



The Effect of High Power Ultrasound on the Milk Homogenization Efficiency and Milk Fat Globule Size Compared to Conventional Homogenization

Vildan Akdeniz^{1,a,*}, A. Sibel Akalın^{1,b}

¹Department of Dairy Technology, Faculty of Agriculture, Ege University, 35100 Izmir, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 15/07/2019 Accepted : 27/11/2019</p> <p>Keywords: Ultrasound Milk fat globule size Homogenization Homogenization efficiency Microscopic imaging</p>	<p>Milk fat globule size significantly affects the quality of dairy products, especially sensorial and rheological properties. For this reason, homogenization process is applied in the production of many dairy products to reduce milk fat globule size. In this study, the effect of ultrasonic homogenization application at 4 different power (90W, 180W, 300W and 400W) for 15 minutes on milk fat globule size and homogenization efficiency compared to conventional single stage homogenization at 150 bar pressure and two stage homogenization at 150/50 bar pressure was examined. Dv 0.99, Dv 0.90 and Dv 0.50 volumetric diameter values in micrometer (μm) and milk fat globule sizes in nanometer (nm) by laser diffraction devices and homogenization efficiency values in percent of the milk samples homogenized by different methods were determined. Microscopic imaging of milk fat globules was also performed in all milk samples. The ultrasound process was found more effective in reducing milk fat globule diameters than both single stage and two stage conventional homogenization. The efficiency in the reduction of milk fat globule diameters increased with the increase in the power of the ultrasound process and the maximum reduction in fat globule size was determined at 400W ultrasound application for 15 minutes.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(1): 252-259, 2020

Klasik Homojenizasyona Kıyasla Yüksek Enerjili Ultrason Uygulamasının Sütün Homojenizasyon Etkinliğine ve Süt Yağ Globül Boyutuna Etkisi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 15/07/2019 Kabul : 27/11/2019</p> <p>Anahtar Kelimeler: Ultrason Süt yağ globül boyutu Homojenizasyon Homojenizasyon etkinlik değeri Mikroskobik görüntüleme</p>	<p>Sütün yağ globül boyutu, süt ürünlerinin kalitesini özellikle duyuusal ve reolojik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sebeple pek çok süt ürününün üretiminde yağ globüllerini küçültmek amacıyla homojenizasyon işlemi uygulanmaktadır. Bu çalışmada, 4 farklı güçte (90W, 180W, 300W ve 400W) 15 dakika süreyle süte uygulanan ultrasonik homojenizasyon işleminin 150 bar basınçta tek kademeli klasik homojenizasyona ve 150/50 bar basınçta çift kademeli klasik homojenizasyona kıyasla yağ globül boyutuna ve homojenizasyon etkinliği üzerine etkisi incelenmiştir. Farklı metotlarla homojenize edilen süt örneklerinin homojenizasyon etkinlik değeri % olarak, lazer kırınımı prensibiyle çalışan cihazlarla Dv 0,99, Dv 0,90, Dv 0,50 hacimsel çap değerleri mikrometre (μm) olarak ve süt yağ globül boyutları nanometre (nm) olarak belirlenmiştir. Ayrıca tüm süt örneklerinde yağ globüllerinin mikroskobik görüntülenmesi gerçekleştirilmiştir. Ultrason işleminin hem tek kademe hem de çift kademe klasik homojenizasyon işlemine göre süt yağ globül çaplarını küçültmede daha etkili olduğu belirlenmiştir. Uygulanan ultrason işleminin gücü arttıkça süt yağ globül çaplarını küçültme etkinliği de artmış ve yağ globül boyutundaki en fazla küçülme 400W 15 dakika ultrason uygulamasında saptanmıştır.</p>

^a vildankucukakdeniz@gmail.com | ^b sibel.akalin@ege.edu.tr | ^c <https://orcid.org/0000-0003-1137-7594>



Giriş

Homojenizasyon, mekanik bir kuvvet ile sütün yağ globül çaplarının küçültülerek ürün içerisinde homojen bir şekilde dağılmasını sağlayan önemli teknolojik bir işlemdir. Sütte yağ globülleri 1-10 µm çapında olup emülgatör olarak görev yapan 5-10 nm kalınlığında fosfolipid-protein kompleksinden oluşan bir membran ile çevrilidir. Membranda bulunan aglutininlerin reaksiyonları ve ara yüzey gerilimi gibi sebeplerle süt yağ globülleri birleşmeye meyillidir. Birçok süt ürününün fiziko-kimyasal, duyu ve reolojik özellikleri içerdiği yağ globüllerinin boyutundan ve dağılımından önemli ölçüde etkilenmektedir (Ergin ve ark., 2017; Sfakianakis ve Tzia, 2014).

Homojenizasyon, süt sanayinde özellikle pastörize ve UHT içme sütü teknolojisi ile koyulaştırılmış süt teknolojisinde kaymak bağlamayı önlemek için kullanılsa da bunun yanında fermente süt ürünleri gibi pek çok süt ürününde tat ve aromayı iyileştirip homojen hale getirmek, su tutma kapasitesini ve viskoziteyi artırmak, serum ayrılmasını azaltmak gibi ürünün kalitesini etkileyen özelliklerini de iyileştirmektedir. Homojenizasyonun bu etkisi süt yağ globüllerinin toplam yüzey alanını arttırmamasından kaynaklanmaktadır (Akdeniz ve Akalın, 2017; Tamuçay Özünü ve Koçak, 2010).

Ultrason, insan duyma eşiğinin (>20 kHz) üzerindeki frekandaki ses dalgaları olarak tanımlanmakta olup (Awad ve ark., 2012; Shershenkov ve Suchkova, 2015; Soria ve Villamiel, 2010) süt teknolojisinde 20 ile 40 kHz frekans aralığında ve 10W/cm²'in üzerindeki yoğunluklarda yüksek enerjili ultrason uygulamaları kullanılmaktadır (Akdeniz ve Akalın, 2019; Ashokkumar, 2015). Güvenli, nispeten ucuz, basit, hızlı, enerji tasarrufu sağlayan ve toksik etkisi bulunmayan ses dalgalarından oluşan ultrason uygulamaları ayrıca yeşil teknoloji olarak adlandırılan çevre dostu bir uygulama olduğundan süt teknolojisinde gelecek vaat etmekte ve tüketicilerin de ilgisini çekmektedir (Arzeni ve ark., 2012).

Ses enerjisi sıvı ortamda boylamsal dalgalar halinde yayılırken oluşan basınç farkı nedeniyle gaz baloncukları genişleyip daralmaktadır (Chandrapala ve ark., 2011; Knorr ve ark., 2004; Riener ve ark., 2009). Gaz baloncukları daha fazla enerji absorblayamayacak hacme ulaştıklarında yüksek sıcaklık ve yüksek basınç bölgeleri oluşturan patlamalar meydana gelerek sıvı ürünlerde bir dizi kimyasal ve fiziksel değişimler oluşmaktadır (Akdeniz ve Akalın, 2017; Pingret ve ark., 2013; Gao ve ark., 2014). Ultrason işleminin sebep olduğu akustik kaviteasyon süt gibi ürünlerde akustik akış, şok dalgaları, mikro jetler, türbülans ve kayma kuvveti gibi bazı kuvvetler meydana getirmektedir (Soria ve Villamiel, 2010; Ashokkumar, 2011; Chandrapala ve ark., 2012). Bu kuvvetler, birbiriyle çarpışma ve büyüme eğiliminde olan süt yağ globüllerini parçalayarak ortalama globül çaplarını etkili derecede küçültmektedirler (Chandrapala ve ark., 2016; Paniwnyk, 2017; Sfakianakis ve Tzia, 2014). Ayrıca klasik homojenizatörler gerek yatırım maliyeti gerekse bakım maliyeti yüksek ekipmanlardır. Yüksek basınç uygulamasını sağlayan homojenizasyon valfleri zamanla aşınmakta ve periyodik olarak değiştirilmeleri gerekmektedir ki bu da bakım maliyetini arttıran önemli bir faktördür. Bunun yanında ultrasonik homojenizatörlerin

temizleme kolaylığı da bulunmaktadır. Ultrasonik homojenizatörler hem yatırım hem bakım maliyeti açısından klasik homojenizatörlere göre önemli avantajlara sahiptir ve süt teknoloji açısından önemi giderek artmaktadır (Shershenkov ve Suchkova, 2015).

Yapılan çalışmalar ultrasonik homojenizasyonun sütlerde yağ globül boyutlarını klasik homojenizasyona göre belirgin şekilde küçülttüğünü göstermektedir. Bazı araştırmacılar, süt yağ globül boyutunu yağlı objektif yerleştirilmiş mikroskop ile belirledikleri çalışmalarında farklı güçlerde ve sürelerde ultrason uygulamalarını karşılaştırmışlar ve güç seviyesi ile işlem süresi arttıkça homojenizasyon etkinliğinin arttığını, yağ globülleri boyutunun küçüldüğünü saptamışlardır (Wu ve ark., 2001; Ertugay ve ark., 2004; Şengul ve ark., 2009).

Yapılan bu çalışmada ise, çiğ süte uygulanan tek kademeli (150 bar) ve çift kademeli (150/50 bar) klasik homojenizasyon ile 90W, 180W, 300W ve 400W olmak üzere 4 farklı güçte 15 dakika ultrason uygulamasının homojenizasyon etkinliği ve süt yağ globül boyutu üzerine etkisi karşılaştırılmalı olarak belirlenmiştir. Süt yağ globül boyutları mikroskop yerine lazer kırınımı prensibiyle çalışan cihazlar (Mastersizer ve Zetasizer) ile ölçülmüş ve nm boyutunda sonuçlar elde edilerek daha etkili bir şekilde karşılaştırma yapılmıştır.

Materyal ve Metot

Materyal

Çalışmada kullanılan çiğ inek sütü Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü'nden tedarik edilerek 60°C'ye ısıtılmıştır. İki kısım klasik homojenizasyon, dört kısım ultrasonik homojenizasyon için ve bir kısım işlem görmemiş çiğ süt olmak üzere 7 kısma ayrılmıştır.

Süt Analizleri

Sütte yağ oranı Gerber yöntemiyle (Anonim, 1995), asitlik titrasyon yöntemiyle % laktik asit cinsinden (AOAC, 2002), kurumadde miktarı gravimetrik olarak (AOAC, 1997) ve pH değeri Microprocessor pH-meter (Hanna Instruments, USA) ile belirlenmiştir. Toplam azot miktarı Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiş olup protein değeri azot miktarının 6,38 katsayısı ile çarpılması ile hesaplanmıştır (AOAC, 1997).

Klasik Homojenizasyon

İki kısım kontrol örneği Rannie homojenizatör (APV, Denmark) ile 150 barda tek kademeli ve 150/50 barda çift kademeli olarak 60°C'de homojenize edilmiştir.

Ultrasonik Homojenizasyon

Dört kısım süt ise 13 mm'lik titanyum proba sahip, 20 kHz sabit frekansta çalışan Nanolinker NL400 Ultrasonik Homojenizatör ile (Geotek, Türkiye) 60°C'de 90W, 180W, 300W ve 400W güçlerde 15 dakika homojenize edilmiştir. Ultrason probu, behere konan 250 mL'lik süt örneklerine 30 mm'lik bir derinliğe kadar daldırılmıştır. İşlem boyunca süt örneklerinin sıcaklığı kontrol edilmiştir.

Süt Yağ Globüllerinin Boyut Dağılımının Belirlenmesi

Homojenize edilen süt örneklerinde ve işlem görmemiş çiğ inek sütünde yağ globül boyutları hem lazer kırınımı prensibiyle çalışan Mastersizer 3000 (Malvern Instruments, UK) cihazı ile hem de 1 µm'nin altındaki boyutları da ölçebileceğimiz Zetasizer Nano ZS (Nanosizer, Malvern Instruments, UK) cihazı ile belirlenmiştir.

Mastersizer 3000 (Malvern Instruments, UK) cihazında, lazer kırınım içinde ultra saf su bulunan cihaz ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Kazein misellerini ve agregatlarını ayırmak için her örnek 35 mM EDTA/NaOH, pH 7,0 tampon çözeltisi ile hacimce 1:1 oranında seyreltilmiştir (Riener ve ark., 2009; Vijayakumar ve ark., 2015). Yapılan yağ globül boyutu analizi sonucunda süt örneklerinin Dv 0,99, Dv 0,90 ve Dv 0,50 hacimsel çap değerleri mikrometre (µm) olarak tespit edilmiştir. Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments, UK) cihazında ise yağ globül boyutlarını belirlemek için her örnek 35 mM EDTA/NaOH, pH 7,0 tampon çözeltisi ile hacimce 1:10 oranında seyreltilmiştir (Chandrapala ve ark., 2012). Analiz sonucunda süt örneklerinin yağ globül boyutu nanometre (nm) olarak belirlenmiştir.

Süt Yağ Globüllerinin Mikroskopik Görüntülenmesi

Süt yağ globüllerine ait mikroskopik görüntüler ışık mikroskobuna (Micros, MC300A, Avustralya) bağlı dijital kamera (Nikon, Coolpix 4500, Tokyo, Japonya) ile 40x büyütme olarak fotoğraflanmıştır.

Homojenizasyon Etkinlik (H_E) Değeri

Süt örneklerinde homojenizasyon etkinlik (H_E) değeri, Metin ve Öztürk (2016)'daki yöntem modifiye edilerek belirlenmiştir. Ölçü silindiri içerisine 110 ml homojenize edilmiş süt konularak, buzdolabında 48 saat hiç çalkalanmadan bekletilmiştir. Daha sonra sütün üst yüzeyinden (1/10 seviyesinin üst kısmından) yavaşça alınan örnekte (a) ve altta kalan kısmından (9/10 seviyesinin taban kısmından) alınan örnekte (b) Gerber yöntemi ile yağ tayini yapılarak ve aşağıdaki eşitlikten H_E değeri hesaplanmıştır (Metin ve Öztürk, 2016).

$$\text{Homojenizasyon Etkinlik Değeri} = \frac{a-b}{a} \times 100$$

İstatistiksel Analizler

Araştırma sonuçlarına varyans analizi (ANOVA) uygulanarak farklı bulunan sonuçlar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla IBM SPSS versiyon 25 (IBM SPSS, Armonk, NY, USA) istatistik analiz paket programı kullanılmıştır.

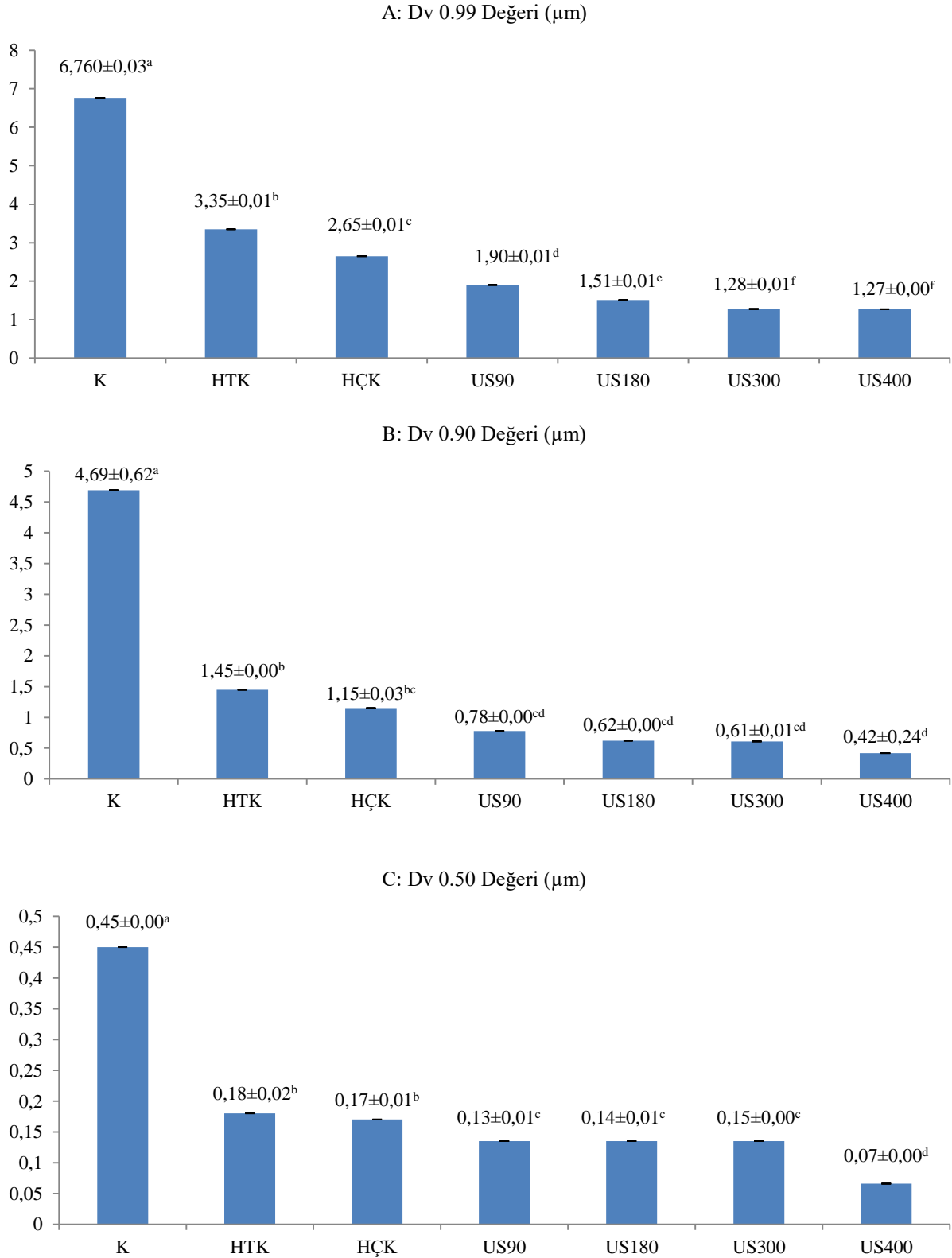
Bulgular ve Tartışma

Sütlerin ortalama kurumadde, toplam protein, yağ, titrasyon asitliği (% laktik asit) ve pH değerleri sırasıyla %12,60±0,03, %3,33±0,03, %3,40±0,00, %0,1651±0,0030 ve 6,55±0,01 olarak tespit edilmiştir. Türk Gıda Kodeksi Çiğ Süt ve Isıl İşlem Görmüş İçme Sütleri Tebliği'ne göre

inek sütlerinde protein miktarının en az %2,8 ve titrasyon asitliği değerinin laktik asit cinsinden %0,135-0,20 arasında olması gerektiği bildirilmiştir (Anonim, 2006). Elde edilen sonuçların standartta belirtilen değerler ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Hem işlem görmemiş çiğ sütün hem klasik ve ultrasonik homojenizatör ile homojenize edilmiş sütlerin yağ globül boyutlarının Mastersizer Malvern 3000 cihazı ile µm olarak belirlenen Dv 0,99, Dv 0,90 ve Dv 0,50 hacimsel çap değerleri Şekil 1'de verilmiştir. Yapılan yağ globül boyutu analizi sonucunda süt örneklerinin Dv 0,99, Dv 0,90 ve Dv 0,50 değerlerinin sırasıyla 6,76±0,03 µm ile 1,27±0,01 µm, 4,69±0,62 µm ile 0,42±0,24 µm ve 0,45±0,01 µm ile 0,07±0,00 µm arasında değiştiği belirlenmiştir. Sütlere uygulanan ultrasonik homojenizasyonun hem tek kademe hem de çift kademe klasik homojenizasyona göre süt yağ globül boyutunu küçültmede daha etkili olduğu saptanmıştır.

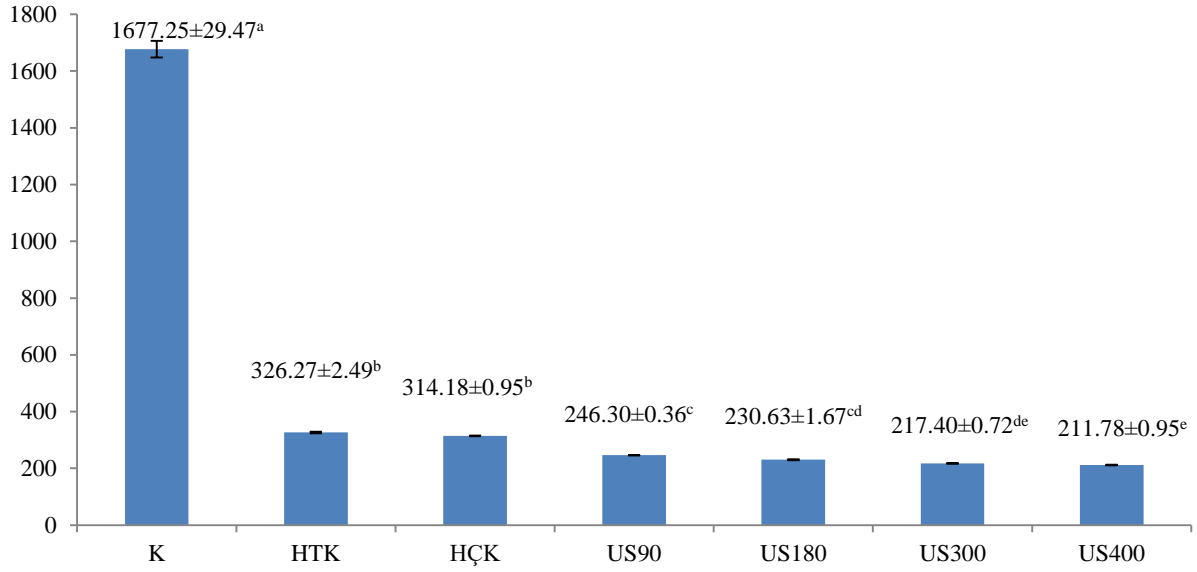
Tüm süt örneklerinin Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments, UK) cihazı ile nm olarak belirlenen yağ globül boyutları Şekil 2'de verilmiştir. Şekilde belirtilen sonuçlara göre işlem görmemiş çiğ sütün ortalama yağ globül çapı 1677,25±29,47 nm iken, bu değer 150 barda tek kademeli klasik homojenizasyonda 326,27±2,49 nm, 150/50 barda çift kademeli klasik homojenizasyonda 314,18±0,95 nm'dir. Ultrasonik homojenizasyonda ise uygulanan tüm güçlerde ortalama süt yağ globül çapı 300 nm'nin olup 90W, 180W, 300W ve 400W için sırasıyla 246,30±0,36 nm, 230,63±1,67 nm, 217,40±0,72 nm ve 211,78±0,95 nm'dir. Sonuçlar, tüm güçlerdeki (90, 180, 300 ve 400 W) ultrason uygulamalarının klasik homojenizasyona kıyasla yağ globül boyutunu önemli ölçüde küçülttüğünü göstermektedir (P<0,05). Yağ globül boyutundaki en fazla küçülme 400W 15 dakika ultrason uygulamasında sağlanmış olup uygulanan ultrason gücü arttıkça süt yağ globüllerinin boyutundaki küçülmenin de arttığı saptanmıştır. Soria ve Villamiel (2010), sürekli akışlı yüksek yoğunluklu ultrason uygulamasının sütün yağ globüllerinin boyutunda %81,5'a kadar bir azalma meydana getirdiğini saptamıştır. Ertugay ve ark. (2004) tarafından süte 20 kHz frekansta ultrasonik homojenizasyon uygulandığında klasik homojenizasyona kıyasla ultrasonik homojenizasyonun süt yağ globüllerini daha çok küçülttüğü gözlenmiştir. Sfakianakis ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, homojenizasyon işlemi uygulamadıkları sütlerin ve 10 ile 30 MPa basınç uygulayarak ve 150-750W ultrason uygulayarak homojenize ettikleri sütlerinin yağ globül boyutunu karşılaştırdıklarında ultrason işleminin tek kademeli homojenizasyona göre yağ globül boyutlarını küçültmede daha etkili olduğunu saptamışlardır. Bu konuda yapılan diğer çalışmaların sonuçları da ultrason uygulanan sütlerde yağ globül boyutlarının belirgin şekilde küçüldüğünü ve böylece ultrason uygulamasının süt homojenizasyonunda önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Riener ve ark., 2009; Şengül ve ark., 2009; Vijayakumar ve ark., 2015; Wu ve ark., 2001)..



Şekil 1. Homojenizasyon metodunun süt yağ globül boyutunun (µm) A: Dv 0.99, B: Dv 0.90, C: Dv 0.50 değerlerine etkisi
 K: Homojenizasyon işlemi uygulanmayan süt, HTK: Tek kademede 150 bar basınçta homojenize edilen süt, HÇK: Çift kademede 150/50 bar basınçta homojenize edilen süt, US90: 90W güçte 15 dak. ultrasonik homojenizasyon uygulanan süt, US180: 180W güçte 15 dak. ultrasonik homojenizasyon uygulanan süt, US300: 300W güçte 15 dak. ultrasonik homojenizasyon uygulanan süt, US400: 400W güçte 15 dak. ultrasonik homojenizasyon uygulanan süt, ^{a-f}: Farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki fark önemlidir (P<0,05).

Figure 1. The effect of homogenization method on A: Dv 0.99, B: Dv 0.90, C: Dv 0,50 values of milk fat globule size (µm)
 K: Milk without homogenization, HTK: Single stage homogenization of milk at 150 bar pressure, HÇK: Two stage homogenization of milk at 150/50 bar pressure, US90: Ultrasonic homogenization of milk at 90W power for 15 min., US180: Ultrasonic homogenization of milk at 180W power for 15 min., US300: Ultrasonic homogenization of milk at 300W power for 15 min., US400: Ultrasonic homogenization of milk at 400W power for 15 min., ^{a-f}: The difference between the values indicated by different letters is significant (P < 0.05).

Ortalama Süt Yağ Globül Boyutu (nm)



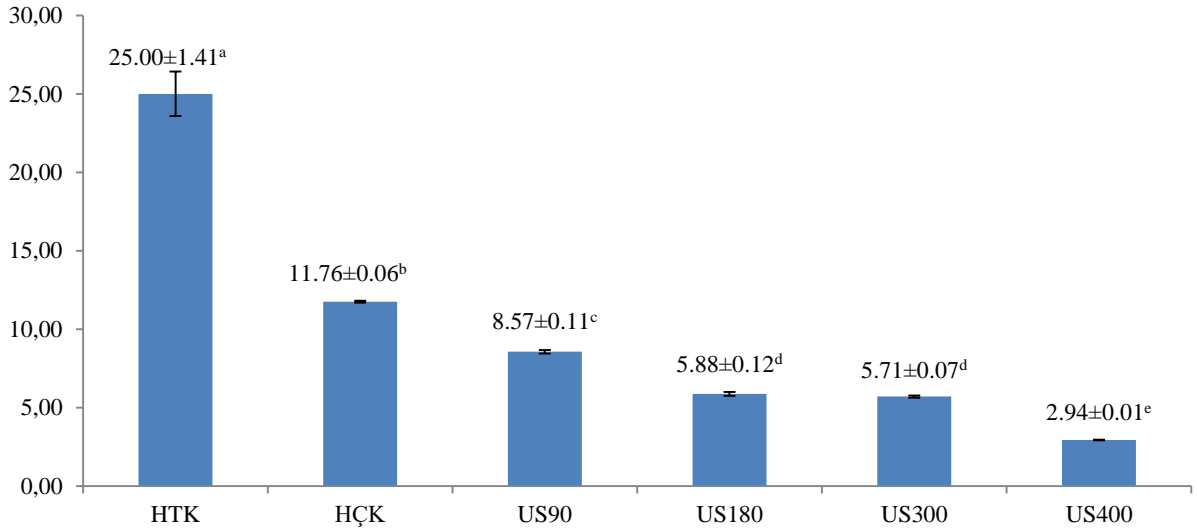
Şekil 2. Farklı homojenizasyon uygulamalarına tabi tutulan sütlerin ortalama yağ globül boyutu (nm) değerleri

K: Homojenizasyon işlemi uygulanmayan süt, HTK: Tek kademedede 150 bar basınçta homojenize edilen süt, HÇK: Çift kademedede 150/50 bar basınçta homojenize edilen süt, US90: 90W güçte 15 dak. ultrasonik homojenizasyon uygulanan süt, US180: 180W güçte 15 dak. ultrasonik homojenizasyon uygulanan süt, US300: 300W güçte 15 dak. ultrasonik homojenizasyon uygulanan süt, US400: 400W güçte 15 dak. ultrasonik homojenizasyon uygulanan süt, ^{a-e}: Farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki fark önemlidir (P<0,05).

Figure 2. Mean fat globule size values (nm) of milk samples with different homogenization applications

K: Milk without homogenization, HTK: Single stage homogenization of milk at 150 bar pressure, HÇK: Two stage homogenization of milk at 150/50 bar pressure, US90: Ultrasonic homogenization of milk at 90W power for 15 min., US180: Ultrasonic homogenization of milk at 180W power for 15 min., US300: Ultrasonic homogenization of milk at 300W power for 15 min., US400: Ultrasonic homogenization of milk at 400W power for 15 min., ^{a-e}: The difference between the values indicated by different letters is significant (P<0.05).

Homojenizasyon Etkinlik Değeri, %

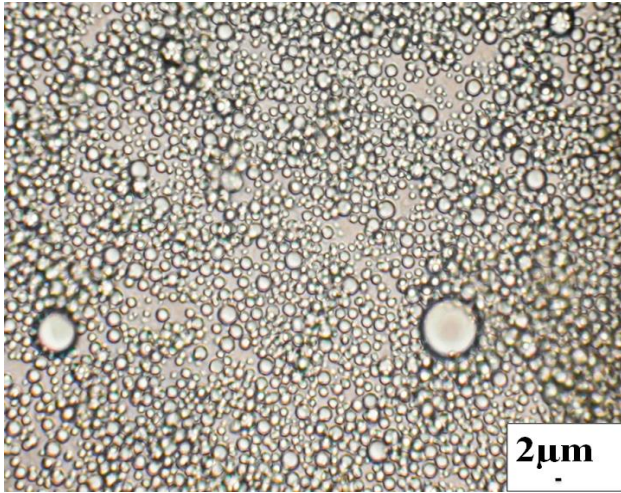


Şekil 3. Süt örneklerinin homojenizasyon etkinlik değeri

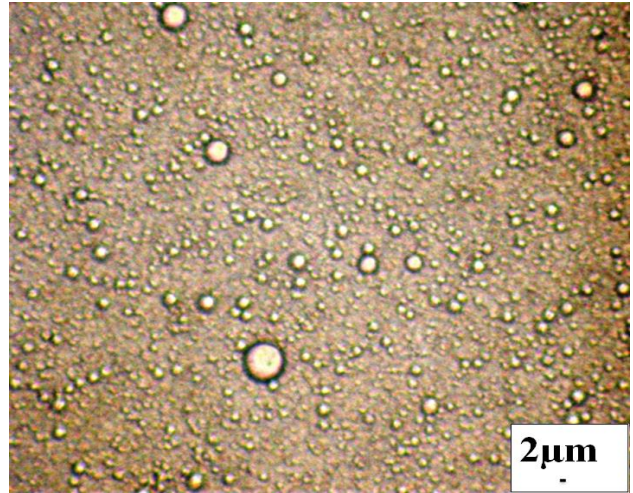
HTK: Tek kademedede 150 bar basınçta homojenize edilen süt, HÇK: Çift kademedede 150/50 bar basınçta homojenize edilen süt, US90: 90W güçte 15 dak. ultrasonik homojenizasyon uygulanan süt, US180: 180W güçte 15 dak. ultrasonik homojenizasyon uygulanan süt, US300: 300W güçte 15 dak. ultrasonik homojenizasyon uygulanan süt, US400: 400W güçte 15 dak. ultrasonik homojenizasyon uygulanan süt, ^{a-e}: Farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki fark önemlidir (P<0,05).

Figure 3. Homogenization efficiency value of milk samples

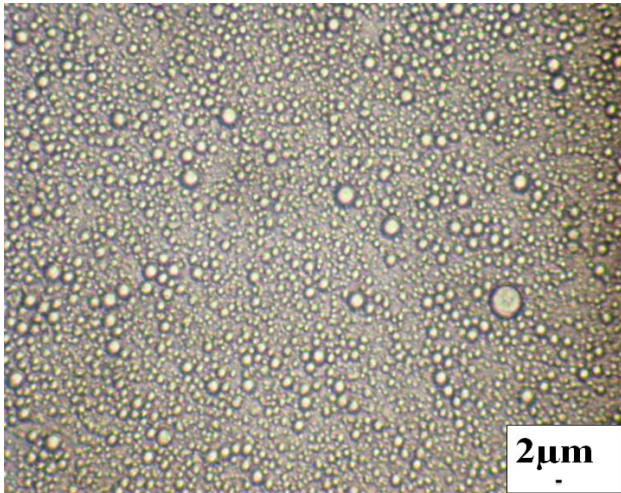
HTK: Single stage homogenization of milk at 150 bar pressure, HÇK: Two stage homogenization of milk at 150/50 bar pressure, US90: Ultrasonic homogenization of milk at 90W power for 15 min., US180: Ultrasonic homogenization of milk at 180W power for 15 min., US300: Ultrasonic homogenization of milk at 300W power for 15 min., US400: Ultrasonic homogenization of milk at 400W power for 15 min., ^{a-e}: The difference between the values indicated by different letters is significant (P<0.05).



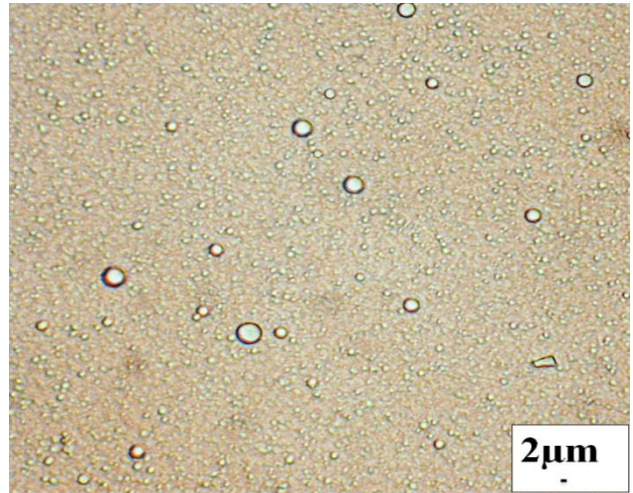
K: Homojenizasyon işlemi uygulanmayan süt
K: Milk without homogenization



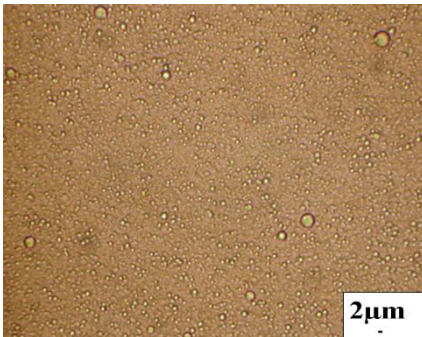
HTK: Tek kademedeki 150 bar basınçta homojenize edilen süt
HTK: Single stage homogenization of milk at 150 bar pressure



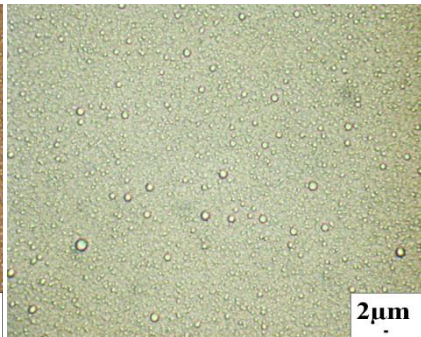
HÇK: Çift kademedeki 150/50 bar basınçta homojenize edilen süt
HÇK: Two stage homogenization of milk at 150/50 bar pressure



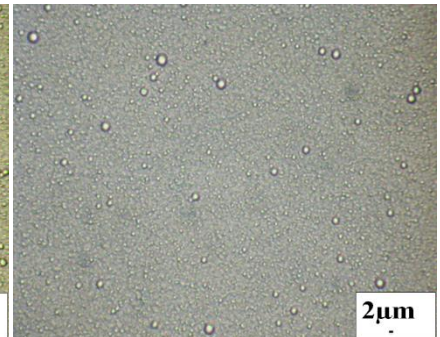
US90: 90W'da ultrasonik homojenize edilen süt
US90: Ultrasonic homogenization of milk at 90W power for 15 min



US180: 180W'da ultrasonik homojenize edilen süt
US180: Ultrasonic homogenization of milk at 180W power for 15 min.



US300: 300W'da ultrasonik homojenize edilen süt
US300: Ultrasonic homogenization of milk at 300W power for 15 min



US400: 400W'da ultrasonik homojenize edilen süt
US400: Ultrasonic homogenization of milk at 400W power for 15 min.

Şekil 4. Süt örneklerinin ışık mikroskobu görüntüleri
Figure 4. Light microscope images of milk samples

Homojenize edilmiş süt örneklerinin H_E değeri hesaplanarak sonuçlar Şekil 3'de verilmiştir. İyi bir homojenizasyonda; H_E değerinin 10'dan daha küçük bir değer olması gerekmektedir (Metin ve Öztürk, 2016). Şekil 3'de de görüldüğü üzere ultrasonik homojenizasyon uygulanan sütlerin H_E değerleri klasik homojenizasyonla elde edilen değerlerden çok daha küçük çıkmış ve en iyi H_E değeri (%2,94) 400W ultrason işlemi ile elde edilmiştir. Bu konuda yapılan diğer çalışmaların sonuçları da, ultrason uygulanan sütlerde H_E değerinin klasik homojenizasyon uygulanan sütlere göre daha küçük olduğunu ve güç seviyesi arttıkça homojenizasyon etkinliğinin artarak, yağ globüllerinin boyutunun küçüldüğünü belirtmektedir (Ertugay ve ark., 2004; Şengül ve ark., 2009)

Süt örneklerinin mikroskopik görüntüleri Şekil 4'de verilmiştir. Fotoğraflarda da görüldüğü üzere ultrason işlemi hem tek kademe hem de çift kademe klasik homojenizasyon işlemine göre süt yağ globül çaplarını küçültmede daha etkilidir. Uygulanan ultrason işleminin gücü arttıkça süt yağ globül çaplarını küçültme etkinliği de artmaktadır. Ultrason uygulamasının süt yağ globül boyutuna etkisinin mikroskopik görüntülerle incelendiği diğer çalışmalarda da klasik homojenizasyona kıyasla ultrason uygulamasının sütlerde yağ globül boyutlarını daha etkin şekilde küçülttüğü saptanmıştır (Ertugay ve ark., 2004; Wu ve ark., 2001).

Sonuç

Çalışmamızda ultrason uygulanan sütlerde yağ globül boyutlarının klasik homojenizasyona göre belirgin şekilde daha küçük olduğu saptanarak ultrason uygulamasının süt homojenizasyonunda önemli bir etkiye sahip olduğu ve klasik homojenizatör yerine kullanılma potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Ultrason uygulamasının klasik homojenizatörlere kıyasla daha düşük yatırım maliyeti ve temizleme kolaylığı gibi avantajları olması üretici açısından, çevre dostu bir teknoloji olması da tüketici açısından avantaj sağlamaktadır. Ayrıca güvenli, basit, hızlı, enerji tasarrufu sağlayan ve toksik etkisi bulunmayan ultrason uygulamaları süt teknolojisinde gelecek vaad etmektedir.

Kaynaklar

Akdeniz V, Akalın AS. 2017. Ultrason Uygulamasının Süt Ürünlerinde Homojenizasyon, Jel yapısı, Viskozite ve Su Tutma Kapasitesi Üzerine Etkisi. *Gıda*, 42(6): 743-753. DOI:10.15237/gıda.GD17062.

Akdeniz V, Akalın AS. 2019. New approach for yoghurt and ice cream production: High-intensity ultrasound. *Trends Food Sci. Technol.*, 86: 392-398. DOI:10.1016/j.tifs.2019.02.046.

Arzeni C, Martinez K, Zema P, Arias A, Perez OE, Pilosof AMR. 2012. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. *J. Food Eng.*, 108: 463-472. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.08.018.

Ashokkumar M. 2011. The characterization of acoustic cavitation bubbles – An overview. *Ultrason. Sonochem.*, 18: 864-872. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.11.016.

Ashokkumar M. 2015. Applications of ultrasound in food and bioprocessing. *Ultrason. Sonochem.*, 25: 17-23. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2014.08.012.

Awad TS, Moharram HA, Shaltout OE, Asker D, Youssef MM. 2012. Applications of Ultrasound in Analysis, Processing and Quality Control of Food: A Review. *Food Res. Int.*, 48: 410-427. DOI: 10.1016/j.foodres.2012.05.004.

Chandrapala J, Martin GJO, Zisu B, Kentish SE, Ashokkumar M. 2012. The effect of ultrasound on casein micelle integrity. *J. Dairy Sci.*, 95: 6882-6890. DOI:10.3168/jds.2012-5318.

Chandrapala J, Ong L, Zisu B, Gras SL, Ashokkumar M, Kentish SE. 2016. The effect of sonication and high pressure homogenisation on the properties of pure cream. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 33: 298-307. DOI: 10.1016/j.ifset.2015.11.023.

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

Ergin F, Öz G, Özmen Ü, Erdal Ş, Çavana E, Küçükçetin A. 2017. Sütün Homojenizasyonunun Kefirin Fizikokimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi. *Akademik Gıda*, 15(4): 368-376. DOI: 10.24323/akademik-gıda.370105.

Ertugay MF, Şengül M, Şengül M. 2004. Effect of Ultrasound Treatment on Milk Homogenisation and Particle Size Distribution of Fat. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, 28: 303-308.

Gao S, Hemar Y, Lewis GD, Ashokkumar M. 2014. Inactivation of *Enterobacter aerogenes* in reconstituted skim milk by high- and low-frequency ultrasound. *Ultrason. Sonochem.*, 21: 2099-2106. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2013.12.008.

Knorr D, Zenker M, Heinz V, Lee DU. 2004. Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends Food Sci. Technol.*, 15: 261-266. DOI:10.1016/j.tifs.2003.12.001.

Metin M, Öztürk GF. 2016. Süt ve Mamülleri Analiz Yöntemleri. 10. Baskı., Bornova, İzmir. Ege Üniversitesi Basımevi. ISBN: 978-975-97841-0-2.

Paniwnyk L. 2017. Applications of ultrasound in processing of liquid foods: A review. *Ultrason. Sonochem.*, 38: 794-806. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2016.12.025.

Pingret D, Fabiano-Tixie AS, Chemat F. 2013. Degradation during application of ultrasound in food processing: A review. *Food Control*, 31: 593-606. DOI:10.1016/j.foodcont.2012.11.039.

Riener J, Noci F, Cronin DA, Morgan DJ, Lyng JG. 2009. The effect of thermosonication of milk on selected physicochemical and microstructural properties of yoghurt gels during fermentation. *Food Chemistry*, 114: 905-911. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.10.037.

Sfakianakis P, Topakas E, Tzia C. 2015. Comparative Study on High-Intensity Ultrasound and Pressure Milk Homogenization: Effect on the Kinetics of Yogurt Fermentation Process. *Food Bioprocess Tech.*, 8: 548-557. DOI:10.1007/s11947-014-1412-9.

Sfakianakis P, Tzia C. 2014. Conventional and innovative processing of milk for yogurt manufacture; development of texture and flavor: a review. *Foods*, 3(1): 176-193. DOI:10.3390/foods3010176.

Shershenkov B, Suchkova E. 2015. Upgrading the technology of functional dairy products by means of fermentation process ultrasonic intensification. *Agron. Res.*, 13(4): 1074-1085.

Soria AC, Villamiel M. 2010. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: A review. *Trends Food Sci. Technol.*, 21: 323-331. DOI:10.1016/j.tifs.2010.04.003.

- Şengül M, Başlar M, Erkaya T, Ertugay MF. 2009. Ultrasonik homojenizasyon işleminin yoğurdun su tutma kapasitesi üzerine etkisi, *Gıda*, 34(4): 219-222.
- Tamuçay Özünlü BT, Koçak C. 2010. Sütte farklı homojenizasyon basınçları uygulamanın ayran kalitesine etkisi. *Gıda*, 35(3): 189-195.
- Vijayakumar S, Grewell D, Annandarajah C, Benner L, Clark S. 2015. Quality characteristics and plasmin activity of thermosonicated skim milk and cream. *J. Dairy Sci.*, 98: 6678–6691, DOI: 10.3168/jds.2015-9429.
- Wu H, Hulbert GJ, Mount JR. 2001. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 1: 211-218.