

BÖLÜM 2

SÜT ENDÜSTRİSİNDE ULTRASON UYGULAMALARI

Selda BULCA¹

Beyza SERT²

GİRİŞ

Beslenme açısından en eksiksiz gıdalardan biri olan süt, kalsiyum, fosfor ve proteince zengin olup kalsiyum emilimini arttırdığı gibi, kemik dokusu hücrelerinin oluşumunu sağlar (1). Mikrobiyolojik, kimyasal, fiziksel, etmenler sütün yapısında değişikliğe sebep olup tekstürel, yapısal ve duyuşal özelliklerinde değişiklik yada bozulmalara sebebiyet vermektedir. Süt endüstrisinde ürünün kalitesini bozucu etkileri önleyebilmek, istenmeyen mikroorganizma ve enzimleri inaktive edip ürünün raf ömrünü uzatabilmek adına kullanılan en yaygın yöntemlerden biri ısış işlemlerdir. Fakat termal yöntemler renk, lezzet, tekstür, koku gibi duyuşal özelliklere olumsuz etkilere neden olurken besin değerlerinde de bazı kayıplara da yol açarlar (40). Bununla birlikte, süt ürünlerinde ısış işlemler, protein denatürasyonu, vitamin bozunması, lezzet kaybı oluşumu, laktoz bozunması ve diğerleri gibi önemli fizikokimyasal değişiklikleri tetiklerler (10, 11). Bu nedenle, son yıllarda termal yöntemlerden daha etkili bir mikrobiyal ve enzimatik inaktivasyona imkan sağlayan ve böylece ürünlerin fizikokimyasal, besinsel ve duyuşal özelliklerini koruyan gıda ürünlerinin işlenmesi için özellikle ekonomik, basit ve enerji verimliliği için tasarlanmış yeni teknolojilerin geliştirilmesine artan bir ilgi bulunmaktadır (2). Ultrason yöntemi bu teknolojilerden bir tanesidir. Ultrason yöntemi, özellikle geniş uygulama alanı nedeniyle öne çıkan (13), gıdanın işleme proseslerini en aza indirerek yüksek kalitede gıdalar üretmek için uygulanmaktadır (18). Ultrason teknolojisi diğer yöntemlerle kıyaslandığında daha ucuz ve basit olmasının yanında hızlı bir yöntemdir (13). Yöntemde üretilen güvenli ve çevre dostu olan ses dalgaları toksik etki göstermediğinden ultrason uygulaması diğer teknolojilere göre önemli bir avantaj da sağlamaktadır (3). Süt endüstrisinde ultrason uygulamaları yüksek ısış işlem ile karşılaştırıldığında, homojenizasyon

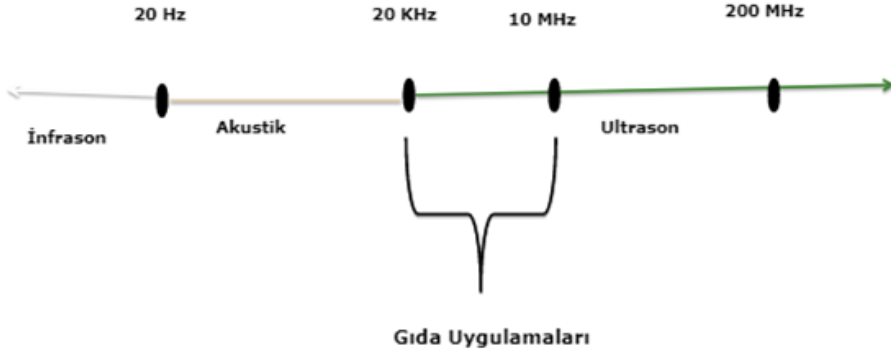
1 Dr. Öğr. Üyesi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği, sbulca@adu.ed.tr

2 YL. Öğr., Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği, beyzasert8@gmail.com

veriminin artırılması, jel kuvveti ve sıklığının iyileştirilmesi, viskozite ve su tutma kapasitesinin artırılması gibi oldukça önemli avantajlara sahiptir.

ULTRASON YÖNTEMİNİN ETKİ MEKANİZMASI

Ultrason, saniyede 20.000 veya daha fazla ses dalgasının titreşimi ile oluşan enerji türü olarak tanımlanmakta, ultrason teknolojisi ise, insan duyma eşiğinden, 18 kHz'den daha yüksek frekanslı ses dalgalarını ifade etmektedir (3). Şekil 1 de gıda uygulamalarında kullanılan ultrasonun frekans aralığı verilmiştir.

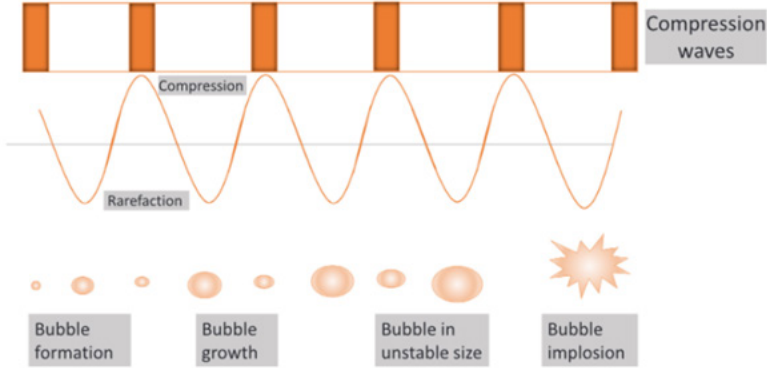


Şekil 1. Gıda uygulamalarında kullanılan ultrasonun frekans aralığı

Ultrason dalgaları bir ortamdan geçtiğinde mekanik titreşimler, akustik akış ve akustik kavitasyon oluştururlar. Mekanik titreşimler, katı parçacıkların yapısını ve boyutunu değiştirme potansiyeline sahipken, akustik akış bir ortam aracılığıyla kütle transferini sağlayabilir veya iyileştirebilir (5).

Ultrason uygulamalarının sınıflandırılması düşük enerjili ve yüksek enerjili ultrason uygulamaları olarak ikiye ayrılmaktadır. Düşük enerjili ultrason yöntemi 100 kHz ile 1 MHz aralığındaki yüksek frekanslı, düşük yoğunluklu uygulamalardır. Gıda ürünlerini ve proseslerini gözlemlemek amacıyla gıda sistemlerinin değerlendirilmesinde ve gıda kalite kontrolünde kullanılmaktadır. Yüksek enerjili ultrason yöntemi 20 kHz ile 100 kHz aralığındaki düşük frekanslı, yüksek yoğunluklu uygulamalardır (3). Ultrason uygulamasının oluşturduğu bu ses dalgaları ortamdaki parçacıkların sıkıştırılması ve seyrekleşmesinin ardından kabarcıkların çökmesi ile sonuçlanan kavitasyona neden olur (3). Bu akustik kavitasyon; akustik akış, şok dalgaları, mikro jetler, türbülans ve kayma kuvveti gibi fiziksel kuvvetler üretir (2).

Kavitasyon sonucu içe doğru patlayan kabarcıklar içinde sıcaklık ve basınç artar, kavitasyon bölgesinde yüksek kesme enerjisi dalgaları ve türbülans oluşur. Şekil 2, ultrason kavitasyon prensibini sunmaktadır (20). Kavitasyon sonucu ürünlerde fiziksel ve kimyasal değişiklikler meydana gelirken bileşiklerin yapısı değişir, kütle transferi hızlanır veya hücre zarları da yok olur (20).

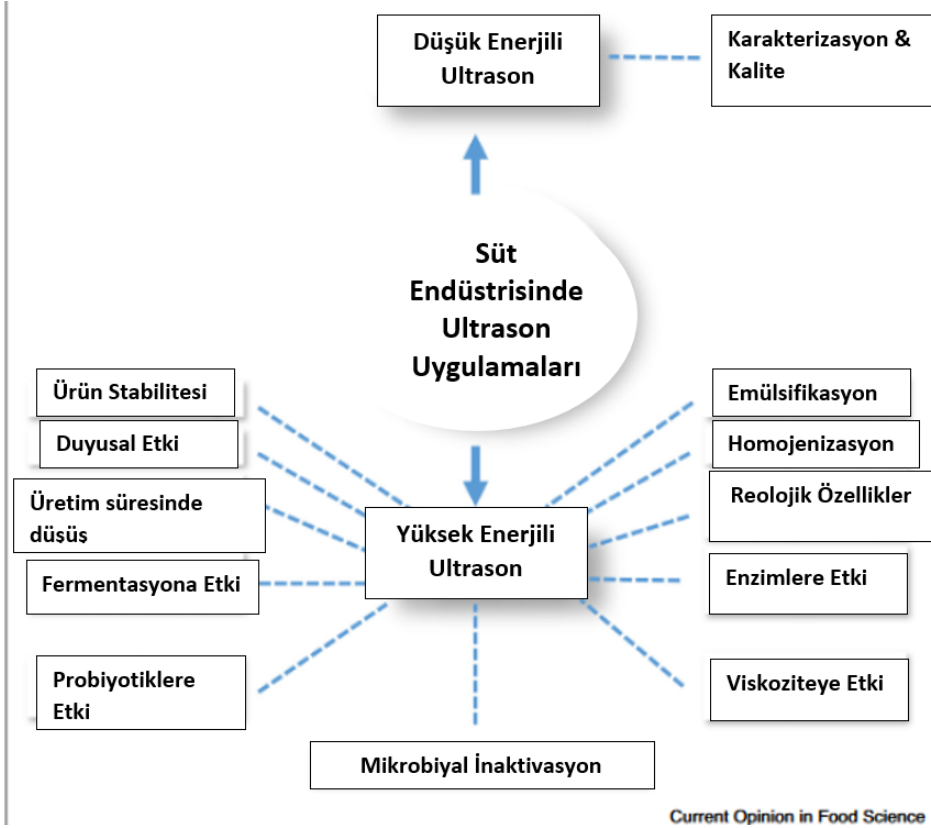


Şekil 2. Ultrason kavitasyon prensibi

Ultrasonik dalgalar süt gibi sıvı bir ortam içinde yayılırken bölgesel basınç zamanla değişmekte ve basınç farkı nedeniyle gaz baloncukları genişleyip daralmakta ve daha fazla enerji absorblayamayacak hacme ulaştıklarında patlamakta ve şok dalgasına neden olan çarpışmalar meydana gelmektedir. (3). Oluşan mikro baloncuklar patlamadan önce, ultrason dalgalarının neden olduğu basınçtaki değişiklikler partikülleri, gazları ve kimyasal bileşikleri taşıyabilen aynı zamanda akustik akış olarak da adlandırılan türbülans ve hacim yer değiştirmesine neden olur (34). Şok dalgalarının oluşturduğu yüksek sıcaklık ve basınç bölgeleri, baloncukların patlaması ile süt gibi sıvı ortama sahip gıdaların fiziksel ve kimyasal değişimlerine neden olurlar (9). Ultrason yönteminin fiziksel etkilerine ek olarak kimyasal etkileri de mevcuttur. Fiziksel etkiler 20 kHz gibi düşük frekanslarda, kimyasal etkiler ise 300-500 kHz gibi yüksek frekanslarda daha belirgindir (34).

SÜT ENDÜSTRİSİNDE ULTRASON YÖNTEMİNİN UYGULAMALARI

Ultrason süt endüstrisinde, besin maddelerinin tutulmasını sağlama, raf ömrünü arttırma ve daha kaliteli süt ürünleri elde edilmesini sağlayan verimli bir teknoloji olmasına ek olarak daha az maliyetli, hızlı ve uygulaması basit bir yöntemdir (3). Şekil 3'te düşük ve yüksek enerjili ultrason yönteminin süt ürünleri üzerinde uygulama alanları görülmektedir (20).



Şekil 3. Süt ürünlerinde ultrason uygulamasının genel uygulama alanları (20)

Yüksek enerjili ultrason, kültürlü süt ve ürünlerinin üretiminde kullanılan starter kültürleri için probiyotik tür canlılığını artırma yeteneğine sahip olup laktaz enzimi ve asit üretimi uyarımı sağlayarak laktöz hidrolizini hızlandırır, böylece fermentasyon süresini kısaltır (1). Ayrıca, ultrason tekniği, biyoaktif peptitler ve oligosakkaritlerdeki artışa bağlı olarak laktöz içeriğini azaltarak, besin nitelikleri ile birlikte fermente süt ürünlerinin organoleptik özelliklerini geliştirir. Yapılan bir başka yapılan çalışmada yüksek yoğunluklu ultrason uygulamasının yoğurt üretiminde yağ globüllerinin boyutunu küçülttüğü, viskoziteyi iyileştirdiği, sineresisi azalttığı, jel gücünü arttırdığı ve fermentasyonu hızlandırdığı gözlemlenmiştir (4). Ayrıca peynir altı suyu proteinlerinin denatürasyonu, kazein mi-sellerinin parçalanması ve daha sıkı bir yoğurt üretmek için protein fraksiyonunun rekombinasyonu yoluyla jelin sağlam ve stabil oluşumuna katkıda bulunur. Ayrıca dondurma miksinin üretim aşamasında kavitasyon sonucu baloncukların patlamasıyla oluşan bölgesel basınç buzun çekirdeklenmesini ve çok sayıda küçük

kristaller oluşturmasını teşvik ederek dondurma işlemi sırasında dondurmanın dokusal ve organoleptik özelliklerini geliştirdiği sonucu elde edilmiştir (4). Ultrasonun neden olduğu partikül homojenizasyonu ve proteinlerdeki konformasyonel değişiklikler de, süt akışlarında fonksiyonel değişikliklere neden olur. Örneğin, protein agregasyon boyutu küçüldüğünde, yeniden yapılandırılmış protein süspansiyonları tamamen çözünür hale gelir ve viskozite ve bulanıklık azalmakta viskozite ve çözünürlükte önemli değişikliklere neden olmaktadır (35, 33). Tablo 1 de ultrason tekniğinin süt endüstrisinde bazı kullanım alanlarına yönelik literatür verileri özetlenmiştir.

Tablo 1. Farklı çalışmalardan elde edilen süt endüstrisinde ultrason yönteminin etkileri

Örnek	Cihaz / Deneysel parametreler	Ultrasonun etkisi	Referans
Çiğ koyun sütü	Ultrasonik prob.VC Vibra Hücreli Ultrason, model VC 130 (Sonics Inc., ABD), 20 kHz. Maksimum güç = 78 W (6 veya 8 dakika için) veya 104 W (4 veya 6 dakika için). 4 sn darbe süresi.	Serbest amino asitleri veya amino asit profilini etkilememiştir.	43
Pastörize tam yağlı süt	Çalışma için sırasıyla 20 kHz, 10, 30 ve 50 W, 27, 50, 30 dakika ve 70 °C'de 800 mL süt akış hücre sistemi (200 mL/dk) kullanılmıştır Akıştaki enerjisi sırasıyla 91, 273 ve 454 W/L uygulanmıştır	Ultrason yöntemi, asit jel oluşumunu 30 W ve 50 °C'de hızlandırır. Protein denatürasyonu, ultrason yönteminde sıcaklığın artmasıyla desteklenir. 30 W'tan yüksek sonikasyon gücü ve 50 °C'den daha yüksek sıcaklık, yağ küresi boyutu 3,39'dan 3,89 µm'ye 0,37-1,9 µm'ye düşürüldü. Spesifik yüzey alanı ultrason yöntemi tarafından artırılır.	44
Çiğ inek sütü	Sürekli ultrasonikasyon yöntemi ile (16 ve 20 kHz ve 1,36 kW/geçiş 14 ila 18 dak.	Daha fazla geçiş ve ultrasonikasyona daha kısa maruz kalma nedeniyle damlacıkların çapları oldukça azalır. 54 °C giriş sıcaklığında damlacıkların sayısında bir artış gözlemlenmiştir. US, jelleşme sürelerini azaltır ve 42 °C'de pıhtı sertliğini artırır.	45

Tablo 1. Farklı çalışmalardan elde edilen süt endüstrisinde ultrason yönteminin etkileri

Pastörize taze inek sütü	%100 güçle 3 dakika boyunca 20 kHz frekans	Ultrasonikasyon, kontrole kıyasla 21 gün boyunca pH'yı, enzim aktivitesini değiştirmez. US, yağ globüllerinin boyutunun küçültülmesiyle olabilecek 1 µm partikül dağılımı göstermiştir. ABD, a-lakto-albümin ve κ-kazeinin parçalanmasını azaltmıştır.	46
İnek sütü	Ultrasonik işlemci (Sonics & Materials, Inc, VCX 1500 HV, ABD), 20 kHz. 1500 W, 10 veya 15 dakika için %95 genlik.	10 dakikalık ultrason, pH'ı düşürerek ve özgül ağırlığı artırmıştır. Fiziksel stabilite, 7 günlük depolamadan sonra 15 dakikalık ultrason ile iyileştirilmiştir	47
Taze çiğ süt	Ultrasonik işlemci Hielscher UP400s , 24 kHz, 400 W, 0,5 ve 10 dakika için %100 ve %50 genlik.	Peynir verimini (%) artarak peynirdeki sarı tonlar ve renklenme, HIU tarafından 10 dakikada desteklenir. Ancak L*, a* veya C* renk koordinatları etkilenmemiştir. 5 dakikalık ultrasonikasyondan sonra pH 6,6'dan 6,74'e yükselmiş, ancak 10 dakikada azalmıştır.	48
Yüksek proteinli fermente süt	Ultrasonik cihaz, 30 W 22,5 W cm2, enerji girişi 1765 J/ kg1.	Ultrason, 9 günlük depolama sırasında pH'yı düşürmüştür. pH 4,8 ve 5,0'a ulaştığında su tutma kapasitesi ultrason tarafından düşürülmüştür. Parçacık boyutunda azalma üzerinde hafif bir etki gözlenmiş ve ultrasonun yoğurtta görsel görünümü değiştirdiği görülmüştür Sonikasyonlu yoğurtta homojenlikte artış olduğu saptanmıştır.	
Çikolatalı peynir altı suyu içeceği	13 mm problu bir ultrason işlemcisi kullanılmıştır (Desruptor 800 W, Indaiatuba, Brezilya). İki farklı süreç: A= %20 (937 s için 160 W, 30 mL, 34 °C nihai sıcaklık ile). B = %90 (208 s için 720 W, 30 mLde, 71 °C nihai sıcaklık ile).	208 s için 720 W Ultrason, yüksek oranda azaltılmış damlacık boyutu için kinetik stabiliteye katkıda bulunmuştur Ultrason, 937 s için 160 W'a kıyasla hafifliği artırmış, ancak Chroma'yı (toplam renk değişimini) etkilememiştir. Ultrason uygulaması herhangi bir şekilde peynir altı suyu içeceğinin stabilitesini arttırmıştır 937 s ultrasonikasyon için 160 W ile zeta potansiyeli değerleri artmıştır.	49

Tablo 1. Farklı çalışmalardan elde edilen süt endüstrisinde ultrason yönteminin etkileri

Paneer taze peynir altı suyu örnekleri	Ön işleme: ultrasonik korna (Sonics and Materials, ABD), 100 W (%80 görev döngüsü), 20 kHz; 5, 10 ve 15 dk. Termosonikasyon ön işleme: 60 °C, 100–250 W; 5, 10, 15 ve 25 dk.	Ultrafiltrasyon ve sonokristalizasyondan sonra %94,5'e kadar laktoz geri kazanılmıştır.	50
Anne sütü	40 kHz ve 100 W'da ultrason banyosu ve 1591 mW/cm ²	Termosonik anne sütünde çiğ süttten daha yüksek antioksidan aktiviteye sebep olmuştur. Benzer şekilde retinol içeriği artmıştır.	51

ENZİM AKTİVİTESİNE ÜZERİNE ETKİSİ

Ultrason yönteminin sağladığı kimyasal ve fiziksel etkiler, süt proteinlerine ve süt endüstrisinde uygulanabilecek enzimatik aktiviteye bir dizi farklı etki sağlamaktadır. Enzimler söz konusu olduğunda, ana mekanizma, enzimlerin bazı özelliklerini değiştirmeye izin veren serbest radikal oluşumudur (15). Uygulanan basınç, süre ve sıcaklığa bağlı olarak enzimi tamamen veya belli bir ölçüde, dönüşümlü veya dönüşümsüz olarak inaktive edebilir (36). Düşük yoğunluk ve uygun frekans koşulları altında enzim ve substrat arasındaki teması hızlandırmak için enzimin yapısını değiştirirken enzimlerin biyolojik aktivitesi desteklenir; substratların özellikleri, enzimler ve substratlar arasındaki reaksiyonları değiştirir ve reaksiyonlar için en uygun ortamı sağlamaya yardımcı olur (22). Ayrıca, substrat özelliklerinin, enzim-substrat afinitesinin ve reaksiyon ortamının varyasyonları bu koşullar altında görüntülenebilir (26). Ultrasonla ön işleme tabi tutulmuş (800 W, 1-8 dakika) süt proteini konsantrasyonunun enzimatik hidrolizinin araştırılması sonucu hidrolizin protein agregasyonu ayrılmasına bağlı olarak proteinlerin enzimlere karşı daha yüksek bir duyarlılığa sahip olması sonucu tripsin aktivitesinde %84'lük bir artış ve alkalın proteaz aktivitesinde %185'lik bir artış olduğu görülmüştür (5). Ultrasonik dalgaların diğer işlemlerle (ısı ve/veya basınç) birlikte kullanıldığında daha etkili olduğu saptanmıştır (37). Ultrasonun ısı ve basınçla uygulanması sonucu peroksidaz enzimini inaktive edebileceğini, ısı ile işleme (126,5 °C) karşılaştırıldığında, enzimler yüksek basınçta (3,5 kg/cm²) ultrason ile ön işleme tabi tutulduğunda (126,5°C 20 kHz'de) 7 pH'da enzim aktivitesinde belirgin bir düşüş olduğu gözlenmiştir (38). *Pseudomonas fluorescens* tarafından salgılanan ısıya dayanıklı proteaz ve lipazın inaktivasyonunda ısı ve ultrasonun basınç altın-

da aynı anda uygulanmasının (manothermosonikasyon) tek başına ısı işleminden daha etkili olduğu bulunmuştur (39). Kimozin, pepsin ve çeşitli mantar enzimleri gibi sütün pıhtılaşmasında yer alan enzimler üzerinde ultrasonun etkisi kesikli işlemler kullanan model sistemlerde incelendiğinde genel olarak, uzun (birkaç dakika) ultrasonik işlemlerden sonra, araştırılan enzimlerin proteolitik aktivitesi azaldığı görülmüştür (16).

MİKROORGANİZMALAR ÜZERİNE ETKİSİ

Süt endüstrisinde ultrason, geleneksel ısı işlemlerin neden olduğu istenmeyen etkilere sebep olan mikroorganizmaların inaktivasyonu için tercih edilmektedir (22). Mikroorganizmalar söz konusu olduğunda, serbest radikal oluşumu, inaktivasyonun ana mekanizması olan hücre zarının bozulması için önemli görülmektedir (15). Yeterince yüksek yoğunlukta, örneğin 18 kHz'in üzerindeki frekanslar uygulandığında, ultrason yöntemi mikroorganizmalar üzerinde öldürücü etkilere sahip olabildiği bilinmektedir. Literatürdeki bazı çalışmalar, en yaygın frekansların 20 ve 24 kHz olmasına rağmen, 14 kHz'e kadar düşük frekanslarda mikrobiyal inaktivasyonun etkisinin olduğu iddia etmektedir (30). Bununla birlikte, ultrasonun tek başına mikrobiyal popülasyonları azaltmak için genellikle yeterli etkiye sahip olmadığı da bilinmektedir (15). Belirli bir sıcaklık aralığında, ultrason ile ısı işlemin bir kombinasyonu, tek başına ısı veya ultrasonik işleminden daha etkilidir.

Ultrasonun hücre bileşenleri üzerindeki hasar etkileri, bazı mikroorganizmaların tamamen veya seçici olarak sterilize edildiği frekans, güç ve sıcaklık gibi ultrasonik koşullara bağlıdır (22). Ultrason, sütteki *E. coli*, *L. innocua*, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *Bacillus* sporları gibi çeşitli mikroorganizmalar veya bu mikroorganizmaların farklı özellikleri üzerinde uygulanan basınç ve sıcaklık nedeniyle mikrobiyal aktivitelerin inaktivasyonunda önemli rol oynamaktadır (30). UHT süte uygulanan ultrason yöntemi ile, *B. cereus*, *P. fluorescens* ve *L. monocytogenes*'in durağan faza sahip hücrelere kıyasla eksponensiyel faz hücrelerinin basınca karşı daha az dirence sahip olduğu, 8 °C'de eksponensiyel hücreler, 30 °C'de büyütülenlere kıyasla daha dirençliken, sabit fazdaki hücreler için tersi durumun geçerli olduğu görülmüştür (30).

Suda asılı kalan bir *Saccharomyces cerevisiae* suşunun hayatta kalması üzerinde düşük frekanslı ultrasonun (20 kHz) sıcaklıkla birleşik etkisi incelendiğinde, ultrasonik dalgaların tek başına maya hücrelerini yok edemediğini fakat ısıya karşı hassasiyetlerini artırarak zarar verilebildiği sonucuna varılmıştır (14).

Bir başka çalışmada, yağsız sütte *Enterobacter aerogenes*'i inaktive etmek için düşük frekanslı (20 kHz) ve yüksek frekanslı (850 kHz) ultrasonikasyon kullanıldı.

dığında, düşük frekanslı akustik kaviteyonun *E. aerogenes*'te ölümcül hasara yol açtığı görülmüştür (19).

DUYUSAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Ultrason sütte kimyasal değişikliklere neden olur, ancak kötü tatların gelişimi hakkında bilgi eksikliği bulunmaktadır (7). Eğer ultrason yöntemi, ısıl işlem gerektiren yöntemlere alternatif bir yöntem olarak sunulacaksa, negatif aroma bileşenlerinin gelişmesini önleyip önleyemeyeceği konusu netleştirilmelidir. Ultrason yönteminin sonucu sütteki yağ ve proteinlerin oksidasyonu, tat ve aroma için negatif olan uçucu bileşenlerin oluşumunu teşvik etmektedir. Ultrasonun neden olduğu kaviteyon, su moleküllerini parçalar ve indirgeme ve oksidasyon reaksiyonları oluşturan oldukça reaktif serbest radikaller oluşturmaktadır. Yağ oksidasyonu ve hidrolizinden kaynaklanan serbest radikaller hem proteinlere, amino asitlere hem de yağa zarar verebilmekte ve sütte istenmeyen reaksiyonları katalize edebilmektedir (25). Peynir altı suyunun duyuusal özellikleri, muhtemelen peynir altı suyunun ultrason ile muamelesinin oksidasyonu desteklememesi nedeniyle, uçucu bileşiklerin konsantrasyonu peynir altı suyunun kokusu için eşik değerlerinin altında olduğundan, ultrason muamelesinden sonra değişmediği görülmüştür (12).

Marchesini ve diğerleri (24) tarafından yapılan çalışmada ultrason işlemi (400 W, 24 kHz, 100 s'den fazla) sütte uçucu bileşenlerin (dodekanoik asit, oktanoik asit, δ -dodekalakton ve dekanoik asit metil esterlerin) oluşumundan kaynaklı olarak metalik, yanmış, kauçuksu ve keskin olarak nitelendirilen kabul edilemez bir tat verdiğini belirtmişlerdir. Fakat düşük frekanslarda uygulanan ultrason yöntemi daha az radikal ile sonuçlanacağı için sütte olumsuz tat gelişimini önlemek için tercih edilebilir bir seçenek olabileceği fikrini ortaya çıkarmıştır (23, 24).

HOMOJENİZASYON ÜZERİNE ETKİSİ

Sütte homojenizasyon işleminin amacı sütün yüksek basınç altında ve belirli bir sıcaklıkta homojenizatörün çok küçük aralıklı filtrelerden geçirilerek yağ globüllerinin toplam yüzey alanını arttırarak homojen bir dağılım sağlamak ve böylece yağın yüzeyde toplanmasını önlemek, rengi daha beyaz hale getirmek, viskoziteyi arttırmaktır. Süt, içerdiği yağ globüllerinin yapısına bağlı olarak fizikokimyasal, duyuusal ve reolojik özelliklerini kazanır. Ultrason yöntemi ile akustik kaviteyonun neden olduğu kuvvetlerin etkisi sonucu yağ globülleri parçalanarak çapları küçülmekte bunun sonucu olarak da fiziksel kuvvetlerden daha fazla etkilenir hale gelmektedir (3). Bazı araştırmaların sonucunda farklı güçlerde ve sürelerde ultra-

son uygulamalarının sonucunda ve en iyi homojenizasyon etkinliği kombinasyonunun yüksek güç ve uzun sürede gerçekleştiği sonucunu varılmıştır (31)

Juliano ve diğerleri (23) tarafından yapılan çalışmada homojenizasyon uygulamasında kavitasyon yöntemi kullanılarak 20 kHz ile 100 kHz arası değişen frekanslar kullanılıp uygulanan ultrason yöntemi sonucunda proses sıcaklığı ve zamanında azalma etkisi olduğu görülmüştür. Isıl işlem ile beraber uygulanan ultrason ile üretilen krem peynirinde yağ içeriği, verim, yayılabilirlik, viskoelastik özellikler ve termal stabilitenin önemli ölçüde değiştiği saptanmıştır (8).

JEL YAPISI ÜZERİNE ETKİSİ

Yoğurt bir çeşit protein jeli olduğundan, süt proteinlerinin yoğurt jel yapısı üzerinde önemli bir etkisi vardır (3). Süt proteinleri, hem fizikokimyasal hem de beslenme özellikleri açısından yoğurdun önemli bir bileşeni olup denatürasyon, kompakt ve stabil bir jel yapısının oluşumu için kritik öneme sahiptir (21, 27). Ultrason yöntemi peynir altı suyu proteini partiküllerinin boyutunu ve şeklini kontrol etmenin yanı sıra özellikle yoğurtlarda, emülsiyonların jelleşme süresini kısaltırken jelleşme özelliklerini, jel gücünü, elastikyetini ve sıklığını iyileştirmek için kullanılan etkili bir yöntemdir (41).

Zisu ve arkadaşları (33) tarafından yapılan bir çalışmada peynir altı suyu proteinlerinin jelleşme özelliklerini iyileştirdiği, jel gücünü arttırdığı ve sineresisi azalttığı belirlenmiştir. Bir başka çalışmada ise peynir altı suyu proteini konsantresinin jelleşme özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek adına 20 kHz, 750 W, 20 dakika uygulama koşulları ile ultrason yönteminin peynir altı suyu proteini konsantrelerinin elastik jelleşme özelliklerini geliştirdiği bulunmuştur (9).

Isıl işlem ile beraber uygulanan ultrason yöntem olan termosonik set tip yoğurtlarda jel sertliğinin arttığı gözlenmiştir (28). Yanjun ve arkadaşları (32), yaptıkları bir çalışmada ultrason yönteminin sulandırılmış süt proteini konsantresinin jelleşme özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 20 kHz frekans ve 5 dakika uygulama sonrasında ultrasonun sulandırılmış süt proteini konsantresinin jelleşme özelliklerini geliştirdiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca, ultrason yöntemi, peynir altı suyu proteinlerinin jelleşme özelliklerini geliştirir, jel gücünü ve sıklığını artırarak sineresisi azaltır ve jelleşme süresini kısaltır (3).

VİSKOZİTE VE SU TUTMA KAPASİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Proteinlerin su tutma kapasitesi, çeşitli gıda sistemlerinde kılcal etkiler yoluyla bir protein-su etkileşim sisteminde su moleküllerini stabilize etme yeteneklerini yansıtır. Viskozite ve su tutma kapasitesi yoğurt teknolojisi için çok önemli kalite

kriterleri iken, serum ayrılması, aglomerasyon ve sıkı olmayan yapı en önemli tekstürel kusurlardır (42, 28). Yoğurdun viskozitesi, kazein misellerinin birbirleriyle etkileşmesiyle oluşan protein ağına ve serum ve yağ globüllerini hapseden denatüre serum proteinlerine dayanan yapısına bağlıdır (3).

Ultrason yöntemi süt ürünlerinde viskoziteyi ve su tutma kapasitesini de arttırmaktadır. Alexander ve Corredig (2010) tarafından yapılan bir çalışmada ultrason yönteminin viskozite üzerine etkisi araştırılması ve geç sertleşmeyi önlediği gibi viskozite üzerinde kontrol edici bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Bir başka çalışmada ise geleneksel homojenizasyon ile ultrason yöntemi karşılaştırılmış ve ultrason işleminin yoğurdun su tutma kapasitesini arttırdığı belirlenmiştir. Bunun sebebi ise yüksek enerjili ses dalgalarının süt içerisinde ilerken oluşturdukları kaviteyona bağlı olarak oluşan gaz kabarcıklarının etkisi ile meydana gelen mekaniksel şoklardan dolayı yağ partiküllerinin parçalanarak geleneksel homojenizasyonun etkisine kıyasla sütün daha etkin homojenize olmasıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir (29). Yine aynı çalışma göstermiştir ki ultrasonun uygulanan güç seviyesi arttıkça yağ partikül çapı küçülerek yağ membran yüzeyi alanını arttırdığı, bu artan yüzeyde yeni bağlanmış pek çok kazeini içerdiğinden yüksek güç seviyelerinde su tutma kapasitesini de artırdığına yöneliktir.

Yapılan bir başka çalışmada, yoğurt teknolojisinde ultrason yönteminin kaviteyasyon etkisi, globül boyutunun azalmasına ve dolayısıyla yağın artan sayıda daha küçük globüllere parçalanmasıyla toplam yağ membran yüzey alanının artmasına neden olduğu gösterilmiştir (21). Bu çalışma ile ayrıca yeni bağlanmış kazein misellerini içeren artan yüzey alanı, süt yağı globül membranı ile kazein bağlarındaki artışı teşvik ederek su tutma kapasitesini iyileştirdiği ve hidrofilik bölgelerin sulu faza daha fazla maruz kalmasıyla artan hidrofilik özelliklerle sineresisi azalttığı sonucuna varılmıştır.

Bir başka çalışmada ise termosonikasyon yönteminin, saklama sırasında yoğurt içeceklerinin viskozitesi ve serum ayrımı üzerindeki etkisini belirlemek amaçlanmış ve farklı sıcaklık ve sürelerde termosonikasyon uygulanarak üretilen yoğurt içeceklerinin, geleneksel olarak üretilen ve 90 °C'de 1 dakika ısıtma işlemi uygulanan yoğurt içeceklerine göre depolama sırasında daha yüksek viskoziteye ve daha az serum ayrılmasına sahip olduğu sonucuna varılmıştır (17).

SONUÇ

Ultrason yöntemi günümüzde hem araştırma laboratuvarlarında hem de ticari olarak çok çeşitli gıda işleme operasyonlarında uygulanmakta olup, gelişmekte olan bu teknoloji ile süt ürünlerinde verim arttırma, maliyeti azaltma, son ürün

kalitesini yükseltme, proses basitleştirme, enerji kullanımını azaltma gibi termal proses gerektirmeyen faydaları ile ilgi görmektedir. Gıdaların raf ömrünü arttırmak, mikrobiyolojik bozunmaları önleyebilmek, enzim aktivitesini inhibe edebilmek gibi amaçlar için çoğunlukla termal yöntemler tercih edilse de bu yöntemler gıdaların renk, lezzet, tekstür, koku gibi duyuşsal özelliklerine olumsuz etki ve besin değerlerinde bazı kayıplara neden olduğu bilinmektedir. Ultrason yöntemi ile ilgili çalışmalar ise bize süt endüstrisinde kullanıldığında, yüksek ısıl işleme kıyasla homojenizasyon veriminin artırılması, jel kuvveti ve sıklığının iyileştirilmesi, viskozite ve su tutma kapasitesinin artırılması gibi önemli avantajlar sağlarken; termal yöntemlerin neden olduğu gibi kaliteyi olumsuz etkileyecek sonuçlar alınmadığı gözlenmiştir. Tüm bu özellikleri ile ultrason yöntemine artan bir ilgi söz konusudur. 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.

KAYNAKLAR

1. Scudino, H., Silva, E. K., Gomes, A., Guimarães, J. T., Cunha, R. L., Sant'Ana, A. S., ... Cruz, A. G. (2020b). Ultrasound stabilization of raw milk: Microbial and enzymatic inactivation, physicochemical properties and kinetic stability. *Ultrasonics Sonochemistry*, 67(September 2019), 105185. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105185>
2. Scudino, H., Keven, E., Gomes, A., Guimarães, J. T., Cunha, R. L., Sant, A. S., ... Cruz, A. G. (2020). Ultrasonics - Sonochemistry Ultrasound stabilization of raw milk : Microbial and enzymatic inactivation , physicochemical properties and kinetic stability. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 67(September 2019), 105185. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105185>
3. Akdeniz, V., & Akalın, A. S. (2017). Ultrason Uygulamasinin Süt Ürünleri nde Homojeni zasyon, Jel Yapisi Vi skozi te Ve Su Tutma Kapasi tesi Üzeri ne Etki si . *Gıda / The Journal of Food*, 42(6), 743–753. <https://doi.org/10.15237/gida.gd17062>
4. Akdeniz, V., & Akalın, A. S. (2019). New approach for yoghurt and ice cream production: High-intensity ultrasound. *Trends in Food Science and Technology*, 86 (February 2018), 392–398. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.046>
5. Munir, M., Nadeem, M., Mahmood, T., & Leong, T. S. H. (2019). Effects of high pressure, microwave and ultrasound processing on proteins and enzyme activity in dairy systems — A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 57(July), 102192. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102192>
6. Alexander, M., & Corredig, M. (2010). *Journal of Colloid and Interface Science* Probing the colloidal properties of skim milk using acoustic and electroacoustic spectroscopy . Effect of concentration , heating and acidification. 351, 493–500. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2010.07.078>
7. Abrahamsen, R. K., & Narvhus, J. A. (2022). Can ultrasound treatment replace conventional high temperature short time pasteurization of milk ? A critical review. *International Dairy Journal*, 131, 105375. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105375>
8. 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 ther-mosonicated milk. *Journal of Food Engineering*, 168, 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.jfoo>

- deng.2015.08.002
9. Arzeni, C., Martínez, K., Zema, P., Arias, A., Pérez, O. E., & Pilosof, A. M. R. (2012). Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. *Journal of Food Engineering*, 108 (3), 463–472. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.018>
 10. Awuah, G. B., Ramaswamy, H. S., & Economides, A. (2007). Thermal processing and quality : Principles and overview. 46, 584–602. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.08.004>
 11. Livney, Y. D., Corredig, M., & Dalgleish, D. G. (2003). Influence of thermal processing on the properties of dairy colloids. *Current opinion in colloid & interface science*, 8(4-5), 359-364. [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(03\)00092-X](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(03)00092-X)
 12. Baruk, I., Lisak, K., Herceg, Z., Karlovi, S., & Bo, R. (2015). In fl uence of high intensity ultrasound on microbial reduction , physico-chemical characteristics and fermentation of sweet whey. 27, 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.10.013>
 13. Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70 (June 2020), 105293. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>
 14. Ciccolini, L., Taillandier, P., Wilhem, A. M., Delmas, H., & Strehaiano, P. (1997). Low frequency thermo-ultrasonication of *Saccharomyces cerevisiae* suspensions: effect of temperature and of ultrasonic power. *Chemical Engineering Journal*, 65(2), 145-149. [https://doi.org/10.1016/S1385-8947\(96\)03172-5](https://doi.org/10.1016/S1385-8947(96)03172-5)
 15. Clark, J. P. (2014). Process Improvements: Sessions and Show Floor Deliver That and More. *FOOD TECHNOLOGY*, 68(5), 117-121.
 16. Donnell, C. P. O., Tiwari, B. K., Bourke, P., & Cullen, P. J. (2010). Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. *Trends in Food Science & Technology*, 21(7), 358–367. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.007>
 17. Erkaya, T., & Bas, M. (2015). Ultrasonics Sonochemistry Effect of thermosonication on physicochemical , microbiological and sensorial characteristics of ayran during storage. 23, 406–412. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.08.009>
 18. Firouz, M. S., Farahmandi, A., & Hosseinpour, S. (2019). Ultrasonics - Sonochemistry Recent advances in ultrasound application as a novel technique in analysis , processing and quality control of fruits , juices and dairy products industries : A review. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 57(April), 73–88. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.05.014>
 19. Gao, S., Hemar, Y., Lewis, G. D., & Ashokkumar, M. (2014). Ultrasonics Sonochemistry Inactivation of Enterobacter aerogenes in reconstituted skim milk by high- and low-frequency ultrasound. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 21(6), 2099–2106. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.12.008>
 20. Guimarães, J. T., Scudino, H., Ramos, G. L., Oliveira, G. A., Margalho, L. P., Costa, L. E., ... Cruz, A. G. (2021). Current applications of high-intensity ultrasound with microbial inactivation or stimulation purposes in dairy products. *Current Opinion in Food Science*, 42, 140–147. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.004>
 21. 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. *Ultrasonics Sonocchemistry*, 31, 558–562. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.02.007>
 22. Huang, G., Chen, S., Dai, C., Sun, L., Sun, W., Tang, Y., ... Ma, H. (2017). Ultrasonics Sonochemistry Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 37, 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.018>
 23. Juliano, P., Temmel, S., Rout, M., Swiergon, P., Mawson, R., & Knoerzer, K. (2013). Ultrasonics Sonochemistry Creaming enhancement in a liter scale ultrasonic reactor at selected transducer configurations and frequencies. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 20(1), 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.07.018>
 24. Marchesini, G., Fasolato, L., Novelli, E., Balzan, S., Contiero, B., Montemurro, F., ... Segato, S. (2015). Ultrasonic inactivation of microorganisms : A compromise between lethal capacity and

- sensory quality of milk. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29, 215–221. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.03.015>
25. Pagnossa, J. P., Rocchetti, G., Ribeiro, A. C., Piccoli, R. H., & Lucini, L. (2020). ScienceDirect Ultrasound : beneficial biotechnological aspects on microorganisms-mediated processes. *Current Opinion in Food Science*, 31, 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.10.006>
 26. Pala, D. E. M. U., & Ni, K. (2015). Microbial Inactivation and Physicochemical Properties of Ultrasound Processed Pomegranate Juice. 78(3), 531–539. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-14-290>
 27. Paniwnyk, L. (2017). Applications of ultrasound in processing of liquid foods: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38, 794–806. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.025>
 28. 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 Chemistry*, 114(3), 905–911. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.037>
 29. Şengül, M., Başlar, M., Erkaya, T., Ertugay, M. F., Üniversitesi, A., Fakültesi, Z., & Bölümü, G. M. (2009). The effect of ultrasonic homogenization on water holding capacity of yogurt. 34, 219–222.
 30. Shabbir, M. A., Ahmed, H., Maan, A. A., Rehman, A., Afraz, M. T., Iqbal, M. W., ... Aadil, R. M. (2021). Effect of non-thermal processing techniques on pathogenic and spoilage microorganisms of milk and milk products. 2061(June), 279–294.
 31. Wu, H., U, G. J. H., & Mount, J. R. (2001). Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. 211–218. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(00\)00020-5](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(00)00020-5)
 32. Yanjun, S., Jianhang, C., Shuwen, Z., Hongjuan, L., Jing, L., Lu, L., ... Jiaping, L. (2014). Effect of power ultrasound pre-treatment on the physical and functional properties of reconstituted milk protein concentrate. *Journal of Food Engineering*, 124, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.09.013>
 33. 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. (May 2014). <https://doi.org/10.1017/S0022029911000070>
 34. Kentish, S., & Ashokkumar, M. (2011). The physical and chemical effects of ultrasound. In *Ultrasound technologies for food and bioprocessing* (pp. 1-12). Springer, New York, NY.
 35. Shen, X., Fang, T., Gao, F., & Guo, M. (2017). Effects of ultrasound treatment on physicochemical and emulsifying properties of whey proteins pre-and post-thermal aggregation. *Food Hydrocolloids*, 63, 668-676. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.003>
 36. Jambrak, A. R., Mason, T. J., Lelas, V., & Krešić, G. (2010). Ultrasonic effect on physicochemical and functional properties of α -lactalbumin. *LWT-Food science and Technology*, 43(2), 254-262. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.09.001>
 37. Rahman, M. H., Khan, S. Z., & Ramiz, M. S. (2007). Effect of therapeutic ultrasound on calcific supraspinatus tendinitis. *Mymensingh medical journal: MMJ*, 16(1), 33-35. <https://doi.org/10.3329/mmj.v16i1.245>
 38. Vercet, A., Burgos, J., Crelier, S., & Lopez-Buesa, P. (2001). Inactivation of proteases and lipases by ultrasound. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2(2), 139-150. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(00\)00037-0](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(00)00037-0)
 39. Mason, T. J., Riera, E., Vercet, A., & Lopez-Buesa, P. (2005). Application of ultrasound. In *Emerging technologies for food processing* (pp. 323-351). Academic Press.
 40. Engin, B., & Karagul Yuceer, Y. (2012). Effects of ultraviolet light and ultrasound on microbial quality and aroma-active components of milk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(6), 1245-1252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4689>
 41. Shanmugam, A., Chandrapala, J., & Ashokkumar, M. (2012). The effect of ultrasound on the physical and functional properties of skim milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 251-258. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.06.005>

42. Gursoy, O., Yilmaz, Y., Gokce, O., & Ertan, K. (2016). Effect of ultrasound power on physicochemical and rheological properties of yoghurt drink produced with thermosonicated milk. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 235-241. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2015-09-719>
43. Balthazar, C. F., Santillo, A., Guimarães, J. T., Bevilacqua, A., Corbo, M. R., Caroprese, M., ... & Albenzio, M. (2019). Ultrasound processing of fresh and frozen semi-skimmed sheep milk and its effects on microbiological and physical-chemical quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 51, 241-248. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.10.017>
44. Gregersen, S. B., Wiking, L., & Hammershøj, M. (2019). Acceleration of acid gel formation by high intensity ultrasound is linked to whey protein denaturation and formation of functional milk fat globule-protein complexes. *Journal of Food Engineering*, 254, 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.004>
45. D.L. Van Hekken, J. Renye Jr., A.J. Bucci, P.M. Tomasula, Characterization of the physical, microbiological, and chemical properties of sonicated raw bovine milk, *J. Dairy Sci.* 102 (8) (2019) 6928–6942. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15775>
46. Y.J. Jo, M.J. Choi, J.Y. Chun, J. Yeon-Ji, C. Mi-Jung, C. Ji-Yeon, Effect of high-energy emulsification on properties of commercial low-temperature pasteurised milk, *Int. J. Dairy Technol.* 72 (2019) 357–363, <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12596>.
47. S.B. Gregersen, R.P. Frydenberg, M. Hammershøj, T.K. Dalsgaard, U. Andersen, L. Wiking, Application of high intensity ultrasound to accelerate crystallization of anhydrous milk fat and rapeseed oil blends, *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 121 (2019), <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800200>.
48. L.M.L.M. Carrillo-Lopez, M.G.M.G. Juarez-Morales, I.A. Garcia-Galicia, A.D.A. D. Alarcon-Rojo, M. Huerta-Jimenez, The effect of high-intensity ultrasound on the physicochemical and microbiological properties of Mexican panela cheese, *Foods*. 9 (2020) 1–14, <https://doi.org/10.3390/foods9030313>.
49. S.H.M.C. Monteiro, E.K. Silva, J.T. Guimarães, M.Q. Freitas, M.A.A. Meireles, A. G. Cruz, High-intensity ultrasound energy density: how different modes of application influence the quality parameters of a dairy beverage, *Ultrason. Sonochem.* 63 (2020), 104928, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104928>.
50. R.A. Khaire, P.R. Gogate, Intensified recovery of lactose from whey using thermal, ultrasonic and thermosonication pretreatments, *J. Food Eng.* 237 (2018) 240–248.
51. P.M. Parreiras, J.A. Vieira Nogueira, L. Rodrigues da Cunha, M.C. Passos, N. R. Gomes, G.S. Breguez, T.S. Falco, E. Bearzoti, C.C. Menezes, Effect of thermosonication on microorganisms, the antioxidant activity and the retinol level of human milk, *Food Control* 113 (2020), 107172, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107172>.