



**Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa
Bilimleri Dergisi**
Usak University Journal of Science and Natural Sciences

<http://dergipark.gov.tr/usufedbid>
<https://doi.org/10.47137/usufedbid.1209666>



Derleme Makalesi

Ultrases Uygulamasının Süt Bileşenleri Üzerine Etkisi

Onur Güneşer, Sanem Erdoğan*

Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Uşak Üniversitesi, Uşak, Türkiye

Geliş: 1 Aralık 2022 Revizyon: 31 Mart 2023 Kabul: 24 Nisan 2023
Received: 1 December 2023 Revised: 31 March 2023 Accepted: 24 April 2023

Abstract

Nowadays, consumer preferences for food products that do not contain additives and preservatives, have a natural taste and aroma; have high nutritional value, which led to the development of innovative/non-thermal food processing processes. In this regard, ultrasound technology comes to the forefront of the processing of liquid foods. Ultrasound is a type of energy which is created by sound waves in a frequency range above from 16 kHz to 20 kHz. High-frequency ultrasound is used as an analytical measurement technique to measure various physicochemical properties of foods, while a low-frequency ultrasound is applied to change the physical and chemical properties of foods. When ultrasound is applied in a pure inorganic system, the oxidation and reduction of free radicals occur. However, the application of ultrasound to a complex system like food leads to a wide variety of chemical reactions. Indeed, the application of ultrasound with a frequency of 20-25 kHz creates various physical changes in milk and dairy products, while a strong chemical reaction is caused by a high-intensity ultrasound up to 2MHz. The aim of this review is to reveal the effect of ultrasound treatment on milk components regarding physical and chemical changes in detail.

Keywords: *Milk, emerging food processing technologies, ultrasound, degradation, oxidation.*

Özet

Günümüzde tüketicilerin katkı maddesi ve koruyucu içermeyen, doğal tat ve aromaya sahip, besinsel değeri yüksek gıda ürünlerini tercih etmesi; yenilikçi/ısı olmayan gıda işleme proseslerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Bu kapsamda, sıvı gıdaların işlenmesinde özellikle ultrases ön plana çıkmaktadır. Ultrases 16 kHz ile 20 kHz düzeyinden daha yüksek frekansa sahip ses dalgaları tarafından oluşturulan bir enerji türüdür. Yüksek frekanslı ultrases analitik ölçüm tekniği olarak gıdaların çeşitli fizikokimyasal özelliklerinin ölçülmesinde kullanılırken, düşük frekanslı ultrases ise gıdaların fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmek amacıyla uygulanmaktadır. Ultrases saf inorganik sistemlere uygulandığında oluşan serbest radikallerin okside olması veya indirgenmesi meydana gelmektedir. Ancak, gıda gibi kompleks bir sisteme ultrases uygulanması kimyasal reaksiyonların çok çeşitli olmasına neden olmaktadır. Nitekim, süt ve süt ürünlerinde 20-25 kHz düzeyinde ultrases uygulaması çeşitli fiziksel değişimler meydana getirirken, 2 MHz'e kadar yüksek frekans ultrases uygulaması güçlü kimyasal reaksiyonlara sebep olmaktadır. Bu derlemenin amacı, ultrases uygulamasının süt bileşenleri üzerine etkilerini fiziksel ve kimyasal değişimler açısından detaylı bir şekilde ortaya konmasıdır.

Anahtar Kelimeler: *Süt, yenilikçi gıda işleme teknolojileri, ultrases, parçalanma, oksidasyon.*

©2023 Uşak University all rights reserved.

*Corresponding author: Onur Güneşer
E-mail: onur.guneser@usak.edu.tr (ORCID ID: 0000-0002-3927-4469)

1. Giriş

Süt, insan beslenmesinde eksiksiz olarak nitelendirilen önemli bir gıdadır. Yüksek protein ve kalsiyum içeriğinin yanında B1 (tiyamin), B2 (riboflavin), B3 (niasin), B12 (siyanokobalamin) ve A (retinol) vitaminleri, fosfor ve magnezyum gibi besin öğelerini yüksek miktarda içermektedir. Süt ve süt ürünlerinin sindirilebilirliği ve biyolojik değerinin yüksek olması nedeniyle başta çocuklar ve gençler olmak üzere tüm yaş gruplarının her gün tüketmesi önerilmektedir [1, 2]. Süt kimyasal kompozisyonu, yüksek su içeriği ve nötral pH özelliğinden dolayı da mikroorganizmalar için ideal bir besiyeri özelliğindedir. Bu nedenle bozulmaya karşı çok hassastır. Sağlıklı bir hayvandan sağılan sütün mikrobiyal yükü çok düşük olmasına karşın sağım esnasında ve/veya sağımdan sonraki uygulamalarda mikroorganizmalarla bulaşabilmektedir. Sütte bulunan mikroorganizmaların bazıları yararlı bazıları ise zararlı olabilmektedir [1, 3].

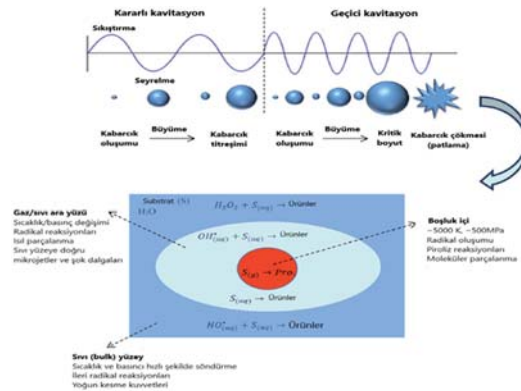
Süt ve süt ürünlerinin güvenli bir şekilde tüketilebilmesi için özellikle süttten hastalık yapıcı mikroorganizmalar tamamen; raf ömrünü olumsuz etkileyecek mikroorganizmalar ise büyük oranda uzaklaştırılması gerekmektedir [3]. Düşük sıcaklık-uzun süre pastörizasyon (LTLT), yüksek sıcaklık-kısa süre pastörizasyon (HTST) ve ultra yüksek sıcaklık (UHT) prosesleri süt ve süt ürünlerinin üretiminde kullanılan en temel ısıl proseslerdir. Söz konusu ısıl prosesler mikroorganizmaların inhibisyonunu ve enzimlerin inaktivasyonunu sağlama etkinliklerinden dolayı gıda güvenliğinin sağlanmasında yıllardır kullanılmaktadır [1]. Ancak, süte uygulanan ısıl işlem normuna bağlı olarak süt bileşenleri kimyasal ve enzimatik modifikasyonlara uğrayabilmektedirler. Söz konusu bu değişimlerin bazıları istenen, bazıları ise istenmeyen değişimler olarak ifade edilmektedir. Örneğin; yoğurt üretiminde yüksek ısıl işlem ile serum proteinlerinin denatürasyonu sağlanarak yoğurt pıhtısının gelişimi sağlanırken, peynir üretiminde yüksek ısıl işlem uygulaması sütün rennet enzimi ile pıhtılaşmasını zorlaştırmaktadır. Besinsel açıdan düşünüldüğünde ise ısıl işlem uygulaması ile sütte bazı vitaminlerin, esansiyel yağ asitlerinin ve biyolojik aktif maddelerin kaybı meydana gelebilmektedir. Isıl işlem ile sütte meydana gelen en temel besin kayıplarının başında lizin kaybı ve vitamin kaybı gelmektedir. Nitekim, süte uygulanan ısıl işlem sonucunda farklı düzeylerde özellikle A, B2, B6, C, E ve K vitaminlerinde kayıpların meydana geldiği rapor edilmiştir [4-6]. Ayrıca, ısıl işlem sonucunda süt ve süt ürünlerinde renk, aroma ve lezzet gibi duyuşsal özelliklerde istenmeyen değişimler meydana gelebilmektedir [3, 7]. Süt ve süt ürünlerinin fiziksel stabilitesinin aydınlatılması için ısıl işlemin sütteki makro bileşenleri üzerine etkileri hakkında çok sayıda çalışma mevcuttur. Ancak, sütte bulunan mineraller, vitaminler, yağ asitleri, oligosakkaritler, hormonlar ve büyüme faktörleri gibi mikro bileşenlerin ve bunların biyoyararlılığı üzerine ısıl işlemin etkilerinin araştırıldığı çalışmalar halen devam etmektedir [7].

Günümüzde tüketicilerin katkı maddesi ve koruyucu içermeyen, doğal tat ve kokuya sahip, besin değeri yüksek gıda ürünlerini tercih etmesi; gıda üreticilerinin ise işleme verimliliğini artıran, enerji tüketimini azaltan ve güvenli ürünler üretebilen teknoloji arayışında olması yenilikçi/ısıl olmayan gıda işleme proseslerinin (emerging/non-thermal food process) geliştirilmesini sağlamıştır [8]. Yüksek hidrostatik basınç (HP), ultrases (US), vurgulu elektrik alanı (PEF), iyonize radyasyon (IR), elektrolize su (ES), ultraviyole ışınlama (UV), vurgulu ışık (PL), elektroliz (EP) ve plazma teknolojisi (PT) söz konusu teknolojilerden bazılarıdır. Yenilikçi gıda işleme teknolojilerinde ortak özellik olarak gıdaları ortam sıcaklığında veya düşük sıcaklıklarda işleyerek ısıl işlemin gıdanın fiziksel, kimyasal ve besin özellikleri üzerine etkisini en az seviyede tutmak; mikrobiyal stabilitenin ise en yüksek düzeyde sağlanması amaçlanmıştır [9]. Sıvı gıdaların işlenmesinde özellikle yenilikçi gıda işleme teknolojileri olarak PEF, UV ve US uygulamaları

ön plana çıkmaktadır. Söz konusu yenilikçi teknolojilerin süt ve süt ürünlerinde uygulanabilirliği ve kalite özellikleri üzerine etkilerinin araştırıldığı birçok çalışma bulunmaktadır [10-12].

Ultrases insan kulağının duyduğu 16 kHz ile 20 kHz düzeyinden daha yüksek frekansa sahip olan ve insan kulağı tarafından algılanamayan ses dalgalarının oluşturduğu bir enerji olarak tanımlanabilir. Ultrases güç ve frekans özelliğine göre 3 gruba ayrılmaktadır. Bunlar; 20-100 kHz aralığında olan yüksek güç-düşük frekans ultrases, 100 kHz-1 MHz aralığında olan orta güç-orta frekans ve 1-10 MHz aralığında olan düşük güç-düşük frekans ultrases olarak adlandırılır. Birçok gıda işleme prosesinde ultrasesin uygulama frekans aralığı 20 kHz-10 MHz düzeyindedir. Özellikle, yüksek frekanslı ultrases uygulaması analitik ölçüm tekniği olarak gıdaların şeker, asitlik, sertlik, şeker içeriği, olgunluk veya pıhtılaşma ve jel özellikleri gibi çeşitli fizikokimyasal özelliklerin ölçülmesinde kullanılırken, düşük frekanslı ultrases gıdaların fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmek için kullanılmaktadır. Nitekim; süt ve süt ürünlerinde 20-25 kHz düzeyinde fiziksel değişimler meydana getirirken; 2 MHz' e kadar yüksek frekans ultrases uygulamasının güçlü kimyasal reaksiyonlara sebep olabileceği belirtilmiştir. Söz konusu kimyasal değişimlere neden olan etkenler mekanik titreşim, akustik dalga ve kavitasyondur [9, 13, 14].

Ultrases işleminin en temel etkisi kavitasyondur. Kaviteasyon; bir ses dalgasının sıvıdan geçerken basıncın düştüğü bölgelerde moleküllerin arasındaki mesafenin giderek uzaması ve kabarcık oluşumu, oluşan kabarcıkların sürekli ses dalgalarına maruz kalmasıyla büyümesi ve enerji absorplayamayacak kritik hacme ulaştıklarında ise içeri doğru sönümlenmesi olarak tanımlanır. Kaviteasyon kabarcığının içinde çok yüksek bir ısıtma ve soğutma hızı nedeniyle iç patlamalar ile sıcaklık yaklaşık 5000°K'e, basınç yaklaşık 1000 atm'e kadar çıkabilmektedir. Kaviteasyon soğuk bir sıvıda mikro akış, çalkalanma, türbülans, mikro jet ve şok dalgalanması, aktif radikal oluşumu ve sonoluminesans gibi olağanüstü fiziksel ve kimyasal değişimler meydana getirmektedir. Söz konusu değişimlerin şiddeti, kaviteasyona etki eden sıvının bileşimi ve viskozitesi, partikül içeriği, yüzey gerilimi gibi uygulanan sıvının özellikleri; sıcaklık, basınç, gaz içeriği gibi işlem koşulları; dalga boyu, güç, frekans, ultrases işleminin yapıldığı kabın boyutu ve şekli gibi ekipman özelliklerine bağlı olmaktadır (Şekil 1) [14-16].



Şekil 1. Ultrases uygulamasında kaviteasyon etkisi (Pirsaheb ve Moradi, [76])

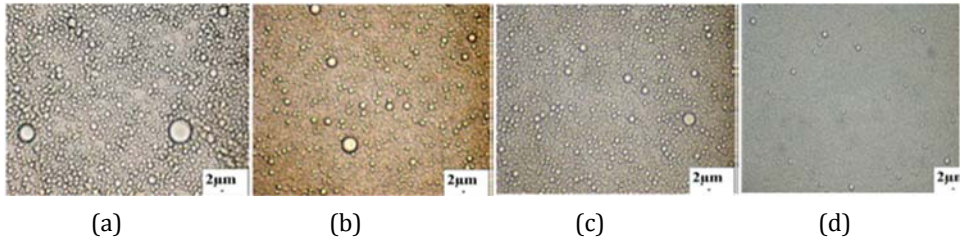
Süt ve süt ürünlerinde kaviteasyonun süt yağının homojenizasyonuna, mikrobiyal inaktivasyona, enzim aktivasyonu ve inaktivasyonuna, starter kültürlerin

fermantasyonuna etkisi, süt jellerinin (yoğurt ve peynir jeli) ve protein yapısına etkisi gibi konularda yoğun bir şekilde çalışılmaktadır [1, 11, 14, 35, 36, 37]. Temel olarak suya uygulanan ultrases işlemiyle aktif hidrojen ($\bullet\text{H}$), hidroksit ($\bullet\text{OH}$), peroksit ($\bullet\text{HO}_2$) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) radikalleri meydana geldiği düşünüldüğünde süt gibi kompleks ve oksidasyona açık aktif bileşenleri içeren gıda sistemleri için ultrasesin gıda matriksindeki kimyasal reaksiyonlara etkisinin detaylı bir şekilde aydınlatılması önem arz etmektedir. Nitekim, ultrases saf inorganik sistemlerde uygulandığında oluşan serbest radikallerin okside olması veya indirgenmesi meydana gelirken, gıda gibi kompleks (organik ve inorganik moleküller içeren) bir sistemde uygulanması kimyasal reaksiyonların çok çeşitli olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, gıda sistemlerinde oluşan radikaller gıda matriksi içerisinde bulunan şeker, protein, yağ, vitamin, mineral ve diğer aktif bileşenlerle etkileşime girerek parçalanmalarına veya moleküllerin özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır. Örneğin; süte pastörizasyon için ultrases uygulamasının kimyasal açıdan en iyi bilinen etkisi sütte istenmeyen aroma bileşiklerinin oluşması (off-flavor)dir. Ultrases etkisiyle istenmeyen aroma bileşiklerinin oluşumu; süt lipidlerinin oksidasyonu ve ultrases probundan süte metal göçünden kaynaklandığı belirtilmektedir [14]. Bu derlemede, ultrases uygulamasının süt bileşenleri üzerine etkileri kimyasal açıdan yapılan son çalışmalar ışığında detaylı bir şekilde incelenmiştir.

2. Ultrasesin Süt Bileşenleri Üzerine Etkisi

2.1. Lipitler

Süt yağı, 1-10 μm çapında kürecikler şeklinde emülsiyon halinde bulunmaktadır. Söz konusu bu küreciklerin büyük bir kısmı fosfolipit ve enzimlerden oluşan süt globül membranı ile çevrilmiştir. Bu membranın kimyasal yapısı ve yağ globüllerinin çapının dağılımı süt ürünlerinin reolojik ve duyuşal özelliklerine büyük bir oranda etkilenmektedir. Temel olarak ultrases uygulamasının süt yağ fazına etkisi sütteki yağ globüllerinin çaplarını küçültmesi ve böylece homojenizasyon etkisi yaratmasıdır (Şekil 2) [14-19].



Şekil 2. Ultrases uygulamasının süt yağına homojenizasyon etkisi (a) homojenize olmamış çiğ süt, (b) tek kademe (150 bar) homojenizasyon uygulanmış süt, (c) Çift kademe (150/50bar) homojenizasyon uygulanmış süt, (d) Ultrases uygulanmış süt (900 W 15 dak.) ([19]'den alınmıştır)

Erturgay ve ark. [18] yaptıkları bir çalışmada ultrases uygulaması sonrasında süt yağ globül çaplarının küçüldüğünü belirlemiştir. Buna göre, homojenizasyon işlemi uygulanmamış süt örneği, klasik homojenizasyon uygulanmış süt örneği, 90W, 180 W, 360 W ve 450 W gücünde 5 dak. ultrases işlemi uygulanmış süt örneklerinin yağ globül çapları sırasıyla 5,50, 2,62, 3,87, 3,37, 2,12 ve 1,25 μm olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, Akdeniz ve Akalın [19] yaptıkları bir çalışmada, 90W, 180W, 300W ve 400W'da 15 dak. ultrases uygulanmış süt örneklerinin yağ globül boyutlarını sırasıyla 246,30 nm, 230,63

nm, 217,40 nm ve 211,78 nm olarak belirlerken, homojenizasyon işlemi uygulanmayan süt ve çift kademedede (150/50 bar) basınçta homojenize edilen süt örneğinin yağ globül boyutlarını sırasıyla 1677,25 nm ve 314,18 nm olarak belirlemişlerdir. Yüksek hidrostatik basınç ve ultrases uygulamasının keçi sütü yağ globül boyutlarına etkilerinin incelendiği başka bir çalışmada [20], ultrases uygulamasının ultrases prob çapı, genlik ve uygulama süresinin artması ile süt yağ globül çaplarının küçüldüğü ve emülsiyon stabilite indeksinin yükseldiği belirlenmiştir. Buna göre, homojenize olmayan süt yağ globülü hacim/yüzey alanı ortalama çapı D (3.2) ve gözlemlenen ortalama boyuttan altında kalan %10'luk partikül boyutu D (0.1) değerleri sırasıyla 0,516 µm ve 0,158 µm olarak tespit edilirken; 10 mm prop çapı, %60 genlik ve 9 dak. ultrases uygulamasında süt yağ globülünün D (3.2) ve D (0.1) değerleri sırasıyla 0,294 µm ve 0,111 µm; 10 mm prop çapı, %60 genlik ve 9 dak. ultrases uygulamasında D (3.2) ve D(0.1) değerleri ise sırasıyla 0,202 µm ve 0,07 µm olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, 120 µm genlik değerinde 150 W ve 40,2 sn ultrases uygulanmış süt örneğinin yağ globüllerine ait D (3.2) ve D (0.1) değerleri sırasıyla 0,68 µm ve 0,31 µm olarak belirlenirken ultrases uygulanmamış süt örneğinin D (3.2) ve D (0.1) değerleri 1,95 µm ve 0,99 µm olarak tespit edilmiştir [21].

Ultrases uygulaması ile hem mikrobiyal stabilitenin hem de enzimatik inaktivasyonun sağlanmasında ultrases ile ısıl işlem kombinasyonu ile süre optimizasyonu zorunluluğu birçok çalışmada vurgulanmıştır. Bu açıdan hem ultrases hem de ısıl işlem uygulamasının yapıldığı ısıl ultrases (termosonikasyon) işleminin süt yağ fazına etkilerinin araştırılmasına ait çalışmalar da bulunmaktadır [14, 15, 22]. Ragab ve ark. [23] yaptıkları bir çalışmada, ısıl işlem ve ultrasesin birlikte uygulandığı termosonikasyon işleminin keçi sütünün fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; 72°C'de 15 sn. ısıl işlem ile ayrı ayrı 200 W ve 300 W gücünde 10 dak. ultrases uygulanmış süt örneklerinin yağ globül çaplarının 1 µm'den daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ancak, 72°C'de 15 sn. ısıl işlem ile ayrı ayrı 400 W gücünde 10 dak. ultrases uygulanmış süt örneğinin yağ globül çapı (3,384 µm) ile çiğ süt yağ globül çapı arasında (3,543 µm) önemli bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir. Araştırmacılar, söz konusu durumun yüksek güçte ultrases uygulaması sonrasında küçük yağ globüllerinin birleşmesi ve birbirine yapışmasından kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir. Farklı sıcaklık, güç ve sürelerde uygulanan ultrases uygulamasının deve sütü kremasının yağ globül çapı ve emülsiyon stabilitesine etkilerinin incelendiği diğer bir çalışmada [24], ultrases uygulamasında güç, sıcaklık ve süresinin artması ile deve sütü kremasında yağ globül çapının azaldığı, ultrases gücünün ve sürenin artması ile emülsiyon stabilitesinin arttığı, ancak sıcaklığın artması ile emülsiyon stabilitesinin azaldığı belirlenmiştir. Çalışmada en düşük yağ globül çapının 45°C'de 90 W ve 6 dak. ve 65°C'de 60 W ve 6 dak. ultrases uygulamalarında tespit edildiği en yüksek yağ globül çapı ise 25°C'de 30 W ve 3,5 dak. ultrases işleminde belirlenmiştir.

Ultrases işlemi ile yağ globüllerinin çapının küçülmesinin yanı sıra yağ globüllerini saran süt yağ globül membranının (MFGM) yapısının bozulması da gerçekleşmektedir. MFGM yapısının ultrases ile bozulması süt yağının lipolitik ve/veya oksidatif reaksiyonlara açık hale gelmesine neden olmaktadır. ultrases ses uygulamasıyla özellikle yağ oksidasyonun göstergesi olan pentanal, heksanal, heptanal gibi uçucu aldehitlerin miktarının artması ve lipaz aktivitesinin artması ile serbest yağ asitlerinin miktarının da sütte arttığı gözlenmiştir [25]. Engin ve Yüceer [26] yaptıkları bir çalışmada, 75 W'da 15 dak. ultrases uygulanmış süte bitiririk asit, pentanoik asit ve heksanoik asit miktarlarının ısıl işlem uygulanmış sütlerden (65°C'de 30 dak.) daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan diğer çalışmada [27], yüksek yoğunluklu ultrases uygulamasıyla sütte oluşan uçucu bileşenler belirlenmiştir. Buna göre; 45°C'de 400 W ultrases uygulaması süresinin artması ile sütte pentanal, hexanal ve heptanal gibi aldehitlerin yanında toluene, benzen, 1,3-

bütadien, 5-metil-1,3-siklopentadien ile 1-hekzen, 1-okten ve 1-nonen gibi alifatik 1-alkenlerin miktarının arttığı belirlenmiştir. Marchesini ve ark. [28] yaptıkları bir çalışmada ultrases uygulamasının güç ve süre değerlerinin artması ile sütteki serbest yağ asitlerinin miktarı (SYA) ve tiyobarbutirik asit sayısının (TBARS) arttığı, riboflavin miktarının ise azaldığını belirlemiştir. Diğer taraftan, ultrases uygulamasının karbondioksit ile uygulanmasıyla SYA miktarı ve TBARS sayısında önemli bir düşüşün meydana geldiği belirlenmiştir. Buna göre; araştırmacılar süte ultrases uygulamasının karbondioksit uygulaması ile yapılması ultrases ile oluşan oksidasyon ürünlerinin engellenebileceğini ifade etmişlerdir.

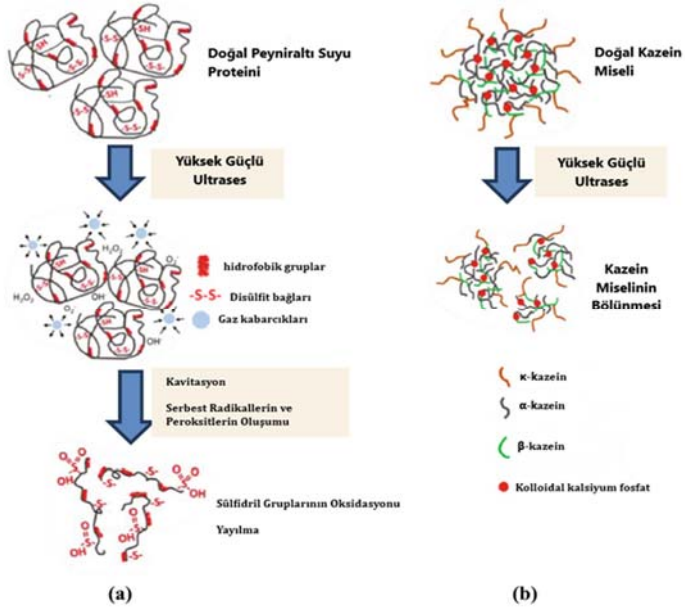
Ultrases uygulaması süt yağının kristal formlarının yapısına da etki etmektedir. Nitekim, yapılan bir çalışmada [29] farklı güçlerde yüksek yoğunluklu ultrases uygulamasının (50, 30, 20 ve 5 W) yağsız süt yağında yağ kristal oluşumunun süresini önemli düzeyde kısalttığı ve küçük yağ kristallerin oluşmasını sağladığı böylelikle süt yağının viskozitesinin arttığı belirlenmiştir. Gregersen ve ark. [30] yüksek yoğunluklu ultrases uygulamasının (40 W, 20 kHz ve 28°C) susuz süt yağında daha küçük kristal yapısını oluşturduğu ve yağ kristal oluşumunu artırdığını belirlemiştir. Ancak, ultrases uygulamasının süt yağın erime davranışına, sertliğine ve oksidasyonuna etki etmediğini belirlemiştir.

2.2. Proteinler

Gıda proteinlerinin moleküler yapısını değiştirme konusunda ultrases uygulamasının etkinliği çok iyi bilinmekte olup, son yıllarda yapılan çalışmalarda ultrasesin süt proteinleri üzerine etkileri kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Nitekim, ultrases uygulamasının peynir altı suyu proteinlerinde yapısal değişimlere neden olduğu açık bir şekilde belirlenmiştir. Ultrasesin, kazein proteini üzerindeki yapısal ve kimyasal etkilerinin araştırılması ise halen devam etmektedir. Ultrasesin süt proteinleri üzerine etkisi uygulanan ultrases gücüne bağlı olarak; a) yüksek güç düşük frekansta denatüre protein agregatlarının süspanسیون içinde dağılmasını ve çözünmesini sağlamak, b) düşük güç yüksek frekansta oluşan radikaller nedeniyle proteinlerin kimyasal yapısının değişmesi şeklinde ifade edilebilir. Söz konusu her iki etki sonucunda hem süt proteinlerinin çözünübilirlik, bulanıklık, köpük oluşturma, emülsifikasyon, jelleşme, reolojik ve tekstürel özellikler gibi proteinlerin teknolojik özelliklerinin değişimi hem de sindirilebilirlik, antioksidan, antihipertansif gibi biyolojik özellikleri değişmektedir [15, 31, 32].

Sütte bulunan kazein miselleri oldukça stabil molekül yapısına sahip olduğu kabul edilse de kazein molekülünün kompozisyonu ve büyüklüğü pH, sıcaklık ve süt proteinlerinin konsantrasyonuna bağlı olarak değişebilmektedir. Kazein üçüncül yapıya sahip olmadığı için klasik pastörizasyon uygulamasıyla yapısında önemli bir değişim meydana gelmezken, yüksek sıcaklıkta pastörizasyon veya sterilizasyon işlemleri sütte çözünebilir kalsiyumun çökmesine, kolloidal kalsiyum fosfatın çözünürlüğünü ve κ -kazein ve bazı α -kazeinlerin miselden ayrılmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan, yüksek ısı işlem ile serum proteinleri (β -laktoglobulin, α -laktalbumin) ve kazeinin agregat ve kompleks oluşturması meydana gelmektedir. Buna karşın, ultrases uygulamasıyla kazein miselinin doğal yapısında önemli bir değişim meydana gelmemektedir. Uygulanan ultrases işleminin gücüne göre kazein misellerinin boyutlarının küçülmesi ve diğer süt bileşenleri ile etkileşimleri değişmektedir (Şekil 3) [15, 32-34]. Bu çerçevede, yapılan bir çalışmada [35] farklı pH'larda hazırlanan kazeinin disperse solüsyonuna 20 kHz frekansta ve farklı güçlerde ultrases uygulamasının incelenen tüm pH değerlerinde solüsyonun bulanıklık değerini düşürdüğü ve solüsyondaki partikül boyutunu küçülttüğü belirlenmiştir Chandrapala ve ark. [36], ultrases uygulamasının kazein misellerinin bütünlüğü üzerine

etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, 20 kHz %50 genlik değerinde 31 W'lık 60 dak. ultrases uygulamasıyla yağsız sütte, rekonstitüye misel kazein ve kazein tozunda kazein molekülünün yapısında önemli bir değişim meydana getirmediği, ancak rekonstitüye edilmiş misel kazein ve kazein tozunda protein agregatlarının dağılımı ve çözünürlüğünü arttığı böylelikle misel kazein ve kazein tozuna ait solüsyonlarda bulanıklık ve viskozite değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. Rekonstitüye yağsız sütte düşük ve yüksek frekans ultrases uygulamasının ve pH'nın kazein ve peynir altı suyu proteinleri üzerine etkilerinin incelendiği çalışmada [37], pH ve düşük frekanslı ultrases uygulamasının kazein ve peynir altı suyu proteinlerinin sütteki fiziksel yapısını etkilediği belirlenmiştir. Buna göre, düşük frekans ultrases uygulamasının (20 kHz) yüksek frekans ultrases uygulamasına göre (1600kHz -20 kHz) süt serum fazına kazein miselinden daha yüksek oranda kazein proteinlerinin salınmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ultrases uygulanmış rekonstitüye yağsız sütte kazein misellerinden salınan proteinlerin daha küçük agregatlar oluşturduğu ancak yüzey yüklerinin doğal sütte bulunan kazein miselleriyle benzer olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, kazein jel sisteminde ultrases uygulamasının etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada [38], 20 kHz, 31 W ve 30 dak. düzeyinde bir ultrases işleminin miseller kazein solüsyonunda protein yüzey hidrofobisitesini artırdığı, ancak miseller kazeinin yüzey yükünü değiştirmedeği belirlenmiştir. Diğer taraftan, jel oluşturmak için tetra sodyum fosfat ilavesi gerçekleştirilmeden önce miseller kazein solüsyonuna ultrases uygulaması yapıldığında daha sıkı ve sağlam protein jel ağının oluştuğu ve kazein jelinde daha düşük sineresiz olayının meydana geldiği tespit edilmiştir [38].



Şekil 3. Yüksek güçlü ultrases uygulamasının serum (a) ve kazein (b) proteinleri üzerine etkisi (Carrillo-Lopez ve ark., [15])

β -laktoglobulin ve α -laktalbumin peynir altı suyunda bulunan temel proteinlerdir. Her iki protein de globüler yapıdadır. β -laktoglobulin iki disülfid bağı ve bir adet serbest tiyol grubu içerir. α -laktalbumin ise molekül içi 4 adet disülfid bağı içermektedir. α -laktalbumin'in denatürasyonu 65°C 'de gerçekleşirken, $50-90^{\circ}\text{C}$ 'de α -laktalbumin'in serbest tiyol grubunun konformasyonel değişimleri meydana gelmekte ve 70°C 'nin üstünde ise denatürasyonu gerçekleşmektedir. β -laktoglobulin yapısında serbest tiyol

gruplarının bulunması ve uygulanan farklı teknolojik işlemler sonucunda (ısıtma işlemi, yüksek basınç, ultrases, mekanik karıştırma ve çırpma vb.) proteinin kendi kendine agregasyon olma ve jel yapısı oluşturması gerçekleşmektedir. β -laktoglobulin tarafından oluşturulan jel yapısına α -laktalbumin de katılmaktadır. Bu nedenle, peynir altı suyu proteinlerinin kullanıldığı gıda formülasyonlarında su tutma, viskozite, emülsifikasyon, köpük oluşturma jelleşme gibi özellikler, α -laktalbumin ve β -laktoglobulinin yapısında meydana gelen değişimlerden birinci derecede etkilenmektedir. Bu çerçevede, peynir altı suyu proteinlerinin teknolojik/fonksiyonel işlevselliklerinin değiştirilmesinde ultrases teknolojisine araştırılmasına yönelik literatürde birçok çalışma bulunmaktadır [39-41]. Uygulanan ultrasesin yoğunluğuna göre peynir altı suyu proteinlerinde kimyasal olarak ikincil ve üçüncül yapıların bozulması, reaktif tiyol gruplarının indirgenmesi, sülfidril gruplarının oksidasyonu ve yüzey hidrofobitesinin yükselmesi gibi değişimler meydana gelmektedir. Cheng ve ark. [39] yaptıkları bir çalışmada, tek frekanslı ve eş zamanlı çift frekanslı ultrases uygulamalarının peynir altı suyu proteinlerinin α -heliks yapısında önemli bir azalma meydana getirdiği buna karşın peynir altı suyu proteinlerinin rastgele sarmal yapısında ise önemli bir artışa neden olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucunda peynir altı suyu proteinlerinin yapısında daha fazla triptofan kalıntısının açığa çıktığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan, tek frekanslı ultrases uygulaması ile peynir altı suyu protein jelinin sertlik değeri ve su tutma kapasitesinde önemli bir artışın meydana geldiği, eş zamanlı çift frekanslı ultrases uygulamasında ise her iki özellikte 10 dak. uygulama süresine kadar önemli bir artışın, 10 dak. uygulama süresinden daha uzun sürede ise önemli bir azalışın meydana geldiği tespit edilmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada [40], 1.20 mmol/L düzeyinde kalsiyum laktat içeren peynir altı suyu protein izolatu dispersiyonuna farklı güçlerde (0, 200, 400, 600 ve 800W) ultrases uygulanmasının dispersiyonda yüzey hidrofobitesi değerinde ve serbest sülfidril gruplarında önemli bir artışa neden olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, ultrases uygulaması ile dispersiyonun mikroyapısının önemli düzeyde değiştiği tespit edilmiştir. Ultrases işlemiyle dispersiyonun jel sıklığı ve emülsiyon stabilitesi değerlerinin arttığı, protein çözünürlüğünün ve emülsiyon aktivitesinin ise azaldığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, ultrases işlemi uygulanmış dispersiyonun 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikal söndürücü ve demir iyon indirgeyici antioksidan gücünün arttığı tespit edilmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada [41], peynir altı suyu protein konsantratinin farklı enzimlerle hidrolizinde farklı ön uygulamalarının etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, peynir altı suyu protein konsantratinin alkalaz, papain ve tripsin proteinleri hidrolizinde ultrases ön uygulamasının protein hidroliz derecesini önemli derecede artırdığı ve β -laktoglobulin antijenitesinin önemli derecede azaldığı belirlenmiştir.

Peynir altı suyu protein tozlarından elde edilen solüsyonlarda ultrases uygulaması ile protein agregatlarının çözünürlüğünün artması ve hidrasyon zamanının kısalması, agregat partikül boyutunun küçülmesi, köpüklenmenin artması ve peynir altı suyu proteinlerinin ısıl stabilitesinin artması da meydana gelmektedir [15,32,42-44]. Bu çerçevede yapılan bir çalışmada [43], yüksek yoğunluklu ultrases uygulamasının peynir altı suyu jellerinin fiziksel özelliklerine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, ultrases etkisinin peynir altı suyu izolatında bulunan α -laktalbumin içeriğinden önemli derece etkilendiği belirlenmiştir. Ultrases uygulanmış ve yüksek α -laktalbumin içeriğine sahip peynir altı suyu izolat solüsyonundan jel sıklığı ve su tutma kapasitesi daha yüksek jellerin elde edildiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Zisu ve ark. [45] yaptıkları bir çalışmada, 20 kHz'de 450 W gücünde %50 genlik değerinde peynir altı suyu protein konsantrat solüsyonuna uygulanan ultrases işleminin solüsyonda çözünmeyen agregatların boyutunu küçülttüğü ve böylece daha berrak bir solüsyon elde edildiği belirlenmiştir. Peynir altı suyu konsantrat solüsyonuna uygulanan ultrases işlemi ile ısı denatüre peynir altı konsantratu jelinde daha sıkı jel yapısının oluştuğunu, jelleşme zamanı ve sineresizin önemli derecede

azaldığı belirlenmiştir. Yapılan diğer çalışmada [46], düşük ve yüksek yoğunlukta ultrases uygulamasının peynir altı suyu protein konsantratu, peynir altı suyu protein izolatu ve peynir altı suyu protein hidrolizatının %10'luk süspansiyonlarında pH, elektrik iletkenlik, çözünürlük ve köpüklenme özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, peynir altı suyu protein konsantratu hariç diğer protein solüsyonlarında ultrases uygulamasıyla çözünürlüğün arttığı belirlenmiştir. Söz konusu durumun, peynir altı suyu konsantratındaki yüksek laktoz içeriğinden kaynaklandığı araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir. 20 kHz düzeyinde 15 dak. ultrases probuyla ve 40 kHz düzeyinde 15 dak. ultrases banyosunda yapılan ultrases uygulamalarının hem peynir altı suyu protein konsantratu hem de peynir altı suyu protein izolatlara ait solüsyonların köpüklenme kapasitesi ve köpük stabilitesini önemli derecede artırdığı; ultrases banyosuyla 40 kHz düzeyinde 15 dak. yapılan ultrases işlemi ile peynir altı suyu protein hidrolizatu solüsyonunda ise köpük stabilitesinin en yüksek değerde olduğu belirlenmiştir.

2.3. Karbonhidratlar

Birçok memeli hayvanın sütünde bulunan temel karbonhidrat laktozdur. Laktoz, özellikle fermente süt ürünlerinin üretiminde büyük önem taşımaktadır. Sütte bulunan laktoz gerçek çözelti halinde %4,4-5,2 oranında olup süt kuru maddesinin 1/3'ünü oluşturmaktadır [44]. Yapılan çalışmalarda; ultrases uygulamasının sütteki laktoz miktarında önemli bir değişim meydana getirmediği, ancak fermente süt ürünleri üretiminde laktozun hidrolizini hızlandırarak fermentasyon süresini kısalttığı belirlenmiştir [15, 47-49]. Cameron ve ark. [47] yaptıkları bir çalışmada, %100 genlik 20 kHz frekansta 5 ve 10 dak. boyunca uygulanan yüksek güç ultrases uygulamasının pastörize sütün laktoz miktarında önemli bir değişim meydana getirmediği, ancak çiğ süte aynı özelliklerde 15 dak. uygulanan ultrases uygulamasının sütün laktoz miktarını %4,80'dan %4,83'a önemli düzeyde artırdığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, söz konusu bu artışın istatistiksel açıdan önemli olsa da MilkoScan cihazıyla ile yapılan ölçümlerde %0,05 oranında olan dalgalanmanın kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan diğer çalışmada [48], 20°C ve 50°C 20 kHz frekansta 5 ve 15 dak. ultrases ve ısı ultrases uygulanmış manda sütü örneklerinin laktoz miktarları ile ultrases uygulanmamış çiğ manda sütünün laktoz miktarı arasında önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir. Buna karşın, Juraga ve ark. [49] yaptıkları bir çalışmada ultrases uygulamasının sütün laktoz içeriğinde önemli bir değişim meydana getirdiğini belirlemişlerdir. Buna göre, 200 W 24 kHz ve 55 °C'de ısı ultrases uygulaması yapılan sütlerin laktoz içeriğinin 72°C'de 15 sn. ısı işlem görmüş sütlerin laktoz içeriğine daha düşük olduğunu belirlemişlerdir.

Fermente süt ürünleri üretiminde ultrases uygulaması laktik asit bakterileri tarafından üretilen hücre içi enzim olan β -galaktosidazın hücre dışına kolayca çıkmasına ve laktozun hidrolizinin daha yüksek düzeyde gerçekleştirmesine neden olmaktadır. Böylece, fermente süt ürünlerinde laktik asit oluşumu ve fermentasyonun daha kısa sürede sonlanması gerçekleşmektedir [50,51]. Özellikle probiyotik fermente süt ürünlerinin üretiminde düşük güçte ultrases işlem ile probiyotik bakteri hücrelerinde oksijen, besin maddeleri ve bazı gelişme faktörlerinin kütle transferinin kolaylaşması gerçekleşmektedir. Böylece, probiyotik bakterilerinin gelişiminin teşvik edilmesi, probiyotik türüne özgü laktoz hidroliziyle farklı asitlerin üretimi, yüksek konsantrasyonda oligosakkaritlerin ve biyoaktif peptitlerin oluşumu gözlenmektedir [52]. Sakakibara ve ark. [53] yaptıkları bir çalışmada, %12 yağsız kuru maddeye sahip sterilize sütün *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* B-5b ile fermentasyonunda uygulanan ultrases işleminin laktoz hidrolizi ve mikrobiyal gelişim üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, 12 saat boyunca 12,9, 14,7 kW/m² 14,7 ve 17,2 kW/m² ultrases uygulamasında canlı hücre sayısının hemen azalmadığı ancak maksimum seviyeye ultrases uygulanmamış örneklerden daha kısa

sürede ulaştığı ve canlı hücre sayısındaki azalmanın uygulanan ultrasesin gücünün artması ile arttığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, 17,2 kW/m² gücünde ultrases uygulanmış süt örneğinde kontrol grubuna göre %19,4 oranında laktoz hidrolizinin daha fazla gerçekleştiği belirlenmiştir. Benzer şekilde, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* B-5b ve *L. helveticus* LH-17 ile inoküle edilmiş ve 17.2 kW/m² gücünde ultrases uygulanmış süt örneklerinde yaklaşık %75 oranında laktoz hidrolizinin gerçekleştiği, buna karşın ultrases uygulanmamış süt örneklerinde geleneksel fermentasyon koşullarında laktoz hidrolizinin %40'ın altında kaldığı belirlenmiştir [54]. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada [55], manda sütünden yoğurt üretiminde *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus bulgaricus*'un lag ve logaritmik gelişim fazlarında süte uygulanan ultrases işleminin β -galaktosidaz ve laktoz hidroliz üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, yoğurt bakterilerinin hem lag fazında (inokülasyondan hemen sonra) hem de logaritmik gelişim fazında (inokülasyondan 1 saat sonra) 234 W, 20 kHz ve 10 dak. ultrases uygulamasının yoğurt fermentasyonunda β -galaktosidaz aktivitesini önemli derece artırdığı belirlenmiştir. Çalışmada, logaritmik fazda süte 10 dak. ultrases uygulamasında 6 dak. ultrases uygulamasına göre %56.4 oranında daha fazla enzim aktivitesi gözlenmiştir. Lag fazında süte 6 dak. ultrases uygulaması ile laktoz hidrolizinin kontrol grubuna göre % 9.7 daha fazla gerçekleştiği, logaritmik fazda 2 dak. ve 10 dak. ultrases uygulamalarında ise kontrol grubuna göre laktoz hidrolizinin sırasıyla %2.3 ve %3.8 oranında daha yüksek gerçekleştiği tespit edilmiştir. Nguyen ve ark. [56] yaptıkları bir çalışmada, 20 kHz'lik yüksek yoğunluklu ultrases uygulamasının 4 farklı bifidobakter türünün inek sütünde fermentatif özelliklerini incelemiştir. Araştırmacılar, %50 genlik (~100 W), 20 kHz'de 15 dak. ultrases uygulanmış sütlerde *Bifidobacterium breve* ATCC 15700, *Bifidobacterium infantis*, *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis*'in fermentasyon süresi sırasıyla %22.5; %25.6 ve %11.5 oranında kıaldığı, ancak *Bifidobacterium longum*'un fermentasyon süresinin % 2.6'ı uzadığını belirlemişlerdir. 15 dak. ultrases uygulanmış sütlerde fermentasyon süresince en yüksek β -galaktosidaz aktivitesinin ve buna bağlı olarak en yüksek laktoz tüketiminin olduğu *B. animalis* ssp. *lactis* ile inoküle edilmiş süt örneklerinde olduğu tespit edilmiştir[56].

Gıda endüstrisinde laktoz, peynir üretiminden arta kalan peynir altı suyundan elde edilmektedir. Söz konusu üretim prosesi kısaca peynir altı suyunda bulunan laktozun kristallendirilmesi ve saflaştırmasını içermektedir. Bu kapsamda, ultrases uygulamasının laktoz kristalizasyonu üzerine etkisi de birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Yapılan çalışmalarda laktozun kristalizasyonunda ultrases uygulamasının işlem parametrelerine göre kristal çekirdeklenme hızını artırdığı ve kristalleşme indüksiyon zamanını kısalttığı tespit edilmiştir [44, 57]. Sánchez-García ve ark. [58] tarafından yapılan bir çalışmada farklı frekans ve ultrases gücünde laktoz kristallenmesi araştırılmıştır. Uygulanan ultrases gücü ve frekansına göre laktozun kristallenmesinde çekirdek oluşumunun değişiklik gösterdiği, 44 kHz (11,13 J/mL) frekansta uygulanan ultrases uygulamasıyla çekirdek oluşum sayısının yükseldiği ve çekirdek oluşumuna ait k değerinin 0,1482/sn.'ye arttığı ve laktoz çekirdek oluşum indüksiyon hızının ise 15 sn.'ye kıaldığı tespit edilmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada [59], 20 kHz frekansta 3 ile 16 J/mL güç düzeyinde konsatre peynir altı suyuna uygulanan ultrases uygulamasının laktoz kristalizasyonunu artırdığı ve laktoz kristaline ait çekirdeklenmenin artması ve böylece çok sayıda küçük laktoz kristali oluşumunun sağlandığı tespit edilmiştir. Dinçer ve ark. [60] yaptıkları bir çalışmada, sulu ortamda laktoz kristalizasyonuna yüksek güçlü ultrases uygulamasının etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, süper doymuş laktoz çözeltisine 0,46 W/g düzeyinde uygulanan ultrasesin laktoz çekirdeği oluşum hızının 300 rpm karıştırma prosesinde tespit edilen çekirdeği oluşum hızından önemli düzeyde daha yüksek olduğu belirlenirken kristal morfolojisinin her iki işlemde de benzer olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, süper doymuş laktoz solüsyonuna 3 dak. boyunca uygulanan ultrasesin laktoz kristalleşme

indüksiyon zamanını kısalttığı tespit edilmiştir. Patel ve Murthy [61], antisolvent ve ultrases uygulaması ile peynir altı suyundan laktoz geri kazanımının artırılabilceğini belirlemişlerdir. Buna göre, konvansiyonel işlemlerle laktoz geri kazanım oranı %55-60 oranı olduğu kabul edilirse, peynir altı suyuna 13,33 kW/m³sıvı düzeyinde 2 dak. ultrases uygulamasının %87,45 (w/w) oranında laktoz geri kazanımının gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir.

2.4. Enzimler

Sütte bulunan enzimler üzerine ultrasesin etkisi iki şekilde olmaktadır. Birinci etki, ultrases enzim ve substratı arasındaki etkileşimi artırmakta ve enzimatik reaksiyonda kütle transferini hızlandırarak enzimin biyolojik aktivitesini yükselmektedir. İkinci etki ise yüksek güce uygulanan ultrases işlemi enzimin yapısında bulunan van der Waals etkileşimlerini etkilemekte veya hidrojen bağlarını kopartarak enzimin ikincil veya üçüncül yapılarının konformasyonunu değiştirmektedir. Böylece, enzimin biyolojik aktivitesinde azalma meydana gelmektedir. Ultrases işlemi sonucunda oluşan aktif radikaller enzimdeki amino asit kalıntıları ile reaksiyona girerek enzimin stabilitesini veya katalitik etkisini de değiştirebilmektedir. Ayrıca, ultrases ile uygulanan ısı işlem (termo ultrases) ile enzimin denatüre olması gerçekleşebilmektedir [32, 51, 62]. Enzim aktivitesinin kontrolü için ultrases uygulamasının etkinliği enzim konsantrasyonu, sıcaklık, pH, ultrases uygulanan sıvının bileşimi, hacmi ve içerdiği gaz konsantrasyonu gibi faktörlere bağlı olmaktadır. Ultrases cihazındaki prob tipi, prob geometrisi, frekans aralığı ve enerji miktarı da enzim aktivitesinin değişiminde etkilidir. Ultrasesin gücü, frekansı ve uygulama süresi genlik değeri, sıcaklık ve basınç değerlerinin artması ile enzim aktivitesinde düşme meydana gelirken sıvı hacminin artması ile enzim inaktivasyonu azalmaktadır. Ultrases uygulanacak sıvının katı madde içeriği arttıkça enzim inaktivasyonu artarmakta, sıvıdaki enzim konsantrasyonu arttıkça ultrasesin enzim inaktivasyonundaki etkinliği azalmaktadır [34]. Literatürde, sütte doğal olarak bulunan veya süte sonradan bulaşan mikrobiyal kaynaklı ısıl dirençli enzimler üzerine ultrasesin etkisinin araştırıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda sütte bulunan enzimlerinin inaktivasyonu üzerine ultrasesin etkisinin ısı uygulaması olmadan düşük düzeyde kaldığı belirlenmiştir [34, 47, 63, 64]. Villamiel ve de Jong [63] yaptıkları bir çalışmada, sürekli yüksek ultrases sistemi ile ultrases uygulanmış yağsız ve tam yağlı sütlerde sütün doğal enzimleri olan alkali fosfataz, γ -glutamiltans peptidaz ve laktoperoksidaz aktivitelerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda sadece ultrases uygulanmış (20 kHz frekans, 120 μ m amplitüde, 102.3 sn.) yağsız sütlerde alkali fosfataz ve laktoperoksidaz enzimlerinin inaktivasyonu gerçekleşmediği, γ -glutamiltans peptidaz aktivitesinin ise %17,2 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Tam yağlı sütlerde ise alkali fosfataz, laktoperoksidaz ve γ -glutamiltans peptidaz enzimlerinin aktivitelerini sırasıyla %1,8, %22,1 ve %14,4 oranında kaybettiği belirlenmiştir. Buna karşın hem ultrases hem de ısıl işlemin uygulandığı (75,5°C) sistemde hem yağsız hem de tam yağlı sütlerde alkali fosfataz ve γ -glutamiltans peptidaz enzimlerinin inaktif hale geldiği, laktoperoksidaz enziminin aktivitesinin ise yağlı ve yağsız sütlerde sırasıyla %69,2 ve %52,8 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada [64], %80 genlik değeri ve 40°C'de süte uygulanan ultrases uygulaması ile alkali fosfataz ve laktoperoksidaz inaktivasyonunun en yüksek oranda sağlandığı belirlenmiştir. Cameron ve ark. [47], %100 genlik 20 kHz frekansta 5 ve 10 dak. boyunca uygulanan yüksek güç ultrases uygulamasının çiğ sütte alkali fosfataz ve laktoperoksidaz inaktivasyonun sağlamadığını tespit etmişlerdir.

Plazmin, süt orjinli en önemli nötr-alkali proteaz enzimi olup özellikle β -kazeini minör kazeinlere ve proteaz-peptonlara parçalamaktadır. Sütte pastörizasyon ile tamamen inaktif hale geçmediği, çok yüksek sıcaklık sterilizasyon (UHT) tekniğiyle üretilen sütlerde

ise sonra da aktif hale geçerek üründe pH'ya bağlı olarak jelleşmeye neden olduğu bildirilmektedir [65]. Viyakumar ve ark. [66] yağsız süt ve kremada toplam plazmin aktivitesi üzerine ısı ultrases ve ısı işlem uygulamalarının etkilerini inceldikleri çalışmada, 72°C'de 1 ve 2 dak. pastörize edilen sütlerde sırasıyla %24 ve %50 oranında enzim aktivitesinin azaldığı, farklı güçlerde ısı ultrases uygulamalarında ise (133 ve 152 µm 1 ve 3 dak. 20kHz, 65°C) %73-94 oranında enzim aktivitesinin azaldığı belirlenmiştir. 4°C'de 30 gün depolama sonunda ısı ultrases uygulanmış sütlerde plazmin aktivitesi çiğ sütte göre 5-10 kat artmasına rağmen %100 enzim aktivitesine ulaşılmadığı, buna karşın 72°C'de 1 ve 2 dak. pastörize edilmiş sütlerde ise çiğ süt başlangıç plazmin aktivitesinin sırasıyla % 100'ü ve % 300'ü üzerinde olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, ısı ultrases uygulanmış krema örneklerinde 30 gün depolama süresince plazmin aktivitesinin çiğ kremadaki plazmin aktivitesinin %10'unu kadar altında kaldığı, ısı işlem görmüş kremlarda ise çiğ kremadaki plazmin aktivitesinin %72'sine kadar arttığı belirlenmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada [67], 72°C'de 170 µm genlik değerinde (~140 W) 60 dak. ısı ultrases uygulamasının inek sütünün plazmin aktivitesinin % 90 üzerinde azalma meydana getirdiği, söz konusu plazmin aktivitesindeki azalmanın 72°C'de 15 sn. pastörizasyon normundan önemli derecede düşük olduğu belirlenmiştir. Çalışmada araştırmacılar, yüksek sıcaklık ultrases uygulamasının plazmin inaktivasyonunda daha etkili olduğu ve 75°C'de yapılan ultrases uygulamasında ise sütte plazmin aktivitesinin hemen hemen hiç belirlenmediğini ifade etmişlerdir.

2.5. Vitaminler ve Mineraller

Literatürde ultrases uygulamasının vitaminler üzerine etkileri ile ilgili yapılan çalışmalar çoğunlukla meyve ve meyve ürünlerinde vitamin C parçalanması veya ürünlerde geri alma (kazanım) miktarıyla ilgilidir. Yapılan çalışmalarda; ürünlerin fiziksel özelliği, kimyasal bileşimi ve uygulanan ultrases işleminin niteliğine bağlı olarak vitamin C'nin parçalanmasının veya geri alma (retention) miktarının çok çeşitli olduğu araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir [68-71]. Süt ve süt ürünlerinde ultrases uygulamasının sütte bulunan vitaminler üzerine ultrasesin etkisi hakkında yapılan çalışma sayısının son derece sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. Marchesini ve ark. [28] yaptıkları bir çalışmada, farklı genlik değerleri (%70-100) ve sürelerde (50-300 sn.) ultrases uygulanmış tam yağlı sütlerde ultrases genlik değerinin artması ile sütün vitamin E değerinde önemli bir azalmanın meydana geldiği, ancak A ve B₂ vitaminlerinde önemli bir değişim olmadığını belirlemişlerdir. Aynı çalışmada, süte CO₂ ve ultrasesin birlikte uygulanması ile sütün A, E ve B₂ vitaminlerinin miktarında önemli bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, insan sütüne 60°C'de 440 kHz, 100 W gücünde 4 dak. uygulanan ısı ultrases uygulamasıyla sütün retinol (vitamin A) içeriğinde önemli bir değişimin olmadığı, ancak ultrases uygulanmış sütlerin antioksidan aktivitesinin çiğ ve pastörize süte göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [72]. Razavi ve Esmailzadeh-Kamari [73] yaptıkları bir çalışmada, farklı ultrases uygulamalarının (280 W ultrasonik banyo, 350 W'da %50 ve %75 yoğunlukta ve 45-65°C sıcaklık) sütün tokoferol (Vitamin E), tiamin (vitamin B₁) ve riboflavin (vitamin B₂) miktarlarında çiğ süt ve 90°C'de 10 dak. ısı işleme göre önemli düzeyde azalma meydana getirdiğini, ancak retinol (Vitamin A) miktarında önemli bir değişimin olmadığını tespit etmişlerdir.

Sütün mineral dengesine ultrases uygulamasının etkisini araştırıldığı çalışmalar da çok kısıtlıdır. Konu hakkındaki çalışmalarda özellikle süt ve süt ürünlerinde çözünebilir kalsiyum miktarına ultrases uygulamasının etkisi üzerinde durulmaktadır [23, 36, 74]. Buna göre; yapılan bir çalışmada [74], taze pastörize süte 20 W ve 41 W gücünde 60 dak. süresince ultrases uygulamasının sütün çözünür kalsiyum miktarında önemli bir değişim meydana getirmediği belirlenmiştir. Benzer şekilde, Chandrapala ve ark. [36] 31 W ve %50

amplitüde değerinde farklı sürelerde uygulanan ultrases uygulamasının yağsız sütün çözünebilir kalsiyum miktarında ölçülebilir bir değişim meydana getirmediğini belirlemişlerdir. Türkmen [75] farklı güç, sıcaklık ve sürelerde süte uygulanan ultrasesin sadece ultrasesin uygulandığı sıcaklığın çözünebilir kalsiyum miktarında önemli değişimler meydana getirdiğini tespit etmiştir. Çalışmaya göre; ultrases işlem sıcaklığının 60°C olduğunda çözünür kalsiyum miktarında bir artışın meydana geldiği belirlenmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada [23], 72°C 15 sn. pastörize edilmiş keçi sütüne farklı güçlerde (150 W, 200 W, 300 W ve 400W, 10 dak.) ultrases uygulamasının sütün çözünür kalsiyum ve fosfor miktarında önemli bir değişimin meydana getirmediği belirlenmiştir.

3. Sonuç ve Öneriler

Günümüzde tüketicilerin gıda ürünleri hakkında beklentileri ve taleplerinin artması gıda üreticilerinin ise işleme verimliliğini artıran, enerji tüketimini azaltan ve güvenli ürünler üretebilen teknoloji arayışında olması gıda üretiminde temel olarak kullanılan ısıl işleme alternatif yenilikçi gıda işleme proseslerinin geliştirilmesine neden olmuştur. Geliştirilen yenilikçi gıda işleme proseslerinin ekonomik olarak uygulanabilirliği, gıda bileşenleri ve gıdaların kalite özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması yoğun bir şekilde devam etmektedir. Ultrases, süt ve süt ürünlerinin üretiminde yenilikçi gıda teknolojisi olarak kullanılma potansiyeli olan ve oldukça dikkat çeken bir uygulamadır. Halihazırda, ultrases uygulamasının süt bileşenleri üzerine etkilerinin ortaya konulmasına yönelik araştırmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Bu çerçevede, özellikle ultrases işleminin sütteki mineral dengesi ve vitaminleri üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Ultrases işleminin süt ve süt ürünlerindeki biyoaktif bileşenler ve bunların sindirim özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi, ultrases uygulaması ile süt ve süt ürünleri matrisinde sağlığa zarar verecek bileşiklerin oluşumunun araştırılması da önemli konular arasındadır.

Bilgilendirme

Bu çalışma Sanem Erdoğan tarafından hazırlanan “Ultrases Uygulamasının Sütün Bazı Vitaminleri Üzerine Etkisi” başlıklı yüksek lisans tezinin literatür özeti kısmından üretilmiştir. Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir. Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. SE, derlemenin araştırma ve yazma kısmında katkı sağlamıştır. OG çalışmanın konusunu seçme, araştırma, yazma, inceleme ve düzenleme aşamalarında danışman olarak katkıda bulunmuştur. Yazarlar arasında herhangi bir kişisel ve finansal çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

1. Scudino H, Silva EK, Gomes A, Guimaraes JT, Cunha RL, Sant'Ana AS, Meireles MAA, Cruz AG. Ultrasound stabilization of raw milk: Microbial and enzymatic inactivation, physicochemical properties and kinetic stability, *Ultrasonics Sonochemistry*, 2020;67:105185. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105185>
2. Ünal RN, Besler HT. Beslenmede sütün önemi, Sağlık Bakanlığı Yayın, 727. Ankara: Klasmat Matbaacılık; 2008. ISBN:978-975-590-243-2
3. Engin B, Güneşer O, Yüceer YK. Ultraviyole ışınlarının sütün mikrobiyal kalitesi üzerine etkisi, *Gıda*, 2009;34(5):303-308. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/gida/issue/6859/91913>
4. Bendicho S, Espachs A, Arantegui J, Martín O. Effect of high intensity pulsed electric fields and heat treatments on vitamins of milk, *Journal of Dairy*

- Research, 2002;69(1):113-123. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1017/S0022029901005258>
5. Moltó-Puigmartí C, Permanyer M, Castellote AI, López-Sabater MC. Effects of pasteurisation and high-pressure processing on vitamin C, tocopherols and fatty acids in mature human milk, *Food Chemistry*, 2011;124(3):697-702. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.079>
 6. Sierra I, Vidal-Valverde C. Vitamin B₁ and B₆ retention in milk after continuous-flow microwave and conventional heating at high temperatures, *Journal of food protection*, 2001;64(6):890-894. Erişim adresi: <https://doi.org/10.4315/0362-028X-64.6.890>
 7. Kilic-Akyilmaz M, Ozer B, Bulat T, Topcu A. Effect of heat treatment on micronutrients, fatty acids and some bioactive components of milk, *International Dairy Journal*, 2022;126:105231. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105231>
 8. Aday MS. Ultrasesin Gıda İşleme ve Muhafazasında Kullanımı, *MAS Journal of Applied Sciences*, 2021;6(3):661-684. Erişim adresi: <https://doi.org/10.52520/masjaps.116>
 9. İçier F, Baysal T. Gıda teknolojisinde minimal işleme, In: Baysal T, İçier F. *Gıda Mühendisliğinde Isıl Olmayan Teknolojiler*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.; 2012. p. 1-11.
 10. Gunecer O, Yuceer YK. Effect of ultraviolet light on water-and fat-soluble vitamins in cow and goat milk, *Journal of Dairy Science*, 2012;95(11):6230-6241. Erişim adresi: <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5300>
 11. Liu Y, Xiong L, Kontopodi E, Boeren S, Zhang L, Zhou P, Hettinga K. Changes in the milk serum proteome after thermal and non-thermal treatment, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2020;66:102544. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102544>
 12. Qin S, Li P, Liang G, Liu J, Huang S, Meng J. Pulsed electric field treatment of raw milk and its effect on protein-free amino acids transition, *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2022;50(4):911-919. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1109/TPS.2022.3151827>
 13. Abrahamsen RK, Narvhus JA. Can ultrasound treatment replace conventional high temperature short time pasteurization of milk? A critical review, *International Dairy Journal*, 2022;131:105375. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105375>
 14. Bermudez-Aguirre D. Sonochemistry of foods. In: Bermudez-Aguirre D. *Ultrasound: Advances for Food Processing and Preservation*. San Diego, CA, USA: Academic Press; 2017. p.131-143. ISBN: 978-0-12-804581-7
 15. Carrillo-Lopez LM, Garcia-Galicia IA, Tirado-Gallegos JM, Sanchez-Vega R, Huerta-Jimenez M, Ashokkumar M, Alarcon-Rojo AD. Recent advances in the application of ultrasound in dairy products: Effect on functional, physical, chemical, microbiological and sensory properties, *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021;73:105467. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105467>
 16. Li W, Gamlath CJ, Pathak R, Martin GJ, Ashokkumar M. Ultrasound—the physical and chemical effects integral to food processing, In: Knoerzer K, Kasiviswanathan M. *Innovative Food Processing Technologies A Comprehensive Review*. Cambridge MA 02139, United State: Elsevier Inc; 2021. p. 329-358. ISBN:978-0-12-815782-4

17. Chandrapala J, Ong L, Zisu B, Gras SL, Ashokkumar M, Kentish SE. The effect of sonication and high pressure homogenisation on the properties of pure cream, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2016;33:298-307. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.023>
18. Ertugay MF, Şengül M, Şengül M. Effect of ultrasound treatment on milk homogenisation and particle size distribution of fat, *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 2004;28(2):303-308. Erişim adresi: <https://journals.tubitak.gov.tr/veterinary/vol28/iss2/9/>
19. Akdeniz V, Akalın AS. The effect of high power ultrasound on the milk homogenization efficiency and milk fat globule size compared to conventional homogenization, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 2020;8(1):252-259. Erişim adresi: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i1.252-259.2830>
20. Karlović S, Bosiljkov T, Brnčić M, Semenski D, Dujmić F, Tripalo B, Ježek D. Reducing fat globules particle-size in goat milk: ultrasound and high hydrostatic pressures approach, *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 2014;28(4):499-507.
21. Villamiel M, de Jong P. 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*, 2000;48(2):472-477. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1021/jf990181s>
22. Li W, Gamlath CJ, Pathak R, Martin GJ, Ashokkumar M. Ultrasound—the physical and chemical effects integral to food processing, In: Knoerzer K, Kasiviswanathan M. *Innovative Food Processing Technologies A Comprehensive Review*. Cambridge MA 02139, United State: Elsevier Inc; 2021. p. 329-358. ISBN:978-0-12-815782-4
23. Ragab ES, Lu J, Pang XY, Nassar KS, Yang BY, Zhang SW, Lv JP. Effect of thermosonication process on physicochemical properties and microbial load of goat's milk, *Journal of Food Science and Technology*, 2019;56(12):5309-5316. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04001-3>
24. Khashaninejad M, Razavi SMA. Influence of thermosonication treatment on the average size of fat globules, emulsion stability, rheological properties and color of camel milk cream, *LWT*, 2020;132:109852. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109852>
25. Liu Y, Boeren S, Zhang L, Zhou P, Hettinga K. Ultrasonication retains more milk fat globule membrane proteins compared to equivalent shear-homogenization, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2021;70:102703. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102703>
26. Engin B, Karagul Yuceer Y. Effects of ultraviolet light and ultrasound on microbial quality and aroma-active components of milk, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2012;92(6):1245-1252. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.4689>
27. Riener J, Noci F, Cronin DA, Morgan DJ, Lyng JG. Characterisation of volatile compounds generated in milk by high intensity ultrasound, *International Dairy Journal*, 2009;19(4):269-272. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.10.017>
28. Marchesini G, Balzan S, Montemurro F, Fasolato L, Andrighetto I, Segato S, Novelli E. Effect of ultrasound alone or ultrasound coupled with CO₂ on the chemical composition, cheese-making properties and sensory traits of raw milk, *Innovative*

- Food Science & Emerging Technologies, 2012;16:391-397. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.09.003>
29. Martini S, Suzuki AH, Hartel RW. Effect of high intensity ultrasound on crystallization behavior of anhydrous milk fat, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2008;85(7):621-628. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1007/s11746-008-1247-5>
30. Gregersen SB, Frydenberg RP, Hammershøj M, Dalsgaard TK, Andersen U, Wiking L. Application of high intensity ultrasound to accelerate crystallization of anhydrous milk fat and rapeseed oil blends, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2019;121(1):1800200. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800200>
31. Corzo-Martínez M, Villamiel M, Moreno FJ. Impact of high-intensity ultrasound on protein structure and functionality during food processing, In: Villamiel M, Montilla A, García-Pérez JV, Cárcel JA, Benedito J. *Ultrasound in Food Processing*, John Wiley & Sons Ltd; 2017. p. 417-436. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1002/9781118964156.ch16>
32. Munir M, Nadeem M, Qureshi TM, Leong TS, Gamlath CJ, Martin GJ, Ashokkumar M. Effects of high pressure, microwave and ultrasound processing on proteins and enzyme activity in dairy systems—A review, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2019;57:102192. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102192>
33. Nunes L, Tavares GM. Thermal treatments and emerging technologies: Impacts on the structure and techno-functional properties of milk proteins, *Trends in Food Science & Technology*, 2019;90:88-99. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.004>
34. Chandrapala J. Ultrasound Processing of Milk and Dairy Products. In: Ashokkuma M. *Handbook of Ultrasonics and Sonochemistry*. Singapore: Springer; 2016. p 1287–1320. Erişim adresi: https://doi.org/10.1007/978-981-287-278-4_66
35. Madadlou A, Mousavi ME, Emam-djomeh Z, Ehsani M, Sheehan D. Sonodisruption of re-assembled casein micelles at different pH values, *Ultrasonics Sonochemistry*, 2009;16(5):644-648. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2008.12.018>
36. Chandrapala J, Martin GJO, Zisu B, Kentish SE, Ashokkumar M. The effect of ultrasound on casein micelle integrity, *Journal of Dairy Science*, 2012;95(12):6882-6890. Erişim adresi: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5318>
37. Liu Z, Juliano P, Williams RP, Niere J, Augustin MA. Ultrasound effects on the assembly of casein micelles in reconstituted skim milk, *Journal of Dairy Research*, 2014;81(2):146-155. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1017/S0022029913000721>
38. Chandrapala J, Zisu B, Kentish S, Ashokkumar M. Influence of ultrasound on chemically induced gelation of micellar casein systems, *Journal of Dairy Research*, 2013;80(2):138-143. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1017/S0022029912000696>
39. Cheng Y, Donkor PO, Ren X, Wu J, Agyemang K, Ayim I, Ma H. Effect of ultrasound pretreatment with mono-frequency and simultaneous dual frequency on the mechanical properties and microstructure of whey protein emulsion gels, *Food Hydrocolloids*, 2019;89:434-442. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.007>

40. Jiang Z, Yao K, Yuan X, Mu Z, Gao Z, Hou J, Jiang L. Effects of ultrasound treatment on physico-chemical, functional properties and antioxidant activity of whey protein isolate in the presence of calcium lactate, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018;98(4):1522-1529. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8623>
41. Hamdy AM, Mohran MA, Hassan AI, Fahmy MA. Effects of heat, ultrasound and microwave pretreatments on the antigenicity of whey protein concentrate (β -lactoglobulin), *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 2018;49:75-87. Erişim adresi: <https://dx.doi.org/10.21608/ajas.2018.28370>
42. Huppertz T, Vasiljevic T, Zisu B, Deeth H. Novel processing technologies: Effects on whey protein structure and functionality. In: Deeth H, Bansal N. *Whey Proteins*. Academic Press; 2019. p. 281-334. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812124-5.00009-6>
43. Frydenberg RP, Hammershøj M, Andersen U, Wiking L. High intensity ultrasound effects on heat-induced whey protein isolate gels depend on α -lactalbumin: β -lactoglobulin ratio, *International Dairy Journal*, 2016;56:1-3. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.01.005>
44. Zisu B, Chandrapala J. High power ultrasound processing in milk and dairy products. In: Datta N, Tomasula PM. *Emerging Dairy Processing Technologies: Opportunities for the Dairy Industry*. John Wiley & Sons, Ltd.; 2015. p. 149-180. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1002/9781118560471.ch6>
45. Zisu B, Lee J, Chandrapala J, Bhaskaracharya R, Palmer M, Kentish S, Ashokkumar M. Effect of ultrasound on the physical and functional properties of reconstituted whey protein powders, *Journal of Dairy Research*, 2011;78(2):226-232. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1017/S0022029911000070>
46. Jambak AR, Mason TJ, Lelas V, Herceg Z, Herceg IL. Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions, *Journal of Food Engineering*, 2008;86(2):281-287. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.10.004>
47. Cameron M, McMaster LD, Britz TJ. Impact of ultrasound on dairy spoilage microbes and milk components, *Dairy Science & Technology*, 2009;89(1):83-98. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1051/dst/2008037>
48. Naeim MA. Impact of ultrasonic on some physiochemical and technological properties of raw milk, *Journal of Food and Dairy Sciences*, 2019;10(10):397-401. Erişim adresi: <https://dx.doi.org/10.21608/jfds.2019.67436>
49. Juraga E, Vukušić Pavičić T, Gajdoš Kljusurić J, Brnčić M, Juraga T, Herceg Z. Properties of milk treated with high-power ultrasound and bacto-fugation, *Food Technology and Biotechnology*, 2021;59(1):92-102.
50. Akdeniz V, Akalin AS. Recent advances in dual effect of power ultrasound to microorganisms in dairy industry: activation or inactivation, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022;62(4):889-904. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1830027>
51. Huang G, Chen S, Dai C, Sun L, Sun W, Tang, Y, Xiong F, He R, Ma H. Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity, *Ultrasonics Sonochemistry*, 2017;37:144-149. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.018>
52. Guimarães, JT, Balthazar CF, Scudino H, Pimentel TC, Esmerino EA, Ashokkumar M, Freitas MQ, Cruz AG. High-intensity ultrasound: A novel technology for the development of probiotic and prebiotic dairy products, *Ultrasonics*

- Sonochemistry, 2019;57:12-21. Erişim adresi:
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.05.004>
53. Sakakibara M, Wang D, Ikeda K, Suzuki K. Effect of ultrasonic irradiation on production of fermented milk with *Lactobacillus delbrueckii*, Ultrasonics Sonochemistry, 1994;1(2):S107-S110. Erişim adresi:
[https://doi.org/10.1016/1350-4177\(94\)90007-8](https://doi.org/10.1016/1350-4177(94)90007-8)
54. Wang D, Sakakibara M. Lactose hydrolysis and β -galactosidase activity in sonicated fermentation with *Lactobacillus* strains, Ultrasonics Sonochemistry, 1997;4(3):255-261. Erişim adresi:
[https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(96\)00042-9](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(96)00042-9)
55. Abesinghe AMNL, Vidanarachchi JK, Islam N, Karim MA. Effects of ultrasound on the fermentation profile and metabolic activity of lactic acid bacteria in buffalo's (*Bubalus bubalis*) milk, Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2022;79:103048. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103048>
56. Nguyen TMP, Lee YK, Zhou W. Stimulating fermentative activities of bifidobacteria in milk by highintensity ultrasound, International Dairy Journal, 2009;19(6-7):410-416. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.02.004>
57. Chandrapala J, Zisu B. Ultrasound technology in dairy processing. In: Ultrasound Technology in Dairy Processing. SpringerBriefs in Molecular Science(). Cham: Springer; 2018. Erişim adresi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93482-2_1
58. Sánchez-García YI, Ashokkumar M, Mason TJ, Gutiérrez-Méndez N. Influence of ultrasound frequency and power on lactose nucleation, Journal of Food Engineering, 2019;249:34-39. Erişim adresi:
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.01.007>
59. Zisu B, Sciberras M, Jayasena V, Weeks M, Palmer M, Dincer TD. Sonocrystallisation of lactose in concentrated whey, Ultrasonics Sonochemistry, 2014;21(6):2117-2121. Erişim adresi:
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.03.031>
60. Dincer TD, Zisu B, Vallet CGMR, Jayasena V, Palmer M, Weeks M. Sonocrystallisation of lactose in an aqueous system, International Dairy Journal, 2014;35(1):43-48. Erişim adresi:
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.10.001>
61. Patel SR, Murthy ZP. Ultrasound assisted crystallization for the recovery of lactose in an anti-solvent acetone, Crystal Research and Technology: Journal of Experimental and Industrial Crystallography, 2009;44(8):889-896. Erişim adresi:
<https://doi.org/10.1002/crat.200900227>
62. Mawson R, Gamage M, Terefe NS, Knoerzer K. Ultrasound in enzyme activation and inactivation. In: Feng H, Barbosa-Canovas G, Weiss J. Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing. Food Engineering Series. New York: Springer; 2011. p. 369-404. Erişim adresi: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7472-3_14
63. Villamiel M, de Jong P. 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, 2000;48(2):472-478. Erişim adresi:
<https://doi.org/10.1021/jf990181s>
64. Ertugay MF, Yüksel Y, Sengül M. The effect of ultrasound on lactoperoxidase and alkaline phosphatase enzymes from milk, Milchwissenschaft-Milk Science International, 2003;58:593-595.
65. Chavan RS, Chavan SR, Khedkar CD, Jana AH. UHT milk processing and effect of plasmin activity on shelf life: A review, Comprehensive Reviews in Food Science

- and Food Safety, 2011;10:251-268. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00157.x>
66. Vijayakumar S, Grewell D, Annandarajah C, Benner L, Clark S. Quality characteristics and plasmin activity of thermosonicated skim milk and cream, *Journal of Dairy Science*, 2015;98(10):6678-6691. Erişim adresi: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9429>
67. Annandarajah C, Grewell D, Talbert JN, Raman DR, Clark S. Batch thermosonication for the reduction of plasmin activity in skim milk, *Journal of Food Processing and Preservation*, 2018;42(5):e13616. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13616>
68. Nogueira NH, Lima DC, Fonteles TV, Rodrigues S. Influence of different non-thermal processing on guava, orange, and tangerine juices and the food matrix effects, *Food and Bioprocess Technology*, 2021;14(9):1662-1672. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13616>
69. Schuina GL, Moraes VP, Silva PI, Carvalho RV. Effect of thermosonication on pectin methylesterase activity and on quality characteristics of orange juice, *Revista Ciência Agronômica*, 2021;52(04). Erişim adresi: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210055>
70. Suo G, Zhou C, Su W, Hu X. Effects of ultrasonic treatment on color, carotenoid content, enzyme activity, rheological properties, and microstructure of pumpkin juice during storage, *Ultrasonics Sonochemistry*, 2022;84:105974. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.105974>
71. Zhu D, Zhang Y, Kou C, Xi P, Liu H. Ultrasonic and other sterilization methods on nutrition and flavor of cloudy apple juice, *Ultrasonics Sonochemistry*, 2022;84:105975. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.105975>
72. Parreiras PM, Nogueira JAV, da Cunha LR, Passos MC, Gomes NR, Breguez GS, Menezes, Falco TS, Bearzoti E, Menezes CC. Effect of thermosonication on microorganisms, the antioxidant activity and the retinol level of human milk, *Food Control*, 2020;113:107172. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107172>
73. Razavi R, Esmailzadeh KR. Comparative effect of thermo sonication and conventional heat process on lipid oxidation, vitamins and microbial count of milk, *Journal of Food Researches*, 2020;30(1):167-182.
74. Shanmugam A, Chandrapala J, Ashokkumar M. The effect of ultrasound on the physical and functional properties of skim milk, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2012;16:251-258. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.06.005>
75. Türkmen F. Yüksek Güçlü Ultrases İşleminin Sütün Fizikokimyasal Ve Jelleşme Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2012. Erişim adresi: <http://hdl.handle.net/11527/2268>
76. Pirsahab M, Moradi N. Sonochemical degradation of pesticides in aqueous solution: investigation on the influence of operating parameters and degradation pathway—a systematic review, *RSC advances*, 2020;10(13):7396-7423. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1039/C9RA11025A>