

Buğday Ruşeym Yağı ile Doğal Vakslar Kullanılarak Üretilen Oleojellerin Fizikokimyasal Özellikleri

Kübra CANPOLAT^{1*}, Tuğça BİLENLER KOÇ², İhsan KARABULUT³

^{1,2,3} Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

*¹ kguldemir@gmail.com, ² tugca.bilenler@inonu.edu.tr, ³ ihsan.karabulut@inonu.edu.tr

(Geliş/Received: 03/02/2023;

Kabul/Accepted: 10/07/2023)

Öz: Bu çalışmada, buğday ruşeym yağı (WGO) ile %3, 7 ve 10 oleojelatör konsantrasyonlarında WGO oleojelleri üretilmiş ve yapısal özellikler bakımından en uygun oranların saptanmasına çalışılmıştır. Stabil jeller %3 kandelilla vaksı (CDW), %8 karnauba vaksı (CRW) ve %6 pirinç kepeği vaksı (RBW) oranlarıyla elde edilmiş olup, üretilen WGO oleojellerinin 3 ay süresince 4 ve 20 °C'deki depolanmasında kalite özellikleri belirlenmiştir. Oleojellerin 20 ve 35 °C'de ölçülen % katı yağ oranları (SFC) oleojelatör oranına bağlı olarak artmıştır. Reoloji analizi sonuçlarına göre CDW ve RBW oleojellerinin depolama modüllerinin (G') kayıp modüllerden (G'') büyük olduğu ve elastik jele ait özellikler taşıdıkları saptanmıştır. Bu çalışmada WGO'nun oleojelasyon ile yapılandırılması sonucu düşük maliyetli, depolama stabilitesi yüksek, oda sıcaklığında kıvamlı, trans yağ asidi içermeyen alternatif bir ürün başarıyla üretilmiştir.

Anahtar kelimeler: Buğday ruşeym yağı, kandelilla vaksı, karnauba vaksı, pirinç kepeği vaksı, oleojel.

Physicochemical Properties of Oleogels Made of Natural Wax with Wheat Germ Oil

Abstract: In this study, wheat germ oil (WGO) oleogels were produced using WGO at 3%, 7%, and 10% oleogelator concentrations, and the most suitable ratios in terms of structural properties were tried to be determined. Stable gels were obtained with 3% candelilla wax (CDW), 8% carnauba wax (CRW), and 6% rice bran wax (RBW), and the quality properties of the WGO oleogels were determined during storage at 4 and 20 °C for 3 months. The solid fat content (% SFC) of the oleogels measured at 20 and 35 °C increased depending on the oleogelator ratio. According to the results of the rheology analysis, it was determined that the storage modulus (G') of CDW and RBW oleogels were higher than the loss modulus (G''), and they have properties of the elastic gel. In this study, as a result of structuring WGO with oleogelation, an alternative product with low cost, high storage stability, viscous at room temperature, and no trans-fatty acid was successfully produced.

Keywords: Wheat germ oil, candelilla wax, carnauba wax, rice bran wax, oleogel.

1. Giriş

Yemeklik katı yağlar, gıda endüstrisinde işlenmiş ürüne fonksiyonel özellikler kazandırmak amacıyla kullanılan önemli bir gıda maddesi grubudur. Bu yağların stabilize edici ve kıvam verici özellikleri sayesinde gıdaların tekstürel özellikleri iyileştirilmekte ve istenilen özellikler kazandırılmaktadır. Katı yağların yapısal özellikleri bileşiminde var olan yağ asitlerinin zincir uzunluğu ve doymuşluk seviyesi, cis/trans izomer durumu ve yağ asitlerinin gliserol üzerindeki pozisyonu gibi etmenlerden şekillenen kristal yapısına bağlıdır. Ancak trans ve doymuş yağların tüketimi ile sağlık arasındaki ilişki son yirmi yılda yoğun bir şekilde tartışılmaktadır. Özellikle diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, bazı kanser türleri, obezite ve buna bağlı olarak ortaya çıkan hastalıkların yağ tüketimiyle ilişkili olduğuna dair oldukça fazla veri bulunmaktadır. Trans ve doymuş yağ asitlerinin fazla miktarda tüketilmesi, “kötü kolesterol” olarak da adlandırılan düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) kolesterolün kandaki seviyelerinde bir artış, “iyi kolesterol” olarak bilinen yüksek yoğunluklu lipoprotein (HDL) kolesterol seviyelerinde ise bir düşüş ile ilişkilendirilmiştir. Her iki etki de koroner kalp hastalığı riskinin artmasına sebep olmaktadır. [1, 2]. Bu nedenle doymuş ve trans yağ içeriği düşük, yağ-bazlı gıda ürünlerinin üretimi için alternatif stratejiler geliştirmek amacıyla çalışmalar yapılmaya başlanmıştır [3]. Bu kapsamda, diyet içeriğinde katı yağların doymamış yağlarla ikame edilmesi önerilmektedir. Bunu sağlayabilmek için sıvı yağların besinsel kalitesini bozmadan, sadece fiziksel niteliğini modifiye ederek, onlara katı yağların fonksiyonel özelliklerine benzer özellikler kazandırmak için çalışmalar yürütülmüş ve çok farklı stratejiler geliştirilmiştir.

* Sorumlu yazar: kguldemir@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-7397-3335, ² 0000-0001-7831-6337, ³ 0000-0002-9014-8863

Henüz çok yeni ve hâlâ gelişmekte olan bir alternatif yapılandırma metodu olarak lipit organojelleri veya oleojeller dikkat çekmektedir. Oleojel, genel olarak üç boyutlu bir jel ağı içerisine hapsedilen, yenilebilir bitkisel yağ olarak tanımlanmaktadır. Oleojeller stabil, termo-dönüşümlü, viskoelastik ve susuz yapılardır. Mevcut tüketici talepleri, kaliteden ödün vermeden düşük oranda katı yağ içeren ürünlerin üretilmesi yönündedir ve bu beklentiyi karşılamak amacıyla düşük oranda katı yağ içeren işlenmiş gıdaların üretimi için oleojellerin kullanımının artırılması önerilmektedir [4].

Bir çalışmada RBW'nin %1.0 oranında zeytinyağını jelleştirdiği, bu oranın CDW için %2.0, CRW için %4.0 olduğu saptanmıştır. Bahsedilen oleojelatör konsantrasyonlarında 20 °C'de zeytinyağında jel oluşum sürelerinin RBW için 7–8 dk, CDW için 6–7 dk ve CRW için 13–14 dk olduğu bildirilmiştir [5]. CDW, CRW, RBW, ayçiçek ve balmumu ile soya yağı kullanılarak elde edilen oleojellerin hidrojene bitkisel yağlar, petrol vaksları ve gıda bazlı olmayan diğer jel ajanları ile kıyaslandığı bir çalışmada, soya yağında minimum jel oluşturma konsantrasyonlarının CDW için %2, CRW %4, RBW %1, balmumu için %2, olduğu bildirilmiştir. Buna ilaveten CRW'nin %3 ve altındaki konsantrasyonlarda zeytinyağında oleojel oluşumunun gözlemlenmediği rapor edilmiştir [6].

Buğday ruşeym yağı (WGO) sahip olduğu yüksek doymamışlık derecesi sonucu, düşük oksidatif dayanıma sahipken, bileşiminde yer alan tokoferoller, fitosteroller ve karotenoitler bakımından oldukça zengin olması ile dikkat çekmektedir. Ticari olarak WGO küçük miktarlarda (50-100 mL) şişelenerek gıda takviyesi olarak yüksek fiyatlarla satılmaktadır. WGO'nun içerdiği biyoaktif bileşenlere zarar verilmeden üretiminin gerçekleştirilmesi ve kullanım çeşitliliğinin artırılabilmesi için yenilikçi yöntemler ile muhafaza edilmesi gerekmektedir. Buradan hareketle, WGO'ya fonksiyonellik sağlayan bileşim unsurlarının ve WGO'da yer alan diğer yapıların oksidatif dayanıklılığı başta olmak üzere, raf ömrünün artırılması amacıyla yapılan bu çalışma kapsamında, farklı oleojelatörler kullanılarak en olumlu etkiyi sağlayan oleojel yapısı oluşturulmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan soğuk presleme ile üretilmiş ham WGO, Arı Mühendislik Ltd. Şti (Ankara) firması tarafından sağlanmıştır. CDW ile CRW Kahlwax Co. (Kahl GmbH & Co., Trittau, Almanya) ve RBW Agrakem (Barselona, İspanya) şirketlerinden temin edilmiştir. Örneklerin analizinde kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıkta olup, Sigma Chem. Co. (St. Louis, MO, USA) ve Merck Co. (Darmstadt, Germany) şirketlerinden temin edilmiştir.

2.1. Oleojellerin hazırlanması

Oleojel oluşumu için, 90 °C'deki su banyosunda tamamen eritilen vakslar (CDW, CRW, RBW), aynı sıcaklıktaki WGO ile homojen bir şekilde belirli oranlarda karıştırılmıştır. Bu oranlar yeni örneklerde yapılacak analizler için %3, %7 ve %10 olarak, depolanmış örneklerde yapılacak analizler için CDW (%3), CRW (%8) ve RBW (%6) (her oleojelatörün stabil jel meydana getirdiği oranlar seçilmiştir) olarak belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen bu homojen sıvı karışım steril falkon tüplerine 50 g olacak şekilde doldurulmuş ve tüpler kapatılmıştır. Oleojel oluşumu için örnekler 24 saat boyunca 20 °C ve 4 °C'de bekletilmiş ve aynı sıcaklıklarda 3 ay boyunca depolanmıştır. Hazırlanan oleojeller kullanılarak gerçekleştirilen tüm analizler aksi belirtilmedikçe üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Yağ asidi kompozisyonu

Yağ asidi metil esterlerinin oluşturulmasında; American Oil Chemists' Society tarafından önerilen metot kullanılmıştır [7]. Cam tüplere tartılan yaklaşık 100 mg yağ örneği 2 mL hegzanda çözülmüş ve üzerine metanolde hazırlanmış 2 N KOH çözeltisinden 0.2 mL eklenmiştir. Tüpler 30 sn vortekslendikten sonra 3000 rpm' de 5 dk santrifüjlenmiştir. Üst kısımdaki hegzan fazı analiz edilmek üzere GC viallerine alınmıştır. Hazırlanan yağ asidi metil esterleri oto-enjektör (Agilent, 7683B) kullanılarak gaz kromatografisi cihazına (Agilent, 7890A) enjekte edilmiştir. Yağ asitlerinin tanımlanmasında yağ asidi metil esteri standartları karışımı (37 FAMES mixture, Steinheim, Sigma-Aldrich, Almanya) kullanılmıştır. Elde edilen kromatogramlarda her bir yağ asidinin pik alanı düzeltme yapılmadan, toplam pik alanı içindeki oranı şeklinde belirlenmiştir.

2.3. NMR ile katı yağ içeriği (SFC) analizi

Hazırlanan numunelerin % katı yağ oranı (SFC) ölçümleri NMR (Bruker NMR Analyzer mq20 The Minispec, Bruker Optics, Inc.) cihazı ile TS EN ISO 8292 metoduna göre gerçekleştirilmiştir [8]. Ölçüm sıcaklıklarında (20, 30 ve 35 °C) 30 dk bekletildikten sonra %SFC oranları belirlenmiştir.

2.4. Toplam antioksidan kapasite

Ekstraksiyon işlemi için 1 g oleojel 5 mL hekzan içerisinde tamamen çözülmüş, üzerine 5 mL metanol: su (80:20) karışımı eklenip 10 dk boyunca vorteksledikten sonra 3500 rpm'de 10 dk 4 °C'de santrifüj edilmiştir. Santrifüjlenen tüpler içerisindeki berrak kısım alınarak toplam antioksidan aktivite ölçümünde kullanılmıştır [9]. Antioksidan kapasite belirlemesi ABTS tekniğine göre gerçekleştirilmiştir. Yöntemin esası yeşil renkli stabil bir bileşik olan ABTS [2.2-Azinobis-(3-Etibenzotiozidin-6-Sulfonik asit)] radikalinin indirgenmesi sonucu renkte oluşan azalmanın spektrofotometrik olarak ölçülmesine dayanmaktadır. Örneklerin antioksidan kapasitesi $\mu\text{mol TEAC}$ (trolox equivalent antioksidan kapasitesi) /g örnek ve % inhibisyon değerleri olarak belirlenmiştir. Bu amaçla E vitamini analogu olan Trolox kullanılarak hazırlanan kalibrasyon grafiği kullanılmıştır [10].

2.5. Reolojik özelliklerin belirlenmesi

Örneklerin reolojik davranışlarının ölçümünde Oh et al. (2017) tarafından uygulanan prosedür kullanılmıştır [11]. Bu amaçla frekans tarama (temperature ve frequency sweep) testleri TA reometre (AR 2000ex, Sussex, UK) ile paralel plakalı geometri (20 mm çapında ve 2 mm yüksekliğinde) kullanılarak yapılmıştır. Frekans tarama testleri 0.1-20 Hz arasında belirlenmiş ve depolama (G') ve kayıp (G'') modülüsleri tespit edilmiştir.

2.6. İstatistik

Uygulamalar arasındaki farklılıklar SPSS 16.0 kullanılarak One-Way ANOVA (tek yönlü varyans analizi) ile incelenmiştir. Sonuçlar ($p < 0.05$) önem seviyesinde değerlendirilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Yağ asidi bileşimi

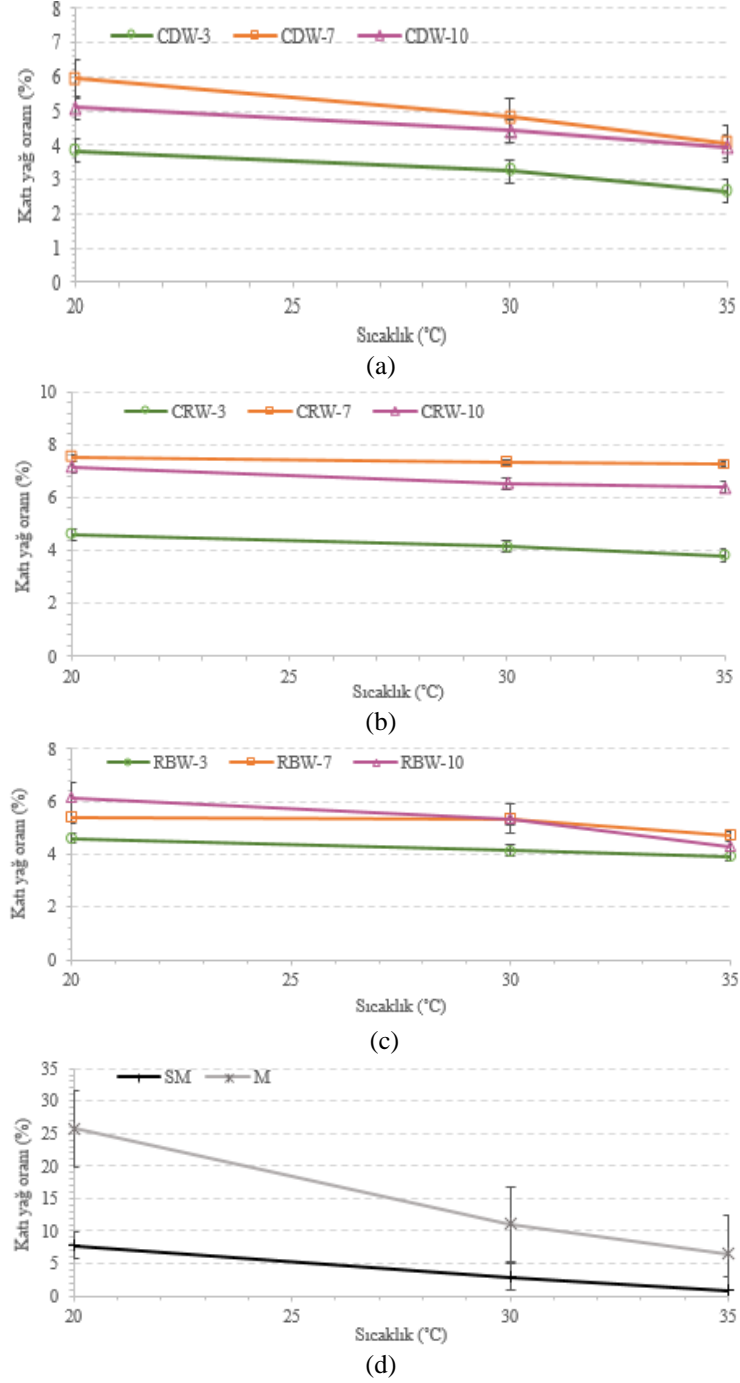
WGO'nun % yağ asidi bileşimi; palmitik asit (C16:0):17.29, palmitoleik asit (C16:1): 0.19, stearik asit (C18:0): 0.83, oleik asit (C18:1): 17.88, linoleik asit (C18:2): 55.14, linolenik asit (C18:3): 7.03, araşidik asit (C20:0): 1.50 ve gadoleik asit (C20:1): 0.14 olarak tespit edilmiştir (Tablo 1). Farklı buğday çeşitlerinden üretilen WGO'larda yağ asidi oranını belirlemek için yapılan bir çalışmada linoleik asit (C18:2) miktarı %56 olarak bulunmuştur [12]. Benzer şekilde yine WGO'nun yağ asidi kompozisyonunun tespit edilmesi için yapılan başka bir çalışmada, toplam yağ asitlerinin yarısına yakını linoleik asit, toplam doymuş yağ asitlerinin %73.5'i ise palmitik asit olarak bildirilmiştir [13]. Literatürde WGO için rapor edilen yağ asidi kompozisyonlarının farklı olmasının; buğdayın büyüme koşulları, depolama ve saklama şartları, ekstraksiyon veya analiz farklılığı gibi nedenlerden kaynaklandığı bildirilmiştir [14].

Tablo 1. WGO'nun yağ asidi kompozisyonu (%)

Yağ asidi	WGO
C16:0	17.29± 0.02
C16:1	0.19± 0.00
C18:0	0.83± 0.01
C18:1	17.88± 0.06
C18:2	55.14± 0.04
C18:3	7.03± 0.00
C20:0	1.50± 0.01
C20:1	0.14± 0.01

3.2. Katı yağ oranı (SFC)

Gıda özelliklerini, uygulamalarını ve farklı depolama, işleme ve tüketim koşullarındaki davranışlarını tanımlamak ve anlamak için belirlenen özelliklerden biride katı yağ oranıdır. Katı yağlardaki SFC değeri, katı yağlar için ürünün son kalitesini, kristalleşme eğilimini, elastik yapısını, sürülebilirliğini direkt etkileyen bir parametredir [15]. Farklı oranlarda (%3, 7, 10) oleojelator kullanılarak üretilen oleojellerin üç farklı sıcaklıkta (20, 30 ve 35 °C) belirlenen SFC'leri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Örneklerin katı yağ içerikleri; (a) %3, 7, 10 konsantrasyonlarda CDW içeren oleojeller, (b) %3, 7, 10 konsantrasyonlarda CRW içeren oleojeller, (c) %3, 7, 10 konsantrasyonlarda RBW içeren oleojeller, (d) SM : Sürülebilir margarin, M : Mutfak margarini.

Üretilen oleojellerin %SFC'lerinin ne anlam ifade edebileceğini belirginleştirmek amacıyla piyasada en fazla satılan birer adet ticari margarin (M) ve sürülebilir margarinin (SM) de SFC'leri saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ölçüm yapılan üç sıcaklık derecesinde de genel olarak oleojeller arasında CRW ile üretilen oleojellerin daha yüksek %SFC'ye sahip olduğu görülmüştür.

CRW %7 ve %10 oranlarında üretilen oleojellerin 20 °C'deki %SFC'si ile SM'nin %SFC'lerinin oldukça yakın olduğu söylenebilir ($p>0.05$). Bu ölçüm sıcaklığında diğer iki oleojelatör (CDW ve RBW) ile üretilen oleojellerin %SFC'leri her iki margarine kıyasla oldukça düşük bulunmuştur ($p<0.05$).

Ayrıca ölçüm sıcaklığının artışına bağlı olarak çoğu durumda istatistiksel olarak önemsiz sayılabilecek ($p>0.05$) azalmaların olduğu görülmüştür. Bu durumun kullanılan oleojelatörlerin ergime noktalarının yüksek olması (CDW: 60-73 °C, CRW:80-85 °C ve RBW:78-82 °C) [16, 17, 5] ve oleojel üretiminde kullanılan konsantrasyonları ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Aspir yağı ve farklı konsantrasyonlarda (%0.5, 1 ve 3) CDW kullanılarak oleojel üretilen bir araştırmada üretilen oleojellerin 5 ve 25 °C'de 14 gün depolama süreci boyunca bazı özellikleri incelenmiştir. Çalışmada sonuç olarak %1 CDW içeren oleojelin 5 ve 25 °C'deki %SFC'lerinin sırasıyla %0.90 ve 0.59 olduğu belirtilmiştir.

Aynı çalışmada %3 CDW içeren oleojelin 5 ve 25 °C'deki %SFC'lerinin sırasıyla %2.57 ve %2.11 olduğu belirtilmiştir [18].

Aspir yağı ile CDW ve tripalmitin oleojelatörleri kullanılarak oleojellerin hazırlandığı bir çalışmada oleojellerin %SFC analizi yapılmıştır. Verilere göre %1 tripalmitin ve %3 CDW içeren oleojellerin sadece %3 CDW içeren oleojellere göre %SFC değerlerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Oleojellerin %SFC'lerinin %2.25-3.69 arasında değiştiği bildirilmiştir [19]. Analiz bulguları literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında uyumluluk göstermektedir.

Bu bilgiler ışığında, sıcaklık yükseldikçe oleojellerin %SFC değerlerinde azalma olduğu ve oleojelatör konsantrasyonu arttıkça oleojellerin %SFC değerlerinin arttığı sonucuna varılmıştır. Bu değerlerin kullanılan yağın ve oleojelatörlerin çeşidine bağlı olarak değişebileceği görülmüştür [18, 19].

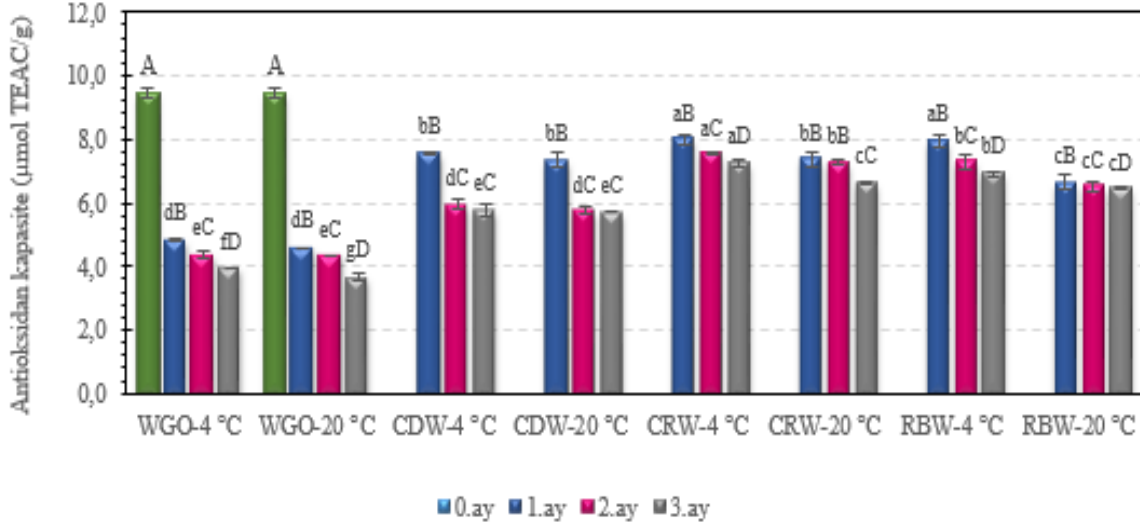
3.3. Toplam antioksidan kapasite

Antioksidanların vücudumuzdaki toksik özellikte olan serbest radikalleri azaltma ya da yok etme kabiliyetleri vardır. Oksidatif stresin sebep olduğu hastalıkları (kanser, kardiyovasküler hastalıklar vb.) ve serbest radikallerin olumsuz etkilerini önlemek için antioksidanların insan beslenmesinde rolü çok büyüktür. Antioksidanlar içerdikleri fitokimyasallarla oksidan ve antioksidan dengesini sağlayarak oksidatif stresin önüne geçmekte ve hastalıklara karşı koruyucu etki göstermektedir [20].

WGO ve üç farklı oleojelatör ile oleojel haline getirilen WGO'nun 2 farklı sıcaklıkta 3 ay boyunca depolanması sonucu antioksidan kapasitelerinde oluşan değişim Tablo 2 ve Şekil 2'de verilmiştir. Antioksidan kapasite açısından en avantajlı oleojellerin RBW-20 oleojelleri olduğu görülmektedir. Bu durum RBW'nin yapısında doğal olarak bulundurduğu antioksidan özelliğe sahip γ -orizanol bileşiğinden kaynaklanabilmektedir. WGO ve tüm oleojellerde 4 °C'deki değerlerin 20 °C'deki değerlere göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca 90 günlük depolama sonunda WGO'nun antioksidan kapasitesinin üretilen diğer oleojellere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Depolama sıcaklığına bakıldığında CDW-4 ve CDW-20 hariç ($p>0.05$) oleojeller arasında ve oleojellerin 4 °C'de ve 20 °C'deki antioksidan değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($p<0.05$). WGO'nun ABTS yöntemiyle antioksidan kapasitesinin incelendiği bir çalışmada WGO'nun antioksidan kapasitesi 6.43 $\mu\text{mol TEAC}/100\text{ g}$ olarak bulunmuş [21], benzer bir çalışmada 86.7 mg Trolox/ L yağ olarak bulunmuştur [22]. WGO'nun biyoaktif bileşenlerinin incelendiği bir çalışmada WGO'nun ABTS yöntemiyle yapılan antioksidan analizinde antioksidan kapasitenin 270 $\mu\text{mol Trolox/g}$ olduğu tespit edilmiştir [23]. Görüldüğü gibi literatürdeki sonuçlarla çalışmamızda elde edilen sonuçlar farklılık göstermektedir. Bu farklılıkların WGO'nun ekstraksiyon yöntemi, depolama şartları (sıcaklık-süre), depolama süresi boyunca meydana gelen oksidasyon bileşikleri, buğdayın yetiştiği iklim koşulları gibi nedenlerden dolayı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca antioksidan aktivite analizi için hazırlanan ekstraktlarda değişik çözücüler kullanılması (metanol, etanol, hekzan, su vb.) ve bunların oranları da sonuçların farklı çıkmasına yol açmış olabilir. Bunların yanı sıra çalışmamızda WGO'nun oleojelasyon yöntemiyle yapılandırılması da WGO'yu bu bahsedilen biyoaktif bileşenlerin kaybına karşı koruyucu etki göstermiştir.

Tablo 2. Farklı oleojelatörler ile elde edilen WGO oleojellerinin depolama süresince antioksidan kapasitesindeki değişim ($\mu\text{mol TEAC/g}$) değişim.

Olejeller- Depolama sıcaklığı (°C)	Başlangıç	Depolama (gün)		
		30.	60.	90.
WGO-4	9.43 ± 0.14A	4.84 ± 0.02dB	4.37 ± 0.09eC	3.95 ± 0.02fD
WGO-20	9.43 ± 0.14A	4.60 ± 0.01dB	4.35 ± 0.02eC	3.69 ± 0.12gD
CDW-4	-	7.56 ± 0.04bB	5.94 ± 0.15dC	5.76 ± 0.19eC
CDW-20	-	7.35 ± 0.26bB	5.74 ± 0.12dC	5.72 ± 0.02eC
CRW-4	-	7.98 ± 0.15aB	7.53 ± 0.05aC	7.26 ± 0.11aD
CRW-20	-	7.37 ± 0.24bB	7.25 ± 0.08bB	6.62 ± 0.01cC
RBW-4	-	7.93 ± 0.20aB	7.28 ± 0.21bC	6.91 ± 0.08bD
RBW-20	-	6.65 ± 0.21cB	6.51 ± 0.14cC	6.46 ± 0.06cD

**Şekil 2.** Farklı oleojelatörler ile elde edilen WGO oleojellerinin antioksidan kapasitesinin değişimi ($\mu\text{mol TEAC/g}$). (Aynı kolonda gösterilen küçük harfler, farklı oleojel ve farklı depolama sıcaklığına bağlı olarak örnekler arasındaki farklılığı, büyük harfler ise aynı oleojel ve aynı depolama sıcaklığında depolama ayları arasındaki farklılığı göstermektedir ($p < 0.05$)).

3.4. Reolojik özelliklerin belirlenmesi

Reoloji, mekanik kuvvetlerin etkisi ile akışkan maddelerde oluşan akış ve deformasyonu inceleyen bir bilim dalıdır. Gıdaların fiziksel değişimlerinin ve reolojik karakterlerinin bilinmesi, proses ekipmanlarının doğru bir şekilde seçilmesini sağlar ve işlem verimliliğinin artmasına katkıda bulunur [24].

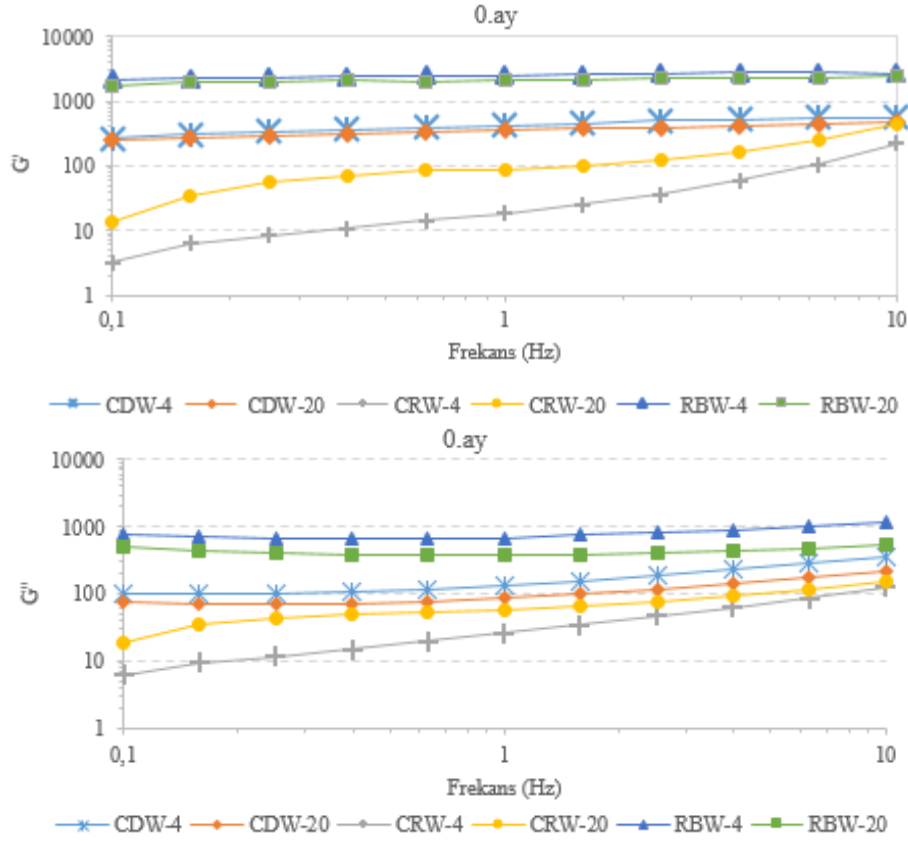
Bilindiği gibi depo modülü G' bir örneğin katı-benzeri viskoelastik özelliklerini ve kayıp modül G'' değeri likit-benzeri özelliklerini betimler. Bu iki parametre, deformasyon enerjisi ve içsel akışın ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Jel tipi örneklerde her zaman $G' > G''$ koşulunun sağlanması gerekmektedir.

Olejellerin reoloji sonuçları Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Tüm aylarda oleojellerin reoloji analizi sonuçlarına göre CDW ve RBW oleojellerinin depolama modüllerinin (G'), kayıp modüllerinden (G'') büyük olduğu görülmekte ve bu nedenle elastik bir yapıda olduğu ve jele ait özellikler taşıdığı görülmektedir. Ayrıca RBW oleojelinin depolama ve kayıp modülü CDW oleojelinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla RBW oleojelinin daha elastik bir yapıda olduğu saptanmıştır. CRW oleojellerinin ise en düşük depolama ve kayıp modülü değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

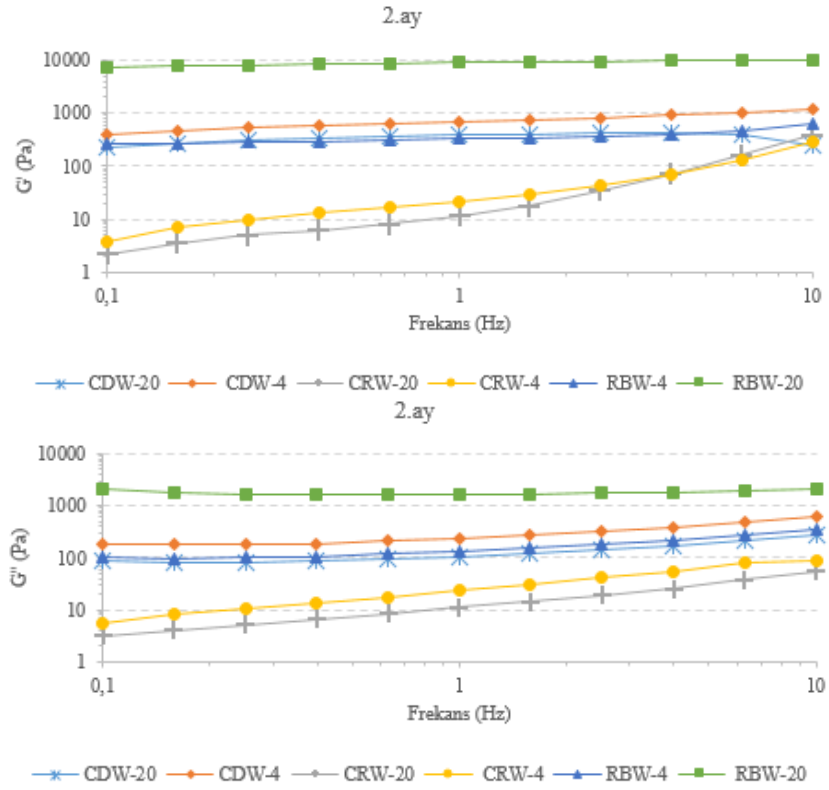
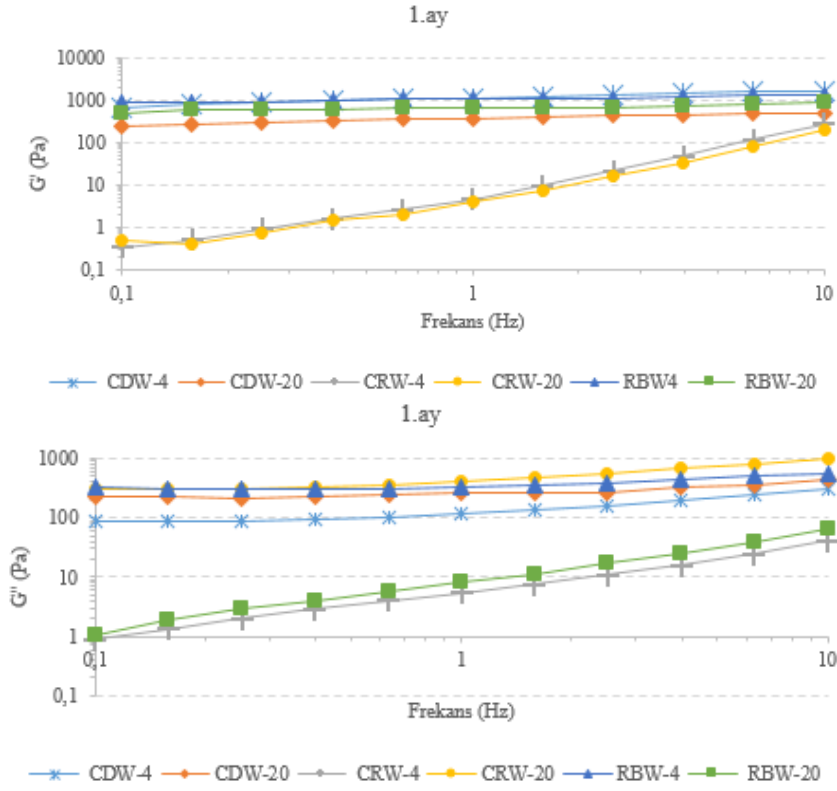
Bir çalışmada ayçiçek yağı ile hazırlanan ayçiçek vaksı, CRW ve RBW oleojellerinin frekansa karşı G' ve G'' değerleri incelenmiş ve G'' 'ye karşılık gelen değerlerin, G' değerlerinden yüksek olduğu ve örneklerin bir jel form gösterdiği belirtilmiştir [4].

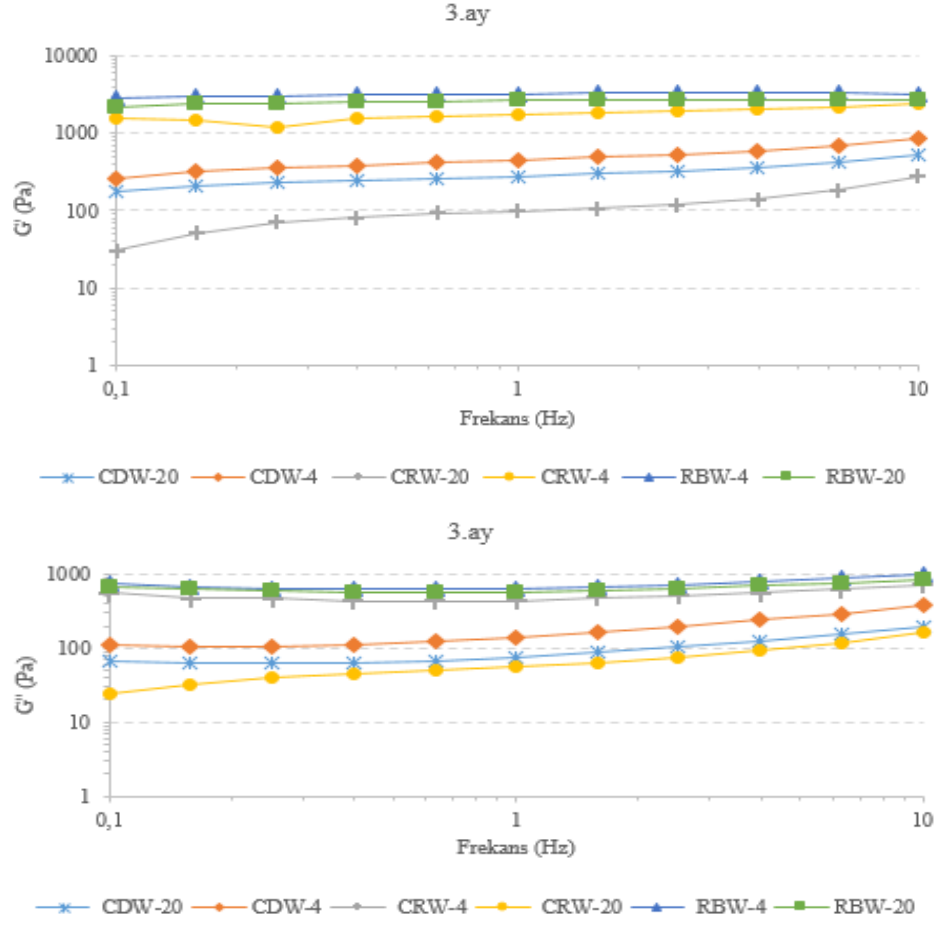
Literatürde yer alan sonuçlarda göz önünde bulundurulduğunda; bitkisel yağın oleojelatör kullanılarak yapılandırılması, yağa viskoelastik yapı kazandırarak, gıda ürünlerinde katı yağa alternatif olarak kullanılabilceğini göstermiştir. Gıda endüstrisinde nihai ürünün (kek, hamur, dondurma) istenen kalitesini elde etmek için, ürünün formülasyonunun reolojik analizlerde elde edilen optimum özelliklere göre ayarlanmasının faydalı olabileceği düşünülmüştür. Tan delta değeri, viskoz modülünün elastiklik modülüne oranıdır ve malzemeye uygulanan enerjinin malzeme içindeki kaybını temsil etmektedir [25]. Elastik özelliğin olmadığı, akışkanlık özelliğinin kuvvetli olduğu jeller için tan delta değeri 1'in üzerinde bir değere sahip olmaktadır. Tan delta değerinin artması akışkanlık karakterinin artması anlamına gelmektedir. Akışkanlık modülünün elastiklik modülüne göre daha yüksek olması durumunda, tan delta 1'in üstünde, tersi durumunda ise 1'in altında değerler almaktadır.

Oleojellerin faz açısı değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Elde edilen faz açısı ($\tan\delta$) değerleri incelendiğinde, faz açısı değerlerinin genellikle 1'den küçük olduğu saptanmıştır. Bu durum oleojellerin elastik özelliklerinin viskoz özelliğe göre daha baskın olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. Oleojellerin 0.gün frekans tarama testi grafikleri.





Şekil 6. Oleojellerin 90.gün frekans tarama testi grafikleri.

Tablo 3. Oleojellerin faz açısı (Tan δ) değerleri.

Oleojeller- Depolama sıcaklığı (°C)	Depolama (gün)			
	Başlangıç	30.	60.	90.
CDW-4	0.51 ± 0.07	0.55 ± 0.49	0.38 ± 0.13	0.35 ± 1.12
CDW-20	0.38 ± 0.75	0.49 ± 0.08	0.75 ± 0.87	0.31 ± 2.51
CRW-4	1.25 ± 0.12	1.23 ± 0.42	0.96 ± 0.18	0.29 ± 0.02
CRW-20	0.81 ± 0.28	1.42 ± 0.78	0.80 ± 0.26	0.6 ± 0.06
RBW-4	0.38 ± 0.53	0.55 ± 0.03	0.44 ± 2.58	0.22 ± 0.09
RBW-20	0.25 ± 0.41	0.47 ± 0.62	0.20 ± 2.98	0.25 ± 0.043

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, WGO'dan oleojelasyon tekniği ile üretilen oleojellerin, fizikokimyasal ve yapısal özellikleri ile kahvaltılık margarin/sürülebilir yağ olarak kullanım potansiyelleri incelenmiştir. Reoloji analizi sonuçlarına göre tüm oleojellerin (G')'lerinin (G'')'den büyük olduğu için elastik bir yapıda olduğu ve jele ait özellikler taşıdığı görülmektedir. Ayrıca en güçlü viskoelastik yapıya RBW oleojelinin sahip olduğu görülmüştür. Depolama süresi boyunca oleojellerin kalite özelliklerinin WGO'dan yüksek olduğu tespit edilmiştir. Antioksidan kapasite sonuçlarına göre, en yüksek antioksidan aktivitenin en yüksek RBW oleojellerinde olduğu saptanmıştır. Ayrıca oleojel yapısının, WGO'nun antioksidan içeriğini koruduğu tespit edilmiştir. Üretilen oleojelin WGO'nun biyokimyasal özelliklerini ve besin kalitesini olumlu yönde etkilediği saptanmıştır. WGO'dan omega yağ

asitlerince zengin yağ asidi profili bozulmadan, yapılandırılmış yağ elde etmenin; tüketici sağlığı üreticilere yeni bir ürün sunulması ve literatürdeki boşluğun doldurulması bakımından katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmadan elde edilen veriler ile yağ sanayi için diğer yöntemlere kıyasla daha düşük maliyetli, depolamaya dayanıklı, oda sıcaklığında ve buz dolabı sıcaklığında kıvamlı, ancak tamamen likit yağ bazlı, trans yağ içermeyen alternatif ürünler sağlayabilecek yapılandırılmış yağ yönteminin uygunluğu ortaya konulmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Kübra GÜLDEMİR (CANPOLAT)'ın doktora tez çalışmasından üretilmiş olup, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje No: FDK-2019-1910.

Kaynaklar

- [1] Mensink RP, Katan MB. Effect of dietary trans fatty acids on high-density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects. *The New England Journal of Medicine* 1990; 323: 439-445.
- [2] Mozaffarian D, Abdollahi M, Campos H, Houshiarrad A, Willett WC. Consumption of trans fats and estimated effects on coronary heart disease in Iran. *European Journal of Clinical Nutrition* 2006; 61(8): 1004-1010.
- [3] Marangoni AG, Garti N. An overview of the past, present and future of organogels, *Edible Oleogels: Structure and Health Implications*. AOCS Press, 2011.
- [4] Demirkesen İ. Farklı mumlarla oluşturulan oleojellerin reolojik ve tekstürel özellikleri. *Gıda* 2017; 42(1): 50-57.
- [5] Dassanayake L, Kodali D, Ueno S, Sato K. Physical properties of rice bran wax in bulk and organogels. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 2009; 86(12): 1163-1173.
- [6] Hwang HS, Singh M, Bakota EL, Kim S, Winkler-Moser J, Liu S. Margarine from organogels of plant wax and soybean oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 2013; 90(11): 1705-1712.
- [7] Official and recommended methods of the American Oil Chemists' Society. *American Oil Chemists' Society, Champaign, Method Cd 8-53, Cd 18-90, Ce 2-66*, 1989.
- [8] Animal and vegetable fats and oils. Determination of solid fat content by pulsed NMR. ISO, 2012.
- [9] Papoti VT, Tsimidou MZ. Looking through the qualities of a fluorimetric assay for the total phenol content estimation in virgin olive oil, olive fruit or leaf polar extract. *Food Chemistry* 2009; 112(1): 246-252.
- [10] Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 1999; 26(9-10): 1231-1237.
- [11] Oh IK, Amoah C, Lim J, Jeong S, Lee S. Assessing the effectiveness of wax-based sunflower oil oleogels in cakes as a shortening replacer. *LWT- Food Science and Technology* 2017; 86: 430-437.
- [12] Güven M. Farklı Buğday Çeşitlerinden Elde Edilen Ruşeym Yağlarının Yağ Asidi Dağılımları ve Antioksidan Aktiviteleri Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2012.
- [13] Shurpalekar SR, Rao PH. Wheat germ. *Advances in Food Research* 1977; 23: 187-304.
- [14] Ören D. Soğuk pres ve süper akışkan karbondioksit ekstraksiyon metodu ile elde edilen buğday ruşeym yağlarının fizikokimyasal özelliklerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2013.
- [15] Kara S. Karnauba ve Balmumu Vaksları ile Hazırlanan Oleojellerin Dsc Ve Ft-İr Spektroskopisi ile Karakterizasyonu Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [16] Pehlivanoglu H, Demirci M, Toker OS. Rheological properties of wax oleogels rich in high oleic acid. *International Journal of Food Properties* 2017; 20(3): 2856-2867.
- [17] Vali SR, Ju YH, Kaimal, TNB, Chern YT. A process for the preparation of food-grade rice bran wax and the determination of its composition. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2005; 82(1): 57-64.
- [18] Toro-Vazquez JF, Morales-Rueda JA, Dibildox-Alvarado E, Charó-Alonso M, Alonzo-Macias M, González-Chávez MM. Thermal and textural properties of organogels developed by kandelilla wax in safflower oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 2007; 84(11): 989-1000.
- [19] Chopin-Doroteo M, Morales-Rueda JA, Dibildox-Alvarado E, Charó-Alonso MA, de la Peña-Gil A, Toro-Vazquez JF. The effect of shearing in the thermomechanical properties of kandelilla wax and kandelilla wax-tripalmitin organogels. *Food Biophysics* 2011; 6(3): 359-376.
- [20] Pathirana CM, Shahidi F. Importance of insoluble-bound phenolics to antioxidant properties of wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2005; 54(4): 1256-1264.
- [21] Zou Y, Gao Y, He H, Yang T. Effect of roasting on physico-chemical properties, antioxidant capacity and oxidative stability of wheat germ oil. *Food Science and Technology* 2018; 90: 246-253.
- [22] Velickovska SK, Letia GN, Čočevska M, Brühl L, Silaghi-Dumitrescu R, Mirhosseini H, Matthäus B. Effect of bioactive compounds on antiradical and antimicrobial activity of extracts and cold-pressed edible oils from nutty fruits from Macedonia. *Journal of Food Measurement and Characterization* 2018; 12(4): 2545-2552.
- [23] Rebolleda S, José GS, Luisa M, Sanz MT, Beltrán S, Solaesa ÁG. Bioactive compounds of a wheat bran oily extract obtained with supercritical carbon dioxide. *Foods* 2020; 9(5): 625.
- [24] Ibarz A, Barbosa-Cánovas GV. Unit operations in food engineering. CRC press, 2003.
- [25] Ehrenstein GW, Riedel G, Trawiel P. *Thermal Analysis of Plastics: theory and practice* München: Carl Hanser: Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 2004.