksiyon; yoğurt pıhtısının reolojik özellikleri olarak bilinen konsistens, viskozite ve serum ayrılması üzerine etkilidir. Yoğurt üretiminde, son üründe arzu edilen fiziksel ve duyuşal niteliklerin elde edilmesi ve yüksek düzeyde tüketici beğenisinin sağlanması için %12.0-12.5 arasında yağsız kurumaddeye sahip süt kullanılmaktadır. Süttün yağsız kurumadde ve toplam kurumadde içeriğindeki artış yoğurt pıhtısının viskozitesini arttırmakta ve yoğurttan serum ayrılmasını azaltmaktadır. Özellikle yoğurtlarda viskozite ve su tutma kapasitesi önemli kalite kriterleri olup sıkı olmayan yapı, topaklanma ve serum ayrılması en önemli tekstürel kusurlardır (Ozer, 2006; Riener

vd., 2010; Gursoy vd., 2016). Fermente süt ürünleri teknolojisinde ultrasonun kavitasyon etkisi, yağ globüllerinin boyutlarının azalmasını ve dolayısıyla toplam yağ membranı yüzey alanının artmasını sağlamaktadır. Yeni bağlanmış kazein misellerini içeren artan yüzey alanı, su tutma kapasitesini artırır ve hidrofilik özelliklerin artmasıyla da sinerjis azalır. Ultrasonun viskozite üzerine etkisi; peynir altı suyu protein denatürasyonunun artmasından ve peynir altı suyu proteinleri ile kazein fraksiyonları arasında agregat oluşumundan ileri gelmektedir (Wu vd., 2001; Sfakianakis vd., 2015; Higuera-Barraza vd., 2016). Bu konuda yapılan çalışmalar Çizelge 3'te görülmektedir. Yapılan çalışmalar, ultrason uygulamasının yoğurt ve ayran gibi fermente süt ürünlerinde viskoziteyi ve su tutma kapasitesini arttırdığını ve depolama sırasında serum ayrılmasını azalttığını göstermektedir. Sonuç olarak ultrason uygulaması gerek tek başına gerek ısı işlemi ile kombine edilerek fermente süt ürünleri için önemli kalite kriterleri olan viskoziteyi ve su tutma kapasitesini geliştirerek ve serum ayrılmasını geciktirerek bu ürünlerin üretiminde başarılı bir şekilde kullanılabilir.

Çizelge 2. Ultrasonun süt ürünlerinin jel yapısı üzerine etkisi

Amaç	Ultrason Uygulaması	Ultrason Etkileri	Referans
Geleneksel ısı işlem uygulanan yoğurtlara kıyasla termosonikasyon uygulanan yoğurtlarda termosonikasyon uygulamasının jel sıklığına etkisini belirlemek	72°C'de 10 dak. süreyle 24 kHz, 400W	Termosonikasyon uygulanmış süttten üretilen set tipi yoğurtlarda jel sıklığının arttığı gözlenmiştir.	Riener vd., 2009
Ultrason uygulamasının rekonstitüe peynir altı suyu proteinlerinin jelleşme özelliklerine etkisini belirlemek	60 dak.'ya kadar 20 kHz	Ultrason uygulamasının peynir altı suyu proteinlerinin jelleşme özelliklerini geliştirdiği, jel kuvvetini arttırdığı ve sineresisi azalttığı saptanmıştır.	Zisu vd., 2011
Ultrasonun peynir altı suyu protein konsantrlerinin jelleşme özelliklerine etkisini belirlemek	20 dak. süreyle 20 kHz, 750W	Ultrason uygulamasının peynir altı suyu protein konsantrlerinin elastik jelleşme özelliklerini arttırdığı belirlenmiştir.	Arzeni vd., 2012
Ultrason uygulamasının süttün rennetle pıhtılaşma özelliğine etkisini belirlemek	30°C'de, pH 8'de 20kHz	Ultrason uygulamasının süttün rennetle pıhtılaşma özelliğini, jelleşme süresini ve pıhtı sıklığını geliştirdiği saptanmıştır.	Liu vd., 2014
Ultrason uygulamasının %7 keten tohumu yağı/süt emülsiyonunun fonksiyonel özelliklerine etkisini belirlemek	1-8 dak. süreyle 20 kHz, 176W	Ultrason uygulanarak elde edilen %7 keten tohumu yağı/süt emülsiyonunun jelleşme süresinin azaldığı, elastik yapısının arttığı, sineresisin azaldığı ve jel kuvvetinin arttığı görülmüştür.	Shanmugam ve Ashokkumar, 2014
Ultrason uygulamasının rekonstitüe süt protein konsantrisinin jelleşme özelliklerine etkisini belirlemek	5 dak.'ya kadar 20 kHz	Ultrason uygulamasının rekonstitüe süt protein konsantrisinin jelleşme özelliklerini geliştirdiği tespit edilmiştir.	Yanjun vd., 2014
Ultrason uygulamasının keçi süttünün pıhtılaşma özelliklerine etkisini belirlemek	20 dak.'ya kadar 20 kHz, 800W	Ultrason uygulamasının keçi süttünün pıhtılaşma özelliklerini etkilediği ve ultrason uygulamasından sonra denature olmamış peynir altı suyu proteinleri oranının %9,57 azaldığı, jel sıklığı, pıhtı kuvveti ve jellerin çapraz bağlanmasının belirgin olarak arttığı belirlenmiştir.	Zhao vd., 2014
Ultrason uygulamasının jel sıklığı üzerine etkisini belirlemek	22,5 kHz, 50W	Ultrason uygulanmış süttün asitlendirilmesi ile üretilen jel ile ultrason uygulanmamış süttten üretilen jel kıyaslanmış ve ultrason uygulamasının jel sıklığında artış ve jelleşme süresinde azalma sağladığı belirlenmiştir.	Nguyen ve Anema, 2017

Çizelge 3. Ultrasonun süt ürünlerinin viskozitesi ve su tutma kapasitesi üzerine etkisi

Amaç	Ultrason Uygulaması	Ultrason Etkileri	Referans
Ultrason uygulamasının yoğurdun viskozitesi ve su tutma kapasitesi üzerine etkisini belirlemek	1, 6, 8 ve 10 dak. süreyle 20 kHz, 90W, 225W ve 450W	Geleneksel olarak üretilen yoğurt ile ultrason uygulaması ile üretilen yoğurt kıyaslanarak ultrasonun yoğurdun viskozitesini ve su tutma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı ve 180W ile 450W arasındaki yüksek güçteki uygulamaların 6 ya da 8 dakika uygulandığında daha iyi sonuç elde edildiği saptanmıştır.	Wu vd., 2001
Ultrason uygulamasının yoğurdun su tutma kapasitesi üzerine etkisini belirlemek	3 ve 6 dak. süreyle 20 kHz, 90W, 225W ve 315W	Ultrason uygulaması ile üretilen yoğurtların su tutma kapasitesinin klasik homojenizasyon işlemi ile üretilenlerden daha yüksek olduğu saptanmıştır.	Şengül vd., 2009
Geleneksel yöntemle kıyasla termosonikasyon uygulamasının yoğurtların viskozite ve su tutma kapasitesine etkisini belirlemek	45°C'de 10 dak. süreyle 24 kHz, 400W	Termosonikasyon uygulanmış süttten elde edilen yoğurtların 90°C'de 10 dakika geleneksel ısıl işlem uygulanarak üretilmiş yoğurtlardan daha yüksek viskozite ve su tutma kapasitesine sahip olduğu ve ayrıca sineresisin daha düşük olduğu belirlenmiştir.	Riener vd., 2010
Ultrason uygulamasının koyun sütünün viskozitesi üzerine etkisini belirlemek	2-15 dak. süreyle 30 kHz, 100W'a kadar	15 dak.'ya ve 100W'a kadar uygulanan değişik süre-güç kombinasyonlarının hepsinde koyun sütünün viskozitesinin arttığı gözlemlenmiştir.	Bosiljkov vd., 2012
Ultrason uygulamasının keçi sütünün rennet jellerinin su tutma kapasitesi üzerine etkisini belirlemek	10 dak.'ya kadar 20 kHz, 800W	Ultrason uygulamasının keçi sütünün rennet jellerinin su tutma kapasitesini %40 civarında arttırdığı belirlenmiştir.	Zhao vd., 2014
Ultrason uygulamasının ayranın viskozitesi ve ayrandan serum ayrılması üzerine etkisini belirlemek	60, 70 ve 80°C, 1, 3 ve 5 dak. süreyle 35 kHz	Farklı sıcaklık ve sürelerde termosonikasyon uygulanarak üretilen ayranların 90°C'de 1 dakika ısıl işlem uygulanarak geleneksel olarak üretilen ayranlara göre depolama süresince daha yüksek viskozite değerine sahip olduğu ve bu ayranlarda depolama sırasında daha az serum ayrılması olduğu saptanmıştır.	Erkaya vd., 2015
Ultrason uygulamasının yoğurt pıhtısının viskozitesi üzerine etkisini belirlemek	10 dak. süreyle 150W, 262W, 375W, 562W ve 750W	Ultrason ile homojenize edilen süttten fermentasyon sonunda (pH=4,6) elde edilen yoğurt pıhtısının iki kademeli homojenizatörle homojenize edilen süttten elde edilene göre önemli ölçüde daha yüksek viskoziteye sahip olduğu belirlenmiştir.	Sfakianakis vd., 2015
Termosonikasyon uygulamasının yoğurt içeceklerinin viskozitesi ve depolama esnasında serum ayrılması üzerine etkisini belirlemek	70°C'de 5 dak. süreyle ısıl işlem ile 15 dak. süreyle 24 kHz, 100W, 125W ve 150W ultrason uygulaması kombinasyonu	10 dakika süreyle 90°C geleneksel ısıl işlem uygulanarak üretilen yoğurt içecekleri ile termosonikasyon uygulanarak üretilen yoğurt içecekleri karşılaştırıldığında termosonikasyon uygulamasının yoğurt içeceklerinde viskoziteyi arttırdığı ve serum ayrılmasını azalttığı, ayrıca 150W güçte termosonikasyon uygulanan örneklerde depolama süresince hiç serum ayrılması olmadığı belirlenmiştir.	Gursoy vd., 2016

## SONUÇ

Süt teknolojisindeki ultrason uygulamasının yararları açıkça görüldüğünden, ayrıca ürüne zarar vermeyen, kolay uygulanabilen, hızlı ve enerji tasarrufu sağlayan uygulamalar olduğundan süt endüstrisinde ultrason işleminin kullanılma potansiyeli oldukça yüksektir. Ultrason uygulaması ile homojenizasyon etkinliğinde klasik homojenizasyona kıyasla artış sağlanarak hem geleneksel ısıl işlemde daha düşük sıcaklıklarda hem de daha iyi kalitede ürün eldesi gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca bu uygulama homojenizatörlere kıyasla daha düşük yatırım ve bakım maliyetine ve temizleme kolaylığına sahiptir. Geleneksel ısıl işlem ve homojenizasyon ile elde edilen süt ürünleriyle karşılaştırıldığında ultrason uygulanmış sütte elde edilen ürünlerin su tutma kapasitesi, viskozitesi, jel kuvveti ve sıklığı belirgin olarak artış göstermektedir. Ultrason uygulaması işlevsel özellikleri, düşük enerji gereksinimi ve proses sürelerini kısaltması sayesinde geniş bir yelpazede süt işleme proseslerinde kullanılma potansiyeline sahiptir. Çevre dostu olduğundan yeşil teknoloji olarak da kabul edilmektedir. Laboratuvar çalışmalarında yaygın olarak kullanılmasına rağmen endüstri aşamasına henüz tam manasıyla dâhil edilememiştir. Bu konuda ultrason uygulamalarının endüstriyel olarak kullanımına yönelik çalışmaların önemli olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

Almanza-Rubio, J.L., Gutiérrez-Méndez, N., Leal-Ramos, M.Y., Sepulveda, D., Salmeron, I. (2016). "Modification of the textural and rheological properties of cream cheese using thermosonicated milk", *J. Food Eng.*, 168: 223–230, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2015.08.002.

Arzeni, C., Martinez, K., Zema, P., Arias, A., Perez, O.E., Pilosof, A.M.R. (2012). "Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality", *J. Food Eng.*, 108: 463–472, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.08.018.

Ashokkumar, M. (2011). "The characterization of acoustic cavitation bubbles – An overview",

*Ultrason. Sonochem.*, 18: 864–872, doi: 10.1016/j.ultsonch.2010.11.016.

Ashokkumar, M. (2015). "Applications of ultrasound in food and bioprocessing", *Ultrason. Sonochem.*, 25: 17–23, doi: 10.1016/j.ultsonch.2014.08.012.

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 Res. Int.*, 48: 410–427, doi: 10.1016/j.foodres.2012.05.004.

Bosiljkov, T., Tripalo, B., Ježek, D., Brnčić, M., Karlović, S., Dujmić, F. (2012). "Influence of High Intensity Ultrasound Treatments on Physical Properties of Sheep Milk", *Croat. J. Food Tech. Biotech. Nutr.*, 7: 44–48.

Chandrapala, J., Leong, T. (2015). "Ultrasonic Processing for Dairy Applications: Recent Advances", *Food Eng. Rev.*, 7: 143–158, doi: 10.1007/s12393-014-9105-8.

Chandrapala, J., Oliver, C., Kentish, S., Ashokkumar, M. (2012b). "Ultrasonics in food processing" *Ultrason. Sonochem.*, 19: 975–983, doi:10.1016/j.ultsonch.2012.01.010.

Chandrapala, J., Martin, G.J.O., Zisu, B., Kentish, S.E., Ashokkumar, M. (2012a). "The effect of ultrasound on casein micelle integrity", *J. Dairy Sci.*, 95: 6882–6890, doi:10.3168/jds.2012-5318.

Chandrapala, J., Ong, L., Zisu, B., Gras, S.L., Ashokkumar, M., Kentish, S.E. (2016). "The effect of sonication and high pressure homogenisation on the properties of pure cream", *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 33: 298–307, doi: 10.1016/j.ifset.2015.11.023.

Chandrapala, J., Zisu, B., Palmer, M., Kentish, S., Ashokkumar, M. (2011). "Effects of ultrasound on the thermal and structural characteristics of proteins in reconstituted whey protein concentrate", *Ultrason. Sonochem.*, 18: 951–957, doi:10.1016/j.ultsonch.2010.12.016.

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", *Ultrason. Sonochem.*, 27: 576–585, doi: 10.1016/j.ultsonch.2015.04.015.



- Chouliara, E., Georgogianni, K.G., Kanellopoulou, N., Kontominas, M.G. (2010). "Effect of ultrasonication on microbiological, chemical and sensory properties of raw, thermized and pasteurized milk", *Int. Dairy J.*, 20: 307–313, doi: 10.1016/j.idairyj.2009.12.006.
- Engin, B., Karagul Yuceer, Y. (2012). "Effects of ultraviolet light and ultrasound on microbial quality and aroma-active components of milk", *J. Sci. Food Agric.*, 92(6): 1245-1252, doi: 10.1002/jsfa.4689.
- Erkaya, T., Baslar, M., Sengül, M., Ertugay, M.F. (2015). "Effect of thermosonication on physicochemical, microbiological and sensorial characteristics of ayran during storage", *Ultrason. Sonochem.*, 23: 406–412, doi: 10.1016/j.ultsonch.2014.08.009.
- Ertugay, M.F., Şengül, M., Şengül, M. (2004.) "Effect of Ultrasound Treatment on Milk Homogenisation and Particle Size Distribution of Fat", *Türk. J. Vet. Anim. Sci.*, 28: 303-308.
- Gao, S., Hemar, Y., Lewis, G.D., Ashokkumar, M. (2014). "Inactivation of Enterobacter aerogenes in reconstituted skim milk by high- and low-frequency ultrasound", *Ultrason. Sonochem.*, 21: 2099–2106, doi: 10.1016/j.ultsonch.2013.12.008.
- Gursoy, O., Yılmaz, Y., Gokce, O., Ertan, K. (2016). "Effect of ultrasound power on physicochemical and rheological properties of yoghurt drink produced with thermosonicated milk", *Emir. J. Food Agr.*, 28(4): 235-241, doi: 10.9755/ejfa.2015-09-719.
- Higuera-Barraza, O.A., Del Toro-Sanchez, C.L., Ruiz-Cruz, S., Márquez-Ríos, E. (2016). "Effects of high-energy ultrasound on the functional properties of proteins", *Ultrason. Sonochem.*, 31: 558–562, doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.02.007.
- 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", *Ultrason. Sonochem.*, 37: 144–149, doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.12.018.
- Jambrak, A.R., Mason, T.J., Lelas, V., Paniwnyk, L., Herceg, Z. (2013). "Effect of ultrasound treatment on particle size and molecular weight of whey proteins", *J. Food Eng.*, 121: 15 –23, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.08.012.
- Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., Lee, D.U. (2004). "Applications and potential of ultrasonics in food processing" *Trends Food Sci. Tech.*, 15: 261–266, doi: 10.1016/j.tifs.2003.12.001.
- Leong, T., Johansson, L., Mawson, R., McArthur, S., Manasseh, R., Juliano, P. (2016). "Ultrasonically enhanced fractionation of milk fat in a litre-scale prototype vessel", *Ultrason. Sonochem.*, 28: 118–129, doi: 10.1016/j.ultsonch.2015.06.023.
- Leong, T., Juliano, P., Johansson, L., Mawson, R., McArthur, S., Manasseh, R. (2015). "Continuous Flow Ultrasonic Skimming of Whole Milk in a Liter-Scale Vessel", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 54: 12671–12681, doi: 10.1021/acs.iecr.5b03142.
- Liu, Z., Juliano, P., Williams, R.P.W., Niere, J., Augustin, M.A. (2014). "Ultrasound improves the renneting properties of milk" *Ultrason. Sonochem.*, 21: 2131–2137, doi:10.1016/j.ultsonch.2014.03.034.
- Loveday, S.M., Sarkar, A., Singh, H. (2013). "Innovative yoghurts: Novel processing technologies for improving acid milk gel texture", *Trends Food Sci. Tech.*, 33: 5-20, doi:10.1016/j.tifs.2013.06.007.
- Marchesini, G., Balzan, S., Montemurro, F., Fasolato, L., Andrighetto, I., Segato, S., Enrico Novelli, E. (2012). "Effect of ultrasound alone or ultrasound coupled with CO<sub>2</sub> on the chemical composition, cheese-making properties and sensory traits of raw milk", *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 16: 391–397, doi: 10.1016/j.ifset.2012.09.003.
- Mohammadi, V., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ebrahimi, R., Abbasvali, M. (2014). "Ultrasonic techniques for the milk production industry", *Measurement*, 58: 93–102, doi:10.1016/j.measurement.2014.08.022.
- Mohammadi, V., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Gonzalez, L.A. (2017). "Analytical measurements of ultrasound propagation in dairy products: A review", *Trends Food Sci. Tech.*, 61: 38-48, doi: 10.1016/j.tifs.2016.12.004.

- Nguyen, N.H.A., Anema, S.G., (2017). "Ultrasonication of reconstituted whole milk and its effect on acid gelation", *Food Chem.*, 217: 593–601, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.08.117.
- Nöbel, S., Ross, N.L., Protte, K., Körzendörfer, A., Hitzmann, B., Hinrichs, J. (2016). "Microgel particle formation in yogurt as influenced by sonication during fermentation", *J. Food Eng.*, 180: 29-38, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.01.033.
- O'Sullivan, J., Murray, B., Flynn, C., Norton, I. (2015). "Comparison of batch and continuous ultrasonic emulsification processes" *J. Food Eng.*, 167: 114–121, doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.05.001.
- Ojha, K.S., Mason, T.J., O'Donnell, C.P., Kerry, J.P., Tiwari, B.K. (2017). "Ultrasound technology for food fermentation applications", *Ultrason. Sonochem.*, 34: 410–417, doi:10.1016/j.ultsonch.2016.06.001.
- Ozer, B. (2006). *Yoğurt Bilimi ve Teknolojisi*. Toprak Ofset Matbaacılık, İzmir, Türkiye, 40 s. ISBN: 975-9944-5660-0-4.
- Paniwnyk, L. (2017). "Applications of ultrasound in processing of liquid foods: A review", *Ultrason. Sonochem.*, in press, doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.12.025.
- Pingret, D., A.S. Fabiano-Tixie, F. Chemat. (2013). "Degradation during application of ultrasound in food processing: A review", *Food Control*, 31: 593-606, doi:10.1016/j.foodcont.2012.11.039.
- Riener, J., Noci, F., Cronin, D. A., Morgan, D. J., Lyng, J. G. (2009). "The effect of thermosonication of milk on selected physicochemical and microstructural properties of yoghurt gels during fermentation", *Food Chem.*, 114: 905–911, doi:10.1016/j.foodchem.2008.10.037.
- Riener, J., Noci, F., Cronin, D. A., Morgan, D. J., Lyng, J. G. (2010). "A comparison of selected quality characteristics of yoghurts prepared from thermosonicated and conventionally heated milks", *Food Chem.*, 119: 1108–1113, doi: 10.1016/j.foodchem.2009.08.025.
- Sfakianakis, P., Topakas, E., Tzia, C. (2015). "Comparative Study on High-Intensity Ultrasound and Pressure Milk Homogenization: Effect on the Kinetics of Yogurt Fermentation Process" *Food Bioprocess Tech.*, 8: 548–557, doi: 10.1007/s11947-014-1412-9.
- Sfakianakis, P., Tzia, C. (2014). "Conventional and innovative processing of milk for yogurt manufacture; development of texture and flavor: A review", *Foods*, 3(1): 176–193, doi:10.3390/foods3010176.
- Shanmugam, A., Ashokkumar, M. (2014). "Functional properties of ultrasonically generated flaxseed oil-dairy emulsions", *Ultrason. Sonochem.*, 21: 1649–1657, doi:10.1016/j.ultsonch.2014.03.020.
- Shanmugam, A., Chandrapala, J., Ashokkumar, M. (2012). "The effect of ultrasound on the physical and functional properties of skim milk", *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 16: 251–258, doi: 10.1016/j.ifset.2012.06.005.
- Shershenkov, B., Suchkova, E. (2015). "Upgrading the technology of functional dairy products by means of fermentation process ultrasonic intensification" *Agron. Res.*, 13(4): 1074–1085.
- Shestakov, S., Krasulya, O., Rink, R., Ashokkumar, M. (2013). "Sonication of dairy systems improves their properties", <http://www.ejta.org/en/shestakov5eng> (Erişim tarihi: 04.09.2013)
- Soria, A.C., Villamiel, M. 2010. "Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: A review", *Trends Food Sci. Technol.*, 21: 323-331, doi:10.1016/j.tifs.2010.04.003.
- Şengül, M., Başlar, M., Erkaya, T., Ertugay, M.F. (2009). "Ultrasonik homojenizasyon işleminin yoğurdun su tutma kapasitesi üzerine etkisi", *GIDA*, 34(4): 219-222.
- Vijayakumar, S., Grewell, D., Annandarajah, C., Benner, L., Clark, S. (2015). "Quality characteristics and plasmin activity of thermosonicated skim milk and cream", *J. Dairy Sci.*, 98: 6678–6691, doi: 10.3168/jds.2015-9429.

- Wu, H., Hulbert, G.J., Mount, J.R. (2001). "Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter", *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 1: 211-218.
- Yanjun, S., Jianhang, C., Shuwen, Z., Hongjuan, L., Jing, L., Lu, L., Uluko, H., Yanling, S., Wenming, C., Wupeng, G., Jiaping, L. (2014). "Effect of power ultrasound pre-treatment on the physical and functional properties of reconstituted milk protein concentrate", *J. Food Eng.*, 124:11-18, .doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.09.013.
- 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", *Ultrason. Sonochem.*, 34: 960-967, doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.08.008.
- Zhang, Z., Sun, D.W., Zhu, Z., Cheng, L. (2015). "Enhancement of Crystallization Processes by Power Ultrasound: Current State-of-the-Art and Research Advances", *Comp. Rev. Food Sci. F.*, 14: 303-316, doi: 10.1111/1541-4337.12132.
- Zhao, L., Zhang, S., Uluko, H., Liu, L., Lu, J., Xue, H., Kong, F., Lv, J. (2014). "Effect of ultrasound pretreatment on rennet-induced coagulation properties of goat's milk", *Food Chem.*, 165: 167-174, doi: 10.1016/j.foodchem.2014.05.081.
- Zisu, B., Lee, J., Chandrapala, J., Bhaskaracharya, R., Palmer, M., Kentish, S., Ashokkumar, M. (2011). "Effect of ultrasound on the physical and functional properties of reconstituted whey protein powders", *J. Dairy Res.*, 78: 226-232, doi: 10.1017/S0022029911000070.
- Zwieten, R., Verhaagen, B., Schroën, K., Rivas, D.F. (2017). "Emulsification in novel ultrasonic cavitation intensifying bag reactors", *Ultrason. Sonochem.*, 36: 446-453, doi:10.1016/j.ultsonch.2016.12.004.