



## Sıvı Yumurta Sarısının Ultrases Tekniğiyle İşlenmesi ile Yapısal Özelliklerinin Karakterizasyonu ve Reolojik Davranışının Belirlenmesi

Muhammed Yüceer  

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Çanakkale

Geliş Tarihi (Received): 17.03.2020, Kabul Tarihi (Accepted): 08.11.2020

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): myuceer@comu.edu.tr (M. Yüceer)

☎ 0 286 218 0018-5525 📠 0 286 218 05 49

### ÖZ

Yumurta, binlerce yıldır bilinen, ucuz, insan beslenmesinde önemli yer alan, işlevsel özellikleri ile besin öğeleri bakımından mükemmel nitelikleriyle ülke ekonomisinde önemli bir yere sahip olan bir gıda maddesidir. Çalışma kapsamında; ultrases uygulamasının sıvı yumurta sarısının (SYS) farklı (100 W ve 250 W) güçlerde 30 saniye süre ile muamelesi ve mikro yapısı taramalı elektron mikroskopuyla incelenerek yapısal karakterizasyonu amaçlanmıştır. Ayrıca ultrases uygulamasının SYS'nin reolojik davranışına etkileri depolama boyunca (0. ve 17. gün) belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, ultrases muamelesinin SYS'nin viskozitesini istatistiki açıdan önemli ( $p < 0.05$ ) düzeyde azalttığı (kontrol;  $2.67 \pm 0.03$ 'den 100 W için;  $1.09 \pm 0.02$ 'a) ancak artan sonikasyon uygulama gücü ile viskozitenin arttığı, jelleşmenin gözlemlendiği ve SEM görüntülerinde deformasyonların olduğu belirlenmiştir. Depolama ile birlikte ultrases uygulanan örneklerin viskozite değerlerindeki kayıp kontrol grubuna göre daha yüksek bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Yumurta, Ultrases, Kalite kriterleri, Reolojik davranış, Yapısal morfoloji

### Rheological Behavior and Structural Characterization of Liquid Egg Yolk Treated with Ultrasound Processing Technique

#### ABSTRACT

Eggs are inexpensive food products with excellent nutritional value for thousands of years in human history. The goal of this study was to observe the effect of ultrasound treatment on physicochemical properties and rheological behaviors of liquid egg yolk (LEY). LEY samples were ultrasound treated with 100 W and 250 W for 30s of exposure time. The scanning electron microscope (SEM) and rheological behaviors of LEY samples were determined during storage (day 0 and day 17). The effect of ultrasound treatment on the rheological behavior of SYS was determined throughout storage. As a result of the study, ultrasound treatment reduced the viscosity significantly (control;  $2.67 \pm 0.03$ , 100 W;  $1.09 \pm 0.02$ ) of LWY ( $p < 0.05$ ). However, with increased sonication power, the viscosity increased, gelling was also observed in the LEY structure, and deformations occurred in SEM images. The loss in viscosity values of the ultrasound treated samples found higher than control group during storage.

**Keywords:** Egg, ultrasound, Quality criteria, Rheological behavior, Structural morphology

#### GİRİŞ

Temel hayvansal gıda kaynaklarından biri olan yumurta, insan sağlığı ve ülke ekonomisinde önemli bir yeri vardır. İnsan beslenmesi ve ülke ekonomisi açısından

önemli bir besin maddesi olan yumurta, tüketici tarafından kolay temin edilebilen besin değeri yüksek bir gıda maddesi olup, çeşitli alternatiflerle kolaylıkla hazırlanıp tüketilebilmektedir [38]. Yumurta sarısı mineral bağlama özelliği, antioksidant gibi fonksiyonel

özellikleriyle birçok gıda ürününün imalatında kullanılmaktadır [19]. Yumurta çoğunlukla kabuklu yumurta olarak tüketilmektedir. Taze yumurta kullanan gıda imalathanelerinde, üretim sırasında yüzlerce/binlerce yumurtanın kırılması için harcanan zaman, bu yumurtaların kabuklarının oluşturduğu atıklar ve kabuklu yumurtanın depolanmasına için ayrılması zorunlu olan geniş alan gereksinimi, işletme açısından önemli problemler oluşturmaktadır. Birçok ülkede taze yumurta gerek gıda sanayiinde gerekse evlerde kullanılmak üzere pastörizasyon tekniğiyle işlenmektedir. Günümüzde plakalı veya borulu ısı eşanjörleri ile pastörizasyon tekniği sıvı yumurtaların muhafazasında kullanılan tek yöntem olup alternatiflerinin geliştirilmesi yönünde çabalar bulunmaktadır. Pastörizasyonun sıvı yumurtanın fonksiyonel özellikleri, besinsel bileşimi, aroma ve yapısı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle alternatif metotların geliştirilmesi ve uygulanması günümüzde giderek hız kazanmıştır [36].

Ultrases; ısı olmayan alternatif gıda işleme tekniklerden olup, yüksek enerjili ultrases dalgalar kullanılmaktadır. Ultrases uygulamasının avantajları arasında; yüksek homojenite ve kavitasyon etkisi yer almaktadır. Ultrases, mekaniksel nitelikte olup çok yüksek frekansta (18 kHz-500 MHz) duyulabilecek tonda sese sahiptir. Ultrases uygulamaları esnasında hücre içinde vakumlu boşlukların (kativasyonlar) oluşması, hücre çeperinin incilmesi, noktasal sıcaklık yükselişi, mikro buharlaşma ve şok dalgaları gibi etkiler, geleneksel ısı işlem uygulamalarında oluşan besin kaybı ve olumsuz duysal değişimlere neden olmazken mikroorganizmaların daha düşük sıcaklıklarda ve kısa sürelerde inaktivasyonunu sağlamaktadır. Ultrases uygulamasında kullanılan dalganın büyüklüğü, sıcaklık, basınç, frekans gibi faktörlere bağlı olarak fiziksel ve kimyasal değişimler gözlenmektedir [9]. Ultrases uygulamasının yüksek moleküler ağırlıklı proteinlerin parçalanmasında da kullanılabilirliği ifade edilmiştir [28]. Ultrases uygulamalarının etkinliği üzerine, kullanılan ultrasonik dalganın genliği, uygulama süresi, uygulamanın yapıldığı hacim, gıdanın bileşimi ve sıcaklık etkili olmaktadır. Bir ultrason dalgası, herhangi bir materyale dikey doğrultuda yönlendirilirse, parçacıklar kuvvet ile aynı yönde titreşmektedir (basınç dalgası), eğer paralel yönlendirilirse, parçacıklar kuvvete dikey doğrultuda (shear) oluşmaktadır. Ultrason frekansı önemli bir parametredir ve maksimum kabarcık boyutunu belirlemektedir. Düşük frekanslarda (örneğin 20 kHz) üretilen kabarcıkların boyutu büyüktür ve çöktüğünde yüksek enerjiler üretmektedir [7, 8, 34]. Ultrases dalgaları katı, sıvı ve gaz gibi ortamlarda sıkışma ve genleşme ile yayılabilme özelliğine sahip olup, kavitasyon oluşturma özellikleri bulunmaktadır. Gıda sanayiinde kullanılan ultrases uygulaması düşük enerji yoğunluklu ( $<1 \text{ W/cm}^2$ ;  $>100 \text{ kHz}$ ) ve yüksek enerji yoğunluklu ( $10\text{-}1000 \text{ W/cm}^2$ ;  $20\text{-}100 \text{ kHz}$ ) olarak değerlendirilmektedir. Düşük yoğunluklu ultrases uygulamaları ağırlıklı olarak gıdaların tahribatsız muayenesinde kullanılmakta olup, yumurtanın kalitesinin tayini amacıyla uygulanan tasnif sistemleri buna örnektir. Yüksek yoğunluklu ultrases uygulamaları

ise gıda sanayiinde proses işleme sürecinde değerlendirilmektedir [21, 22, 25, 29, 34].

Yumurta proteinlerinin ultrases ile muamele sonrası jelleşme ve viskoelastik özelliklerinin incelendiği bir çalışmada 20 dakika süre ile 20 kHz ve %20 Amp'de ısı ile kombine edilerek yapılan uygulama neticesinde yumurtanın fonksiyonel özelliklerinin iyileştirildiği bildirilmiştir [3]. Cabeza, ve ark. [5] Ultrasesin ısı ile kombine edildiği termoultrases uygulamasının yumurtanın fonksiyonel özelliklerini istatistiksel açıdan önemli düzeyde değiştirmediği ifade edilmiştir. Ayrıca termoultrases ile kontrol grubu yumurta örnekleri arasında istatistiki açıdan raf ömrü, emülsiyon ve köpük kapasitesi, tekstür, duysal nitelik gibi fonksiyonel özelliklerde farklılık bulunmadığı bildirilmiştir. Çalışma kapsamında 24 kHz, 400 W ultrases ile 54°C'de 5 dk. ısı işlemin kombine edildiği görülmüştür. Ultrases uygulamasının yumurta proteinleri üzerinde çözünürlük artışı ve protein partikül büyüklüğünde azalma olarak etkileri yapılan çalışmalarda kaydedilmiştir [10, 27]. Xie, ve ark. [31] yumurta sarısında yapmış olduğu yüksek enerjili ultrases uygulamasında emülsifikasyon, gel oluşturma, köpük kapasitesi ve köpük stabilitesi değerlerini incelemiştir. Uygulama sonrası yumurta sarısının emülsifiye, köpürme ve jel özellikleri gelişirken ve köpük stabilitesi değerlerinde kayıp meydana gelmiştir. Ultrases işleminin zeta-potansiyeli ve serbest sülfhidril içeriğini iyileştirirken, ortalama partikül boyutunu düşürmüştür ve yumurta sarısı LDL ve yumurta sarısı granüllerinde değişim meydana getirmiştir. Yüceer [34] sıvı bütün yumurtada yapmış olduğu çalışmada 150 W ve 375 W uygulamalarını 3 ile 6 dk süresince çalışmış ve 150 W uygulamasının yumurtanın köpük oluşturma değerlerini arttırdığı artan ultrases uygulama süresi ve gücü ile kalite kriterlerinin ve raf ömründe artış sağlamıştır. Literatürde yapılan çalışmaların sıvı yumurtanın ultrases ile işlenmesinde çoğunlukla mikrobiyal parametrelerin çalışıldığı gözlenmiştir. Farklı ultrases güç parametre uygulamalarına bağlı olarak yumurta sarısının fiziksel, kimyasal ve fonksiyonel kalitesindeki değişikliğin tespiti; hem yumurtanın muhafazası esnasındaki ekonomik kaybın önlenmesi hem de fonksiyonel niteliklerinin korunması endüstriyel açıdan önem taşımaktadır. Araştırmacı tarafından önceki çalışmada ultrasesin sıvı yumurta sarısının fiziko-kimyasal özellikleri üzerine olan etkileri belirlenmiştir [35].

Çalışma kapsamında farklı ultrases güç uygulamasının (100 ve 250 W- 30 saniye süre) yumurta sarısı örnekleri üzerindeki taramalı elektron mikroskobu ve reolojik davranışı üzerine etkileri incelenmiştir. Böylece sıvı çığ yumurta sarısının yapısal özellikleri SEM ile gözlemlenerek ve depolama boyunca (0. ve 17. gün) reolojik davranışları incelenerek ultrasesin kullanılabilir güç değerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Materyal

Çalışmada hammadde olarak kullanılan ısısal işlem görmemiş çığ sıvı yumurta sarısı (SYS) yerel ölçekli sıvı

yumurta üreticisinden tedarik edilmiştir. Numuneler 10 kg'lık PE/EVOH plastik ambalajlarda (bag in box) laboratuvara soğuk zincirde (+4°C) temin edilmiş, analiz işlemi ve depolama süresince (0. ve 17. gün) sıcaklık ürün mikrobiyal stabilitesinin korunması açısından muhafaza edilmiştir.

## Metot

Çalışmada SYS örneklerinin ultrases ile muamelesinde kavitasyon oluşturmak için 20kHz±1kHz frekans değerinde çalışan Ultraschall processor UIP1000hd ultrases cihazı (Hielscher Ultrasonics GmbH, Teltow, Almanya) kullanılmıştır. Uygulamada BS2d18 (1,5x4,5x13,5 cm) paslanmaz çelik metalik prob (sonotrode yüzey alanı 2,5 cm<sup>2</sup>) ultrases uygulaması gerçekleştirilmiştir [6]. Proses işlem parametrelerinin seçiminde Wen-jing ve ark. [30] tarafından yapılan çalışmanın sonuçları dikkate alınarak deneysel çalışmada yapılan ön çalışmalar neticesinde Yüceer [35] fonksiyonel karakterizasyon ve renk parametrelerindeki renk değişimleri dikkate alınarak farklı güç parametresi (100 W ve 250 W) 30 saniye süreyle sonikasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulama esnasında yumurta sarısının SEM görüntülerinde sonikasyon süre parametresi sabit tutularak güç değerlerinde farklılık oluşturulmasıyla en az deformasyon hedeflenmiştir. Ayrıca etkin ultrases gücü etkisiyle SYS örneklerindeki sıcaklık artışını önlemek için üretici firma tarafından özel olarak imal edilen çift cidarlı paslanmaz ünitelerde ürün sıcaklığı +4°C'de sabit tutulacak şekilde soğutma suyu sirkülasyonu yapılarak 300 mL'lik SYS numuneleri partiler halinde sonikasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir [34]. Ultrases uygulanan örnekler 1 kg'lık PE/EVOH plastik ambalajlarda ve soğuk zincirde (+4°C) 17 gün süresince depolanmıştır. Çalışmada kontrol numunesi olarak çiğ sıvı yumurta sarısı kullanılmış olup ultrases uygulamasında da yine sınırlı raf ömrüne sahip olan işlenmemiş (çiğ) sıvı yumurta sarısı kullanılmıştır.

## Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Ölçümleri

Ultrases ile muamele edilen SYS örneklerinin yüzeyinde (dokusunda) kavitasyonun neden olduğu değişikliklerin, deformasyonları izlenmesi ve karakterize edilmesi amacıyla taramalı elektron mikroskopu (Scanning electron microscope-SEM) kullanılmıştır [17] SEM cihazı JSM 6480 LV-JEOL-SEM (Tokyo, Japonya) ile 5.0 kV ve x 150 büyüteci altında ve görüntüleme tablalarının üzerine daha önceden yapılandırılmış olan karbon bantlarına yerleştirilerek iletkenlik kazandırılması amacıyla altın-paladyum tabakası ile kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir [20].

## Reolojik Ölçümler

Ultrases ile muamele edilmiş ve edilmemiş SYS numunelerinde reolojik ölçümler HR-2 (Discovery Series Hybrid HR-2, TA Instruments, New Castle, DE, ABD) reometre 40 mm paslanmaz çelik plate/plate geometrilili ölçüm sensörü ile 1 mm aralıkta ve ölçüm probu ile zemin arası numunenin kurumaması için parafin yağ (Mineral vaseline oil, PanReac AppliChem GmbH,

Darmstadt, Almanya) ile kaplanarak gerçekleştirilmiştir. Genlik tarama testi dinamik testler öncesinde (frekans taraması, sıcaklık taraması) öncesinde doğrusal bölge içinde kalan uygun gerilim değerinin saptanması, gerilim/gerilim oranının (modülüs) sabit kaldığı lineer viskoelastik doğrusal bölgenin (LVEB) belirlenmesi ve her veri noktası lineer viskoelastik dağılımın doğrulanmasında osilasyon verilerinin sinüs eğrileri lineer analiz yazılım programı yardımıyla yapılmıştır. Kayma hızı taraması (flow ramp) testi 25°C'de; düşük kayma hızından (0.01 s<sup>-1</sup>) yüksek kayma hızına (100 s<sup>-1</sup>) doğru 60 saniye boyunca gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki analizlerde kullanılmak üzere lineer viskoelastik bölgedeki en uygun % strain değerini bulmak için deformasyon taraması (oscillation amplitude) testi yapılmıştır. Test parametreleri olarak açılal frekans 20 rad/s ve sıcaklık 25°C olarak belirlenmiş ve % strain %0.01'den %100'e değişen değerlerde analiz gerçekleştirilmiştir [32]. Bu test sonucunda elde edilen lineer bölgedeki en uygun % strain daha sonraki analizlerde kullanılmış ve bu işlem her örnek için yeniden yapılmıştır. Frekans taraması (oscillation frequency) testi, frekans ise 0.01 ile 10 Hz. aralığında 25°C'de ve bir önceki analiz sonucu bulunan en uygun % strain değeri kullanılarak gerçekleştirilmiştir [1, 26]. Ölçüm esnasında her bir SYS örneği yenilenecek 3 ölçüm gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık taraması (oscillation temperature ramp) testi 40°C'den 80°C'ye ısıtma hızı 5°C/dakika nispetine artırılarak, deformasyon taraması (oscillation amplitude) sonucu elde edilen %-strain değerinde ve açılal frekans 20 rad/s'de gerçekleştirilmiştir. Çalışmada G' (elastik veya stok modül-Pa), G'' (viskoz veya kayıp modül-Pa), faz açısı (δ), kompleks viskozite (η\*), kıvam katsayısı ve akış davranış indeksi belirlenmiştir [2, 12, 16, 23, 33, 37].

## İstatistiksel Analizler

Çalışmada farklı ultrases gücün kullanılarak muamele edilen SYS örneklerinde belirlenen reolojik kalite kriterleri üzerine etkileri varyans analizinden (ANOVA) yararlanılmıştır. İstatistiksel analizlerde SAS istatistik programı kullanılmıştır [24]. İstatistiksel farklılık p değerinin 0.05 veya daha küçük olmasına göre belirlenmiştir. Çalışma 2 paralel ve 2 tekerrür olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

## BULGULAR ve TARTIŞMA

### SEM Analizi Sonuçları

Çalışma kapsamında Şekil 1(a)'da ultrases uygulanmayan kontrol grubu örneklerde lezyon oluşumu gözlenmemiştir. Ayrıca kontrol grubu SYS örneklerinde düzenli yapı ve oluşumlar tespit edilmiştir. Yumurta kabuğunda ultrases uygulamasında hücre yapılarında belirgin değişikliklerin gözlemlendiği ve hücre boyutlarının kısaldığı ifade edilmiş ve ultrases uygulanmayan örneklerin yüzeyinin da düz olduğu belirtilmiştir [20]. Çalışma ile Şekil 1(b)'de 100 W ultrases uygulanan örneklerde lezyon oluşumu gözlenmiştir. Ayrıca 100 W ultrases uygulanan SYS örneklerinde düzensiz yapı ve oluşumlar belirlenmiştir. Bu durumun sonikasyon esnasında oluşan basınç ve meydana gelen kavitasyon

etkisinden ileri gelebileceği değerlendirilmektedir [13]. Özbakır [20] tarafından yapılan çalışmada kabuklu yumurtanın 3 dakika ultrases uygulama süresinde hücre yapılarında belirgin değişikliklerin gözlemlendiği ve hücre boyutlarının kısaldığı ifade edilmiş ve çalışmada yapılan ön denemelerde yumurta kabuğunda çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Özellikle 6 dk. uygulamasından sonra kabuktaki çatlak düzeyinin yoğunlaştığı ve kılcal-gizli çatlakların varlığı belirlenmiştir. Jia, ve ark. [13] tarafından yapılan çalışmada yumurta sarısı fosfolipidleri 200 W, 5 s., 400 W, 10 s ve 600 W, 15 s süreyle 20 kHz ultrases tabii tutulmuştur. Ultrasesin yüksek molekül ağırlıklı proteinlerin degradasyonu açısından önemli olduğu tespit edilerek yumurta sarısından kolesterolün degradasyonu ile fosfolipidlerin ayrımında ve izolasyonunda tekniğin uygulama potansiyeli saptanmıştır. Ultrasesin toplam protein içeriği üzerinde önemli bir etkisi olmamakla birlikte ultrasonik işlem süresini artırarak granül için daha yüksek protein konsantrasyon değerleri ölçülmüştür. Ayrıca ultrases uygulamasında SYS numunelerinde granül-plazma fraksiyon bantlarının yoğunluğu ile granül fraksiyonlarının değişmediği, ancak granüllerden ayrılan plazma bantlarında ayırım gözlemlenmiştir. Bunların yoğunluğu 110 kDa'lık bantlardan oluştuğu ve sonikasyon işlem süresinin artışı ile moleküler ağırlığın artış kaydettiği belirtilmiştir. Granüller ultrases ile muamele edildiğinde, mikro yapı daha ince hale gelerek granüller arasındaki bağ derecesinde artış meydana gelmiştir [13]. Bu açıdan değerlendirildiğinde ultrases işleminin granüllerin bozulmasını etkilemek için kullanılabilirliği, ancak granülün folat konsantrasyonunda içeriğinde daha fazla değişiklik mümkün olmadığı görülmüştür. Çalışmada elde edilen bulgular literatür ile uyumlu olduğu tespit edilmiş, özellikle kavitasyon etkisine bağlı etkilerin çalışmada doğrudan gözlemlendiği görülmüştür.

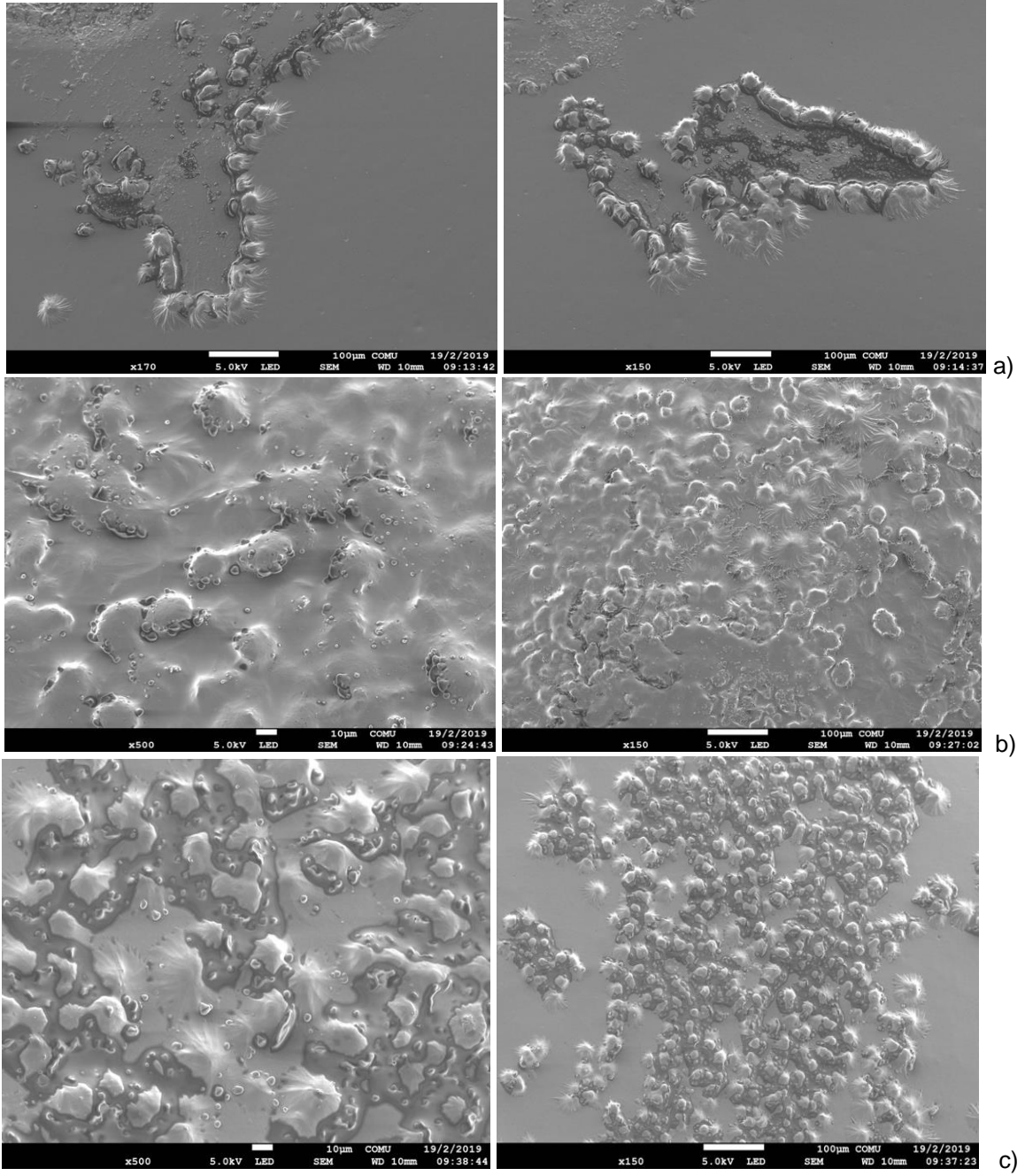
Çalışma kapsamında Şekil 1(c)'de 250 W ultrases uygulanan örneklerde yoğun lezyon oluşumu ve kısmi kristallenme başlangıcı gözlemlenmiştir. Sonikasyon esnasında oluşan basınç ve kavitasyon etkisinin lezyon oluşumları ile ilgili olduğu belirtilmektedir. Özellikle denatürasyon ve yumurta sarısı serum proteininin degradasyonunun sonikasyon dalgaları ile ilişkilendirilmektedir. Ayrıca ultrasonik titreşimin neden olduğu mekanik etkiler ile asılı partiküllerin sıvı ortamdaki farklı hız ve yönlerde hareket etmesini sağlaması da meydana gelen lezyon oluşumunu açıklamaktadır. Sonikasyon gücünün yükselmesi ile, mikro-gaz içeren SYS ultrasonik dalgası ile ultrasonik aglomerasyonun etkileri arttırılmaktadır [13]. Yumurtada 3 dakika ultrases uygulamasında hücre yapılarında belirgin değişikliklerin gözlemlendiği ve hücre boyutlarının kısaldığı ifade edilmiştir [20]. SYS'nin fraksiyonları üzerinde Marcet ve ark. [15] tarafından yapılan çalışmada, artan sonikasyon süresi ile hazırlanan yumurta sarısı granül filmlerinin yapısal düzeninde

homojenlik gözlenmiş, bu durumun lipoprotein agregatlarının bozulmasından kaynaklanan, muhtemelen daha sıkı bir ağın oluşmasına ve dolayısıyla filmin mekanik özelliklerinde iyileşmeye etkisinin olduğu düşünülmektedir. Bu durum artan sonikasyon watt-güç değerinin sabit muamele süresinde yapısal düzensizliklere yol açmada daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.

### Sıvı Yumurta Sarısı Reolojik Davranışı

Reolojik davranışlar değerlendirilerek sıvı yumurtanın ısısal işleme prosesinde kullanılan plakalı ısı eşanjörlerinin mühendislik hesaplamaları gerçekleştirilmektedir [11]. Bu amaçla kayma hızına karşı kayma gerilme eğrisinin matematiksel modellemesi hesaplanarak reolojik davranış karakterize edilmektedir [4]. Çalışmada SYS örneklerinin viskoelastik özellikleri lineer viskoelastik bölgede (LVEB) dinamik süpürme testi reometrede gerçekleştirilerek belirlenmiştir. Sonrasında ise elastik ve viskoz modülüsün frekans (Şekil 4) ve sıcaklık (Şekil 5) ile değişimi gözlemlenmiştir.

Ultrases ile muamele edilen ve edilmeyen SYS numunelerinin viskoelastik özelliklerini tanımlayan veriler Tablo 1'de verilmiştir. Çalışmada SYS'nin reolojik davranışı incelenmiş ve farklı reolojik modeller uygulanarak testleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre tüm numunelerin akış davranışı açısından korelasyon katsayılarının ( $R^2$ ) Herschel-Bulkley ( $\tau = \tau_0 + K(\dot{\gamma})^n$ ) modeline uygunluk sağladıkları belirlenmiştir ( $\tau$ : kayma gerilimi,  $\tau_0$ : yıkılma-akma gerilimi-Pa, K: kıvam katsayısı-Pa.s,  $\dot{\gamma}$ : kayma oranı ve n akış davranış indeksini ifade etmektedir.). Tablo 1'de göre ultrases uygulaması SYS'nin n değerlerini arttırmıştır. Çalışma sonucunda, ultrases muamelesinin SYS'nin viskozitesini azalttığı (kontrol;  $2.67 \pm 0.03$ 'den 100 W için;  $1.09 \pm 0.02$ 'a) ancak artan sonikasyon gücü (250 W) ile viskozitenin 100 W uygulamasına göre arttığı ( $1.36 \pm 0.02$ ) saptanmıştır. Sonikasyon uygulamasının SYS'nin akış davranışını istatistiksel açıdan önemli düzeyde azalttığı tespit edilmiştir ( $p < 0.05$ ). Ultrases uygulamasının yol açtığı viskozite değişiminin makro moleküllerin yapısında değişikliklere ilişkili olabileceği ifade edilmektedir [18]. Şekil 2'de ultrases ile muamele edilen ve edilmeyen tüm SYS örneklerinin viskozite değerlerinin kayma hızı ile değişimi ifade edilmiştir. Buna göre, kayma hızı ile viskozite değişiminin orantılı olduğu, ultrases güç değerinin 100 W'den 250 W değerine yükseltilmesi ile viskozitenin azaldığı, yapının yine Newton olmayan bir akış davranışı sergilediği gözlemlenmiştir. Depolama ile birlikte ultrases uygulanan örneklerin viskozite değerlerindeki kayıp kontrol grubuna göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum literatüre ile benzerlik göstermiştir [14].



Şekil 1. Ultrases ile; (a) muamele edilmeyen, (b) 100 W güçte muamele edilen ve (c) 250 W gücünde muamele edilen sıvı yumurta sarısının SEM görüntüsü

Tablo 1. Farklı uygulamaların sıvı yumurta sarısı viskozite değerleri üzerine etkisi

Uygulamalar	Viskozite (Pa.s)	n	R <sup>2</sup>
Kontrol	2.67±0.03 <sup>a</sup>	0.54	0.99
100 W	1.09±0.02 <sup>c</sup>	0.97	0.99
250 W	1.36±0.02 <sup>b</sup>	0.94	0.99

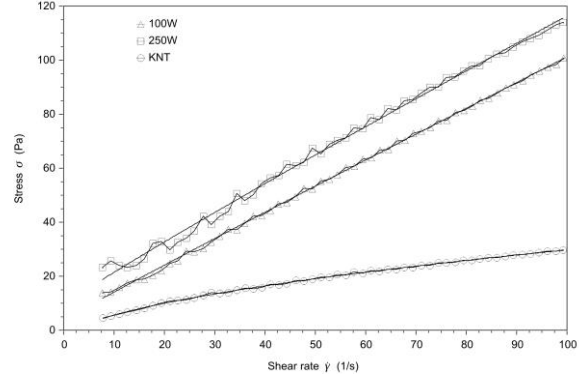
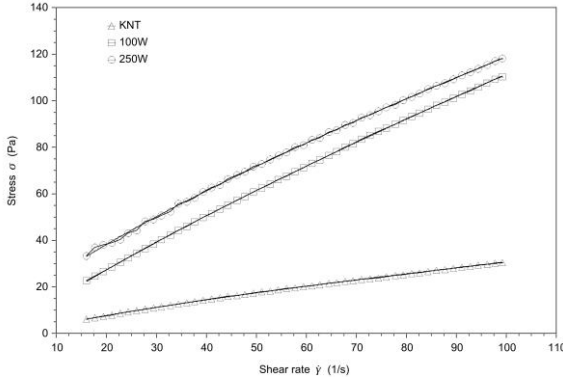
<sup>a-c</sup> Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (p<0.05)

Şekil 3'te ultrases ile muamele edilen/edilmeyen SYS örneklerinin viskoelastik davranışlarının değişimine yer verilmiştir. Buna göre çalışmada derinimin artışı ile elastik modülüsün (G') ve viskoz modülüsün (G'') arttığı belirlenmiştir. Ultrases uygulan ve uygulanmayan tüm

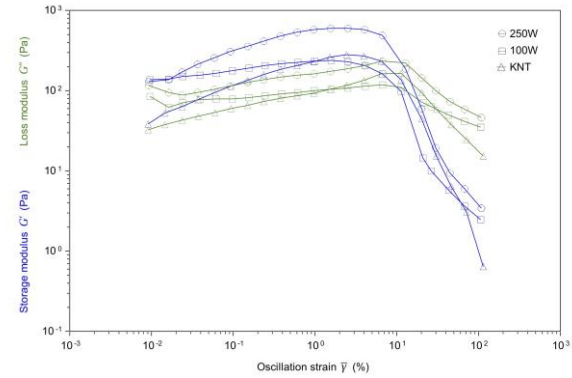
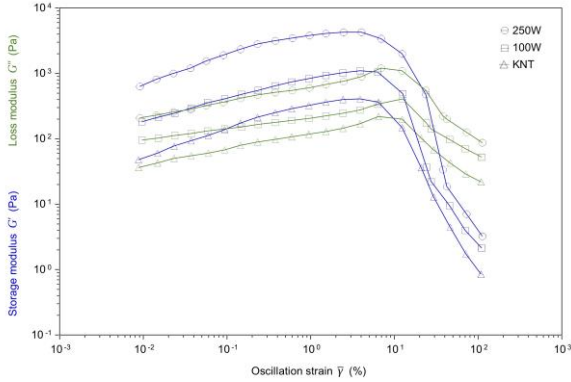
SYS örneklerinde elastik modülüsün viskoz modülüsten daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 3a ve 3b). Bu durum özellikle viskoelastik davranış gösteren sıvı yumurta örneklerinin sıvı-benzeri bir yapı sergilediği gözlenmiştir. Ancak en yüksek viskoz modülüs değeri

250 W uygulamasında tespit edilmiştir. Bu durum ultrases sonrası yumurta sarısı granüllerinde ve LDL'de

meydana gelen değişim ile izah edilebilmektedir [31].



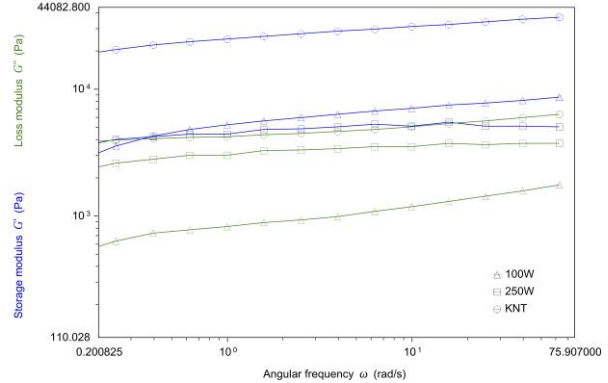
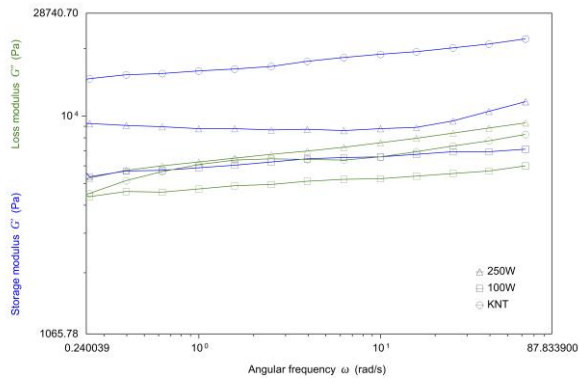
Şekil 2. Ultrases ile muamele edilen/edilmeyen sıvı yumurta sarısı örneklerinin viskozite değerlerinin a) 0. günde, b) depolamanın 17. gününde viskozite değerlerinin kayma hızı ile değişimi



Şekil 3. Ultrases ile muamele edilen/edilmeyen sıvı yumurta sarısı örneklerinin viskoelastik davranışlarının a) 0. günde ve b) depolamanın 17. gününde değişimi (KNT: kontrol)

Şekil 3(b)'de ultrases ile uygulanan (kontrol) ve uygulanmayan yumurta örneklerinin viskoelastik özelliklerinin depolama sonundaki (17. Gün) eğrileri verilmiştir. Buna göre çalışmada derinimin artışı ile

elastik modülüs ( $G'$ ) ve viskoz modülüs değerlerinin  $G''$  arttığı belirlenmiştir. Ultrases uygulanmayan tüm SYS örneklerinde elastik modülüsün viskoz modülüstən daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. Ultrases ile muamele edilen/edilmeyen sıvı yumurta sarısı örneklerinin a) 0. günde ve b) depolamanın 17. gününde viskoelastik davranışlarının frekansla değişimi

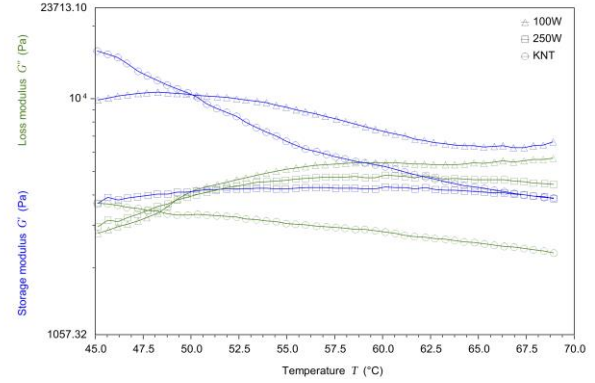
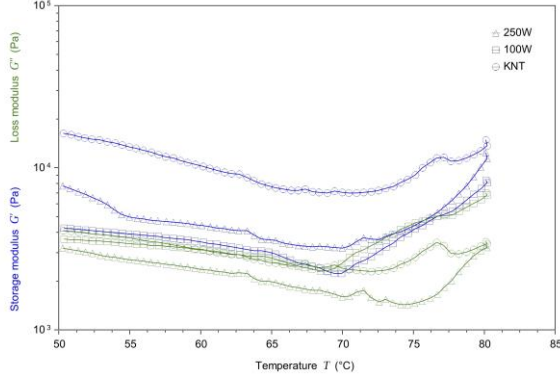
Şekil 4'te ultrases ile muamele edilen/edilmeyen SYS örneklerinin viskoelastik davranışlarının değişimine yer verilmiştir. Buna göre çalışmada frekans artışı ile elastik modülüsün ve viskoz modülüsün arttığı belirlenmiştir.

Çalışmada  $G'$  ve  $G''$ 'nin 10 rad/s frekans değeri üzerinde kesiştiği ve bu frekans değerlerinde ise, sistemin yarı-sıvı benzeri bir davranış karakteri sergilediği ( $G' > G''$ ) saptanmıştır. Ultrases uygulanmayan tüm SYS



örneklerinde elastik modülüsün viskoz modülüs değerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum özellikle viskoelastik davranış gösteren sıvı yumurta örneklerinin sıvı-benzeri bir yapı sergilediği gözlenmiştir. Ayrıca 100 W ve 250 W ile muamele edilen SYS numunelerinin  $G'$  ve  $G''$  değerlerini diğer numunelere

göre önemli düzeyde değiştirdiği gözlenmiştir. Örnekler incelendiğinde düşük açılal frekans değerlerinde sıvı benzeri ( $G'' > G'$ ) karakterde iken artan frekans değerinde ise elastik/katı benzeri ( $G' > G''$ ) bir yapısal davranış belirlenmiştir.



Şekil 5. Ultrases ile muamele edilen/edilmeyen sıvı yumurta sarısı örneklerinin a) 0. günde ve b) depolamanın 17. gününde sıcaklıkla değişimi

Şekil 5'te ultrases ile muamele edilen/edilmeyen SYS örneklerinin viskoelastik davranışlarının sıcaklıkla değişimine yer verilmiştir. Buna göre çalışmada sıcaklık artışı ile elastik modülüsün ve viskoz modülüsün 70°C'ye kadar azaldığı sonrasında ise sıvı yumurtanın katılaşmaya ve jelleşme süreci ile arttığı belirlenmiştir. Bu durum viskoelastik davranış sergileyen örneklerde özellikle 75-80°C arasında SYS'nin katı/jel-benzeri bir yapı sergilediği saptanmıştır. Ultrases uygulanmayan tüm SYS örneklerinde elastik modülüsün depolama sonrasında (17. gün) en düşük düzeyde olduğu ve viskoz modülüstense daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

## SONUÇLAR

Ultrases uygulanan SYS örneklerinde, uygulama koşulları (Watt gücü), yumurtanın yapısal ve reolojik özellikleri üzerinde etkisinin incelendiği çalışmada; ultrases 100 W uygulanması SYS'nin stabilizasyonunda 250 W uygulamasına göre daha etkili olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında frekans artışı ile elastik modülüsün ve viskoz modülüsün arttığı belirlenmiştir. Ultrases uygulanmayan tüm SYS örneklerinde  $G''$ 'nin  $G'$ 'den daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sonikasyon uygulaması ile viskoelastik davranış gösteren sıvı yumurta örneklerinin sıvı-jel benzeri bir yapı sergilediği gözlenmiş olup, 100 W ve 250 W ile muamele edilen SYS numunelerinin  $G'$  ve  $G''$  değerlerini diğer numunelere göre önemli düzeyde değiştirdiği gözlenmiştir. Yapılan çalışma değerlendirildiğinde düşük açılal frekans değerlerinde SYS sıvı benzeri ( $G'' < G'$ ) karakterde iken artan frekans değerinde de elastik/katı benzeri ( $G' > G''$ ) bir yapısal davranış sergilemiştir. Bu açıdan özellikle proses tasarımı 100 W uygulamasının akış davranışı açısından, sistemdeki akustik kaviteasyon etkisinin minimize edilerek SYS ürünü üzerindeki deformasyon etkisinin azaltılması açısından önerilmektedir.

Çalışma sonucunda ultrases uygulamasının yumurtanın yapısal ve reolojik özellikleri üzerindeki hedeflenen etki karakterize edilirken uygulamanın SEM değerleri ile SYS üzerindeki lezyon ve deformasyon etkisi ile reolojik davranış üzerindeki viskoziteyi azaltma etkisi belirlenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü Birimi (ÇOMÜ-BAP) tarafından FBD-2017-1232 proje numarası ile desteklenmiştir. Çalışmanın ayrıca 'Sıvı Yumurtanın Ultrases Tekniğiyle İşlenmesi Yöntemi' başlık ve 2018/08369 numarası ile patent başvurusu yapılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Ahmed, J., Ramaswamy, H.S., Alli, I., Ngadi, M. (2003). Effect of high pressure on rheological characteristics of liquid egg. *LWT-Food Science and Technology*, 36, 517-524.
- [2] Akay, G., Ertani, E. (2015). Gıda endüstrisinde nişasta analizlerine yönelik Anton Paar çözümleri. *Dünya Gıda*, <http://www.dunyaagida.com.tr/haber.php?nid=3553> Erişim Tarihi: 2018.
- [3] Arzeni, C., Pérez, O.E., Pilosof, M.R. (2011). Aggregation and gelation properties of egg white proteins as affected by high intensity ultrasound, in *11<sup>th</sup> International Congress on Engineering and Food*, Athens, Greece, pp 1-6.
- [4] Aşık, H. (2019). Lipaz Enzimi ile Modifiye Edilen Sıvı Yumurta Akının Reolojik Karakterizasyonu ve Üretilen Bezenin Fonksiyonel Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Çanakkale.

- [5] Cabeza, M.C., Garcia, M.L., De La Hoz, L., Cambero, I., Ordonez, J.A. (2005). Thermoultrasonication eliminates Salmonellae from intact eggshells without changing the functional properties of their components. *Journal of Food Science*, 70, 292-295.
- [6] Caner, C., Yüceer, M. (2015). Maintaining functional properties of shell eggs by ultrasound treatment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95, 2880-2891.
- [7] Chemat, F., Huma, Z., Khan, M.K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18, 813-835.
- [8] Dolatowski, Z.J., Stadink, J., Stasiak, D. (2007). Applications of ultrasound in food technology. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 6, 89-99.
- [9] Gallo, M., Ferrara, L., Naviglio, D. (2018). Application of ultrasound in food science and technology: A perspective. *Foods*, 7.
- [10] Gharbi, N., Labbafi, M. (2018). Effect of processing on aggregation mechanism of egg white proteins. *Food Chemistry*, 252, 126-133.
- [11] Hamid-Samimi, M.H., Swartzel, K.R. (1985). Pasteurization design criteria for production of extended shelf-life refrigerated liquid whole egg. *Journal of Food Processing and Preservation*, 8, 219-224.
- [12] İbanoğlu, E., Alben, E. (2007). Protein-Hidrokoloid Sistemlerinde Fonksiyonel ve Reolojik Özellikler, TÜBİTAK TOVAG Proje No: 105O123, Tübitak, Ankara.
- [13] Jia, Y., Cao, X., Liu, H. (2014). Isolation of phospholipid from egg yolk with ultrasonic separation technology. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 6, 350-353.
- [14] Kumbár, V., Nedomová, Š., Strnková, J., Buchar, J. (2015). Effect of egg storage duration on the rheology of liquid egg products. *Journal of Food Engineering*, 156, 45-54.
- [15] Marcet, I., Álvarez, C., Paredes, B., Rendueles, M., Díaz, M. (2017). Transparent and edible films from ultrasound-treated egg yolk granules. *Food Bioprocess Technology*, 11, 735-747.
- [16] Marcet, I., Collado, S., Paredes, B., Díaz, M. (2016). Rheological and Textural properties in a bakery product as a function of the proportions of the egg yolk fractions: discussion and modelling. *Food Hydrocolloids*, 54, 119-129.
- [17] Mosaddegh, E., Hassankhani, A. (2014). Preparation and characterization of nano-CaO based on eggshell waste: Novel and green catalytic approach to highly efficient synthesis of pyrano[4,3-b]pyrans. *Chinese Journal of Catalysis*, 35, 351-356.
- [18] Naderi, N. (2015). Development of A Fractionation Process for The Preparation of A Folate-Enriched Protein Extract from Hen Egg Yolks, Ed. Universita Laval, Italy.
- [19] Naderi, N., House, J.D., Pouliot, Y. (2016). Effect of selected pre-treatments on folate recovery of granule suspensions prepared from hen egg yolk. *LWT - Food Science and Technology*, 68, 341-348.
- [20] Özbakır, S. (2015). Yumurta Yüzeyinin Dezenfeksiyonunda Ozon ve Ultrasonikasyon Teknolojilerinin Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bolu.
- [21] Piyasena, P., Mohareb, E., McKellar, R.C. (2003). Inactivation of microbes using ultrasound: a review. *International Journal of Food Microbiology*, 87, 207-216.
- [22] Rastogi, N.K. (2011). Opportunities and challenges in application of ultrasound in food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51, 705-722.
- [23] Ruth, C., Veldea, J.V., Mathuesa, W., Liedekerkeb, P.V., Moldenaersa, P. (2013). A rheological characterisation of liquid egg albumen, in *InsideFood Symposium*, Ed, Leuven, Belgium, pp 1-6.
- [24] SAS, (2003). SAS User Guide Version 9.1.3. Statistical Analysis Systems Institute. Cary, NC, USA, Ed.
- [25] Soria, A.C., Villamiel, M. (2010). Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 21, 323-331.
- [26] Spencer, J.E. Scanlon, M.G., Page, J.H. (2008). Drainage and Coarsening Effects on the Time-Dependent Rheology of Whole Egg and Egg White Foams and Batters, in *Bubbles in Food 2*, ed. by Campbell GMScanlon MG, Pyle DL. AACC International Press, St Paul, MN, USA, pp 117-129.
- [27] Stefanovic, A.B., Jovanovic, J.R., Dojcinovic, M.B., Levic, S.M., Nedovic, V.A., Bugarski, B.M., Knezevic-Jugovic Z.D. (2017). Effect of the controlled high-intensity ultrasound on improving functionality and structural changes of egg white proteins. *Food Bioprocess Technology*, 10, 1224-1239.
- [28] Sun, Y., Yang, H., Zhong, X., Zhang, L., Wang, W. (2011). Ultrasonic-assisted enzymatic degradation of cholesterol in egg yolk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12, 505-508.
- [29] Vilku, K., Mawson, R., Simons, L., Bates, D. (2008). Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry - a review. *Inv Food Sci & Emerg Tech* 9:161-169.
- [30] Wen-jing, W., Bei-hai, Z., Wei-wei, L., Xiang-rong, C., Guang-hui, M., Yin-hua, W. (2007). Pretreatment of Chicken Egg White by Ultrasonic Wave Homogenization and Glucose Oxidase Desugarization. *Chinese Journal of Process Engineering*, 7, 579-583.
- [31] Xie, Y., Wang, J., Wang, Y., Wu, D., Liang, D., Ye, H., Cai, Z., Ma, M., Geng, F. (2020). Effects of high-intensity ultrasonic (HIU) treatment on the functional properties and assemblage structure of egg yolk. *Ultrason Sonochem* 60, 104767.
- [32] Yuceer, M. (2020). Structural and rheological characterization of liquid egg white modified with phospholipase A2 enzyme. *Journal of Food Processing and Preservation*, e14450.
- [33] Yüceer, M. (2007). Kolesterolü Azaltılmış Yumurta Sarısı Üretimi ve Düşük Kolesterolü Mayonez Üretiminde Kullanımı. İstanbul Teknik Üniversitesi,



- Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [34] Yüceer, M., (2018). Sıvı Yumurtada ultrases tekniği kullanımının ürünün bazı fiziksel ve fonksiyonel özellikleri üzerindeki etkisi. *Gıda*, 43, 1019-1029.
- [35] Yüceer, M. (2019). Effect of Ultrasound Processing on the Physico-Functional Characteristics of Liquid Egg Yolk. In *XVIII European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products*, Çeşme, İzmir, Turkey.
- [36] Yüceer, M. (2019). Yumurta ve Yumurta Ürünleri İşleme Teknolojisi ve Uygulamaları. Sidas Medya Ltd.Şti., Çankaya, İzmir.
- [37] Yüceer, M., Temizkan, R., Aldemir, H., Caner, C. (2015). Enzim Modifiye Sıvı Yumurta Akının Reolojik Karakterizasyonu - Enzyme Modified Liquid Egg White Rheological Characterization, in 6 *Ulusal Veteriner Gıda Hijyeni kongresi*, Ed by Sancak PDYC. (Sözlü Sunum), Van.
- [38] Yüceer, M., Temizkan, R., Caner, C. (2012). Fonksiyonel gıda olarak yumurta: bileşenleri ve fonksiyonel özellikleri. *Akademik Gıda*, 10, 70-76.
- 
-