

Ayçiçek Mumu ve Poligliserol Stearat Organojelatörleriyle Soğuk Pres Fındık Yağı Oleojellerinin Hazırlanması ve Karakterize Edilmesi

Emin Yılmaz , Ceren Öz 

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 17020, Çanakkale

Geliş Tarihi (Received): 13.05.2022, Kabul Tarihi (Accepted): 24.03.2023

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): eyilmaz@comu.edu.tr (E. Yılmaz)

☎ 0 286 218 0018 / 20054 📠 0 286 218 0541

ÖZ

Bu çalışmada soğuk preslenmiş fındık yağının ayçiçek mumu (AMO) ve poligliserol stearat (PGSO) ile oleojelleri hazırlanmış ve karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Organojelatör konsantrasyonu ağırlıkça %10 olarak seçilmiştir. Hazırlanan oleojellerin önemli oranda doymamış yağ asitleri içerdiği, sadece PGSO örneğinde palmitik asit oranının bir miktar arttığı gözlenmiştir. Oleojellerin yağ bağlama kapasitelerinin %99'un üstünde ve jelleşme zamanının 4 dakikanın altında olduğu, renklerinin ise kremi sarı tonlarda olduğu görülmüştür. Oldukça dayanıklı jel yapısında olan oleojellerde β' (AMO) ve β (PGSO) kristal polimorfları belirlenmiştir. AMO ve PGSO örneklerinin ergime pik noktaları sırasıyla 62.4 ve 47.9°C olarak ölçülmüştür. AMO örneğinin depo modül değeri 110-130 kPa aralığında olup PGSO oleojelinkinden (13-14 kPa) daha yüksektir. Yani AMO örneği çok daha sert ve katı yapıdadır. Her iki oleojel örneği de mekanik ve termal geri-dönüşüm özelliği göstermiştir. PGSO örneğinin çarpaz-geçiş sıcaklığı 62°C civarında olup, bu noktaya kadar jel yapı kısmen korunmuştur. İki oleojelin de teknolojik özellikler açısından birçok gıdada katı yağ ikamesi olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fındık yağı, Ayçiçek mumu, Poligliserol stearat, Oleojel, Kalite, Reoloji

Preparation and Characterization of Cold Pressed Hazelnut Oil Oleogels with Sunflower Wax and Polyglycerol Stearate Organogelators

ABSTRACT

In this study, the oleogels of cold pressed hazelnut oil with sunflowerseed wax (SWO) and polyglycerol stearate (PGSO) were prepared and characterized. Organogelator concentration was 10% by weight. The oleogels contained important portions of unsaturated fatty acids but the content of palmitic acid in PGSO sample was enhanced. The oil binding capacities were over 99%, and the gel formation times were less than 4 minutes in both samples, and they had creamy yellow color values. Quite stable oleogels included β' (SWO) and β (PGSO) polymorph crystal types. The melting peak temperatures of SWO and PGSO samples were determined as 62.4 and 47.9°C, respectively. SWO sample showed 110-130 kPa storage modulus values, and they were much higher than that of the PGSO sample (13-14 kPa). Consequently, the SWO sample was much harder and solid. Both oleogel samples presented mechanical and thermal recovery abilities. The cross-over point of the PGSO sample was around 62°C, and it had a gel-like structure until this temperature. It was concluded that both oleogel samples were quite suitable as a solid fat source in terms of technological properties for uses in many food products.

Keywords: Hazelnut oil, Sunflower wax, Polyglycerol stearate, Oleogel, Quality, Rheology

GİRİŞ

Jel, geniş olarak akışkan-olmayan likit faz olarak tanımlanmaktadır. Özel olarak jeller, bir jelleştirici ajan (ağ yapı oluşumundan sorumlu) ve sıvı (likit) faz (hidrofilik veya hidrofobik) olmak üzere iki bileşenden oluşan, sıvı fazı hareketsiz kılma yeteneğine sahip üç boyutlu ağı yapılar olarak da tanımlanmaktadır. Jeller ağ içine hapsedilmiş sıvı (likit) fazın polaritesine bağlı olarak, hidrojel (polar likitler) ve organojel (organik solventler) olarak iki gruba ayrılmaktadır [1]. Organojellerin bir üyesi olarak oleojeller, yemeklik likit yağların üç boyutlu bir jel ağına hapsedilmesiyle oluşan termo geri-dönüşümlü, anhidroz (susuz), viskoelastik yarı katı yağlar olarak bildirilmektedir [2, 3].

Kullanılan organojelatör türüne ve üretim tekniğine göre onlarca farklı oleojel literatürde bildirilmiştir [4, 5]. Bu çalışmada soğuk pres fındık yağıyla hazırlanan oleojellerden birisi olan ayçiçek mumu oleojelleri (AMO), daha önce yoğun olarak araştırılmıştır [6-8]. Yapılan araştırmalarda ayçiçek mumu oleojellerinin son derece dayanıklı, ince kristal yapıda ve birçok gıda için uygun oleojeller verdiği görülmüştür [6, 7, 9]. Bu çalışmada kullanılan diğer organojelatör poligliserol stearat (PGS) ile ilgili oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Gliserol oligomerlerinden olan PGS'in jel oluşturma yeteneği ilk olarak Nakajima ve ark. [10] tarafından yapılan bir araştırmada farklı organik çözücüler için gösterildikten sonra, yapılan bir başka çalışmada [11], PGS'in Pluronic F68 and Tween 60 amfifilleriyle birlikte oluşturduğu oleojeller üretilmiş ve karakterize edilmiştir. PGS, aslında gliserol oligomerinin stearik asit ile esterleşmesinden meydana gelmiş bir tür orta büyüklükteki polimerdir. PGS'ler çoğunlukla beyazdan sarıya kadar değişen renklerde, oda sıcaklığında katı veya çok viskoz likit formunda olan, yağda serbestçe çözünebilir, suda kısmen dağılabilen ve ergime aralığı 55-65°C olan materyallerdir. Gıda endüstrisinde güvenli gıda katkı maddesi statüsünde kullanılmaktadırlar [12].

Literatürde yayınlanan çok sayıda çalışmada bitkisel numuların çok başarılı oleojeller verdikleri görülmüştür. Özellikle iyi kalitede ayçiçek mumu ile %1 konsantrasyonda bile jel üretilbildiği, ancak %10 gibi oranlarda ise katı yağa oldukça benzer sertlikte

oleojeller geliştirildiği bilinmektedir [4-9]. Öte yandan oleojel üretimi için çok büyük bir potansiyel taşıyan PGS organojelatörü ile çok az sayıda araştırma yayınlanmıştır [10, 11]. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, aynı konsantrasyonda (%10) ayçiçek mumu (AMO) ve poligliserol stearat oleojellerini (PGSO) soğuk preslenmiş fındık yağıyla hazırlamak ve özelliklerini karşılaştırmaktır. Çalışma kapsamında her iki örneğin detaylı fiziko-kimyasal, termal, mikro-yapısal ve reolojik analizleri gerçekleştirilmiştir. Böylece mum oleojellerinin altın standardı olan AMO ile yeni bir ürün olan PGSO karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile sunulan bilgilerin yeni araştırmalara yol açacağı ve bazı olası kullanımlar için de ilgi sağlayacağı beklenilmektedir.

MATERYAL ve METOT

Materyal

Bu çalışmada kullanılan fındık yağı, kendi laboratuvarımızda bulunan pilot-ölçekli (tek kafa, 2 hp, 1.5 kW güç ve 12 kg tohum/saat kapasiteli) soğuk pres makinası (Koçmaksan, ESM 3710, İzmir, Türkiye) kullanılarak 20 rpm dönüş hızı, 10 mm çıkış memesi, ve 40°C çıkış sıcaklığı koşullarında soğuk presleme tekniği ile Giresun Tombul fındıklarından üretilmiştir. Kullanılan fındıklar 2018 sezonunda hasat edilmiş ve direkt üreticiden temin edilmiştir. Soğuk pres yağ üretiminin bir fotoğrafı Şekil 1'de sunulmuştur. Preslemeden hemen sonra, fındık yağı 6797xg hız ile santrifüj (Sigma 2-16 K, Postfach, Almanya) edilmiş ve süspanse parçacıklar ve nem uzaklaştırılmıştır. Elde edilen soğuk pres fındık yağı hemen renkli ve kapaklı cam şişelere alınmış, üzerine azot gazı basılmış ve kullanılıncaya kadar buzdolabında saklanmıştır. Organojelatörler olarak kullanılan ayçiçek mumu (6607 L) Kahlwax Co. (Kalh GmbH & Co., Trittau, Almanya) firmasından ve poligliserol stearat (Finamul PGE 2000, krem toz, maksimum 5.0 asit değeri, 130-150 sabunlaşma sayısı, ve 52-59°C ergime noktası) Fine Organics Inc., Mumbai (Hindistan) firmasından satın alınmıştır. Analizlerde kullanılan tüm kimyasallar, standartlar ve solventler Sigma Chem. Co. (St. Louis, MO, ABD) ve Merck (Darmstadt, Almanya) firmalarından satın alınmıştır.

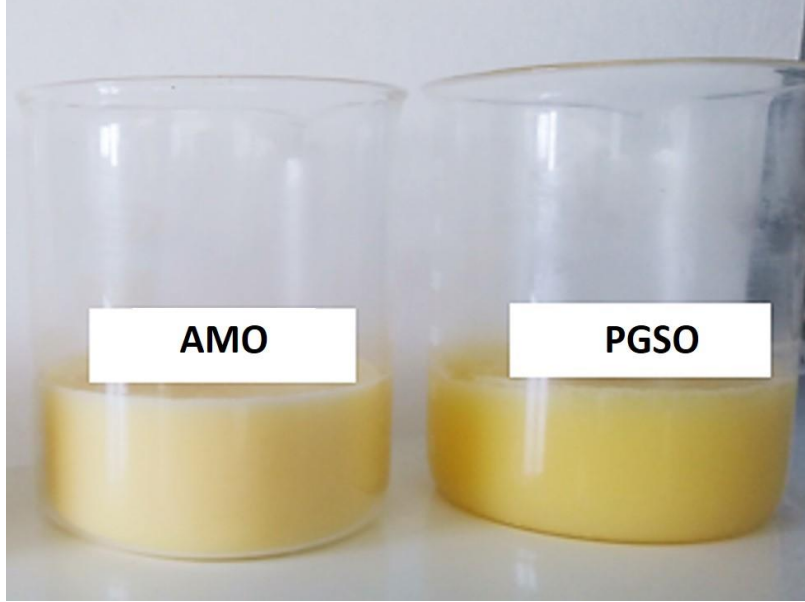


Şekil 1. Fındıktan soğuk pres tekniği ile yağ üretimi
Figure 1. Oil production from hazelnut by cold pressing technique

Fındık Yağı Oleojellerinin Hazırlanması

Soğuk preslenmiş fındık yağı ve her bir organojelator (ayçiçek mumu veya poligliserol stearate) ağırlıkça 90:10 oranında tartılmış ve cam bir beher içine yerleştirilmiştir. Karışımlar su banyosunda 80°C sıcaklıkta tamamen homojen karışım oluncaya kadar ergitilmiş ve karıştırılmıştır. Ergimiş karışım daha sonra oda sıcaklığına alınmış (25±3°C, klima ile kontrol edilen

laboratuvar ortamı) ve bir gece bekletilmiştir. Ertesi günü tamamen oluşan oleojeller hemen analize alınmıştır. Analizler süresince oleojel örnekleri oda sıcaklığında ve karanlıkta tutulmuştur. Hazırlanan oleojel örnekleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Makalenin bundan sonraki kısımlarında hazırlanan oleojellerin kısa isimleri kullanılmıştır. Hazırlanan oleojeller fındık yağı-ayçiçek mumu oleojeli (AMO) ve fındık yağı-poligliserol stearate oleojelidir (PGSO).



Şekil 2. Soğuk pres fındık yağı ile hazırlanan oleojeller (AMO: fındık yağı-ayçiçek mumu oleojeli; PGSO: fındık yağı-poligliserol stearat oleojeli)

Figure 2. The oleogels prepared with cold pressed hazelnut oil (SWO: hazelnut oil-sunflowerseed wax oleogels; PGSO: hazelnut oil-polyglycerol stearate oleogel)

Yağ Asidi Bileşimi Analizi

Oleojelleri hazırlamada kullanılan soğuk pres fındık yağının ve hazırlanan AMO ve PGSO örneklerinin yağ asitleri bileşimi belirlenmiştir. Önce örneklerin yağ asidi metil esterleri AOCS Ce 2-66 (AOCS, 1998)'e göre hazırlanmıştır. Örneklerin yağ asidi bileşimi Agilent 7890 B Gaz Kromatografisi (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, ABD) cihazı ve FID (Flame Ionization Detector, Agilent Technologies, Palo Alto, ABD) dedektör ile yapılmıştır. Cihazda HP-88 (100 m×0.25mmID×0.2µm film thickness, J&W Scientific Co, CA, USA) kapilar kolon bulunmaktadır. Giriş sıcaklığı 250°C olarak belirlenmiş ve 1 µL örnek enjeksiyonu sağlanmıştır. Mobil faz olarak hidrojen gazı, 2 mL/dk bir akış hızı ile kullanılmıştır. Fırın programlaması 120°C'de 1 dk, 10°C/dk artış ile 175°C'ye çıkış ve bu sıcaklıkta 10 dk bekleme, 5°C /dk ile 210°C'ye çıkma ve bu sıcaklıkta 5 dk bekleme, 5°C/dk ile 230°C ve bu sıcaklıkta 5 dk bekleme olacak şekilde ayarlanmıştır. Referans olarak yağ asidi metil esterleri karışımı (37-bileşenli, C4-C24, Supelco, Bellefonte, PA, ABD) kullanılmıştır. Eş koşullarda analiz edilen kromatogramların tanımlanması ve kantitasyonu cihazın kendi bilgisayarı ve yazılımı ile yapılmıştır.

Oleojellerin Fiziko-kimyasal Analizleri

AMO ve PGSO örneklerinin bazı temel fiziksel özellikleri analiz edilmiştir. Daha önce hazırlanmış oleojel örneklerinden 5'er gram deney tüpüne tartılmış ve 80°C'deki su banyosunda 0.5 saat bekletilerek tamamen ergitilmiştir. Ergimiş tüpler oda sıcaklığına çıkarıldığı anda kronometre çalıştırılmış ve jelleşmenin tamamlanması için geçen süre 'jelleşme zamanı' (JZ) olarak dakika cinsinden belirlenmiştir. Tüpler 90° çevrilerek paralel hale getirilmiş ve akışın olmadığı an jelleşmenin tam olarak gerçekleştiği zaman olarak kaydedilmiştir [6].

Oleojel örneklerinin yağ bağlama kapasitelerinin (YBK) ölçümü için aynı su banyosunda ergitilmiş oleojel örneklerinden eppendorf tüplerine yaklaşık olarak 1 ml konulmuştur ve tartılmıştır (a). Oleojel içeren eppendorf tüpleri +4°C'de 1 saat süreyle bekletilmiş ve jelleşme gerçekleşmiştir. Jel oluşumu sonrasında eppendorf tüpleri yeniden tartılmış (b), ardından 20°C'de 10.000 rpm hızla 15 dk boyunca santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası tüpler 3 dk süreyle ters çevrilerek drenaj işlemi uygulanmış ve sonra tekrar tartım (c) yapılmıştır. Oleojel örneklerinin yağ bağlama kapasiteleri (%YBK) aşağıdaki eşitlik (1) ve (2) kullanılarak hesaplanmıştır [13].

$$\% \text{ Serbest Yağ} = \frac{(b-a)-(c-a)}{(b-a)} \times 100 \quad (1) \quad \text{ve} \quad \% \text{YBK} = 100 - \text{Serbest yağ} \quad (2)$$

Santrifüj stabilitesi tayini için, temiz bir falkon tüpü içerisine 5 g oleojel örneği tartılmış 4°C'de bir gün şartlandırıldıktan sonra 1300xg'de ve oda sıcaklığında 15 dk santrifüj edilmiştir. Emülsiyonda kırılma gözlenmeyen dayanıklı örneklerin test sonucu pozitif (+) (stabil) olarak belirtilmiştir [14].

Oleojel örneklerinin renk ölçümleri Minolta CR-400 (Konica, Minolta Sensing, Osaka, Japonya) ile CIE lab standardına göre gerçekleştirilmiştir. Söz konusu standartta L değeri parlaklık/koyuluk, a* değeri kırmızılık (+) / yeşillik (-), b* değeri ise sarılık (+) / mavilik (-) olarak ifade edilmektedir [14].

Oleojellerin serbest yağ asitlik değeri AOCS Ca 5a-40 metodu ve peroksit değerleri AOCS Cd 8-53 metodu kullanılarak ölçülmüştür [15].

Oleojellerin X-Işını Kırınım Deseni Analizi

Hazırlanan oleojel örneklerinin polimorfik formları AOCS Cj 2-95 metodu uygulanarak PANalytical Empyrean (Hollanda) X-ışınları difraktometre sistemi ile belirlenmiştir [16]. Bu amaçla, oleojel örnekleri oda sıcaklığında cihazın örnek haznesine dikkatlice yerleştirilmiştir. Açısız taramalar Cu radyasyonu (λ (CuK α) = 1.54056 Å voltaj, 40 kV akım ve 40 mA) ile 2θ = 2.0-50° tarama aralığında 0.02 basamak ve 2°/dk tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Veri analizi X'Pert HighScore Plus yazılımı (Malvern Panalytical Ltd., Royston, İngiltere) ile yapılmıştır.

Oleojellerin Termal Özelliklerinin Analizi

AMO ve PGSO örneklerinin kristalizasyon ve ergime başlama ve pik noktaları ve entalpi değerleri Perkin-Elmer 4000 Seri Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı (Groningen, Hollanda) kullanılarak ölçülmüştür. Cihaz düzenli olarak Indium ve Çinko ile kalibre edilmektedir. Ölçüm için yaklaşık 5-8 mg oleojel örneği alüminyum pan içerisine tartılmış ve ağız hermetik olarak kapatılmıştır. Boş pana karşı örnek haznesine yerleştirildikten sonra şu sıcaklık programı uygulanmıştır: örnekleri 20°C'den 100°C'ye kadar 10°C/dk hızla ısıt, örnekleri - 30°C'ye kadar 10°C/dk hızla soğut ve bu sıcaklıkta 3 dk beklet ve son olarak da örnekleri tekrar 100°C'ye kadar 5°C/dk hızla ısıt. Elde edilen termogramlar, cihazın kendi yazılımı olan Pyris 1 Manager Software kullanılarak hesaplamalar yaptırılmış ve veriler kaydedilmiştir [14].

Oleojellerin Reolojik Özelliklerinin Ölçümü

Örneklerin reolojik analizleri DHR 2 reometresiyle (TA Instruments, ABD) gerçekleştirilmiştir. Analizde paralel plakalı geometri (ϕ = 40 mm, 0.9 ± 0.1 mm aralık) ve Peltier sıcaklık kontrol sistemi (± 0.1°C) kullanılmıştır. Önce her örnek için genlik-tarama (amplitude-sweep) testi (strain = 0.01 – 100%) 1 Hz frekansta ve 10°C'de uygulanarak doğrusal viskoelastik bölge (LVR, linear viscoelastic region) belirlenmiştir. Daha sonra LVR'de

her örnek için belirlenen gerilim değerleri ile frekans-tarama (frequency-sweep) testi 10°C'de ve %0.02-0.26 gerilim aralığında ve 0.1'den 100 Hz'e kadar frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Böylece örneklerin depo (G') ve kayıp (G'') modülleri belirlenmiştir.

Daha sonra her örneğin zaman-tarama (time-sweep) testi, 10°C'de 1 Hz frekansta ve gerilim değerleri LVR bölgesinde, LVR bölgesinin altında (LVRstrain ≥ Strain) ve LVR bölgesinin üstünde (LVRstrain ≤ Strain) olmak üzere ölçülmüştür. Zaman tarama testi ilk bölge için 180 saniye, ikinci bölge için 180 saniye ve son bölge için 900 saniye olarak uygulanmıştır.

Son olarak, bu örneklere sıcaklık-rampa (temperature-ramp) testi de uygulanmıştır. Örnekler LVR bölgesinde 1 Hz frekans ile 0°C'den 75°C'ye 1°C/dk hızla ısıtılmışlardır. Tüm örnekler 3 kez test edilmiş ve ortalama sonuçlar verilmiştir [11].

İstatistik Analizler

Bu araştırmada hazırlanan oleojel örnekleri iki tekerrürlü olarak üretilmiştir. Yapılan tüm analizler her bir tekerrür için 3 paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Yani sunulan veriler 6 farklı ölçümün ortalaması ve standart hatasını göstermektedir. İki oleojel örneği t-testi ile %95 güvenlik seviyesinde karşılaştırılmıştır [17].

BULGULAR ve TARTIŞMA

Oleojellerin Yağ Asidi Bileşimi

Oleojel üretiminde kullanılan soğuk pres fındık yağı ve geliştirilen fındık yağı oleojellerinin (AMO ve PGSO) yağ asitleri bileşimi Tablo 1'te verilmiştir. Literatüre göre fındık yağı yaklaşık %78-83 oleik, %7-13 linoleik, %4-5 palmitik ve %2-3 oranında stearik asit ihtiva etmektedir [18]. Türk Gıda Kodeksi Bitki Adı İle Anılan Yağlar Tebliği'ne (Tebliğ No: 2012/29) göre fındık yağı ortalama olarak %4.2-8.9 palmitik, %71.0-91.0 oleik, %5.2-22.3 linoleik ve %0-0.3 linolenik, araşidik ve eikosanoik asitler içermektedir [19]. Ancak yağ asitleri kompozisyonu sürekli sabit değildir; morfolojik, ekolojik ve fizyolojik faktörlerden etkilenmektedir. Fındık yağı diğer yağlarla kıyaslandığında içerisinde tekli doymamış yağ asitlerinden biri olan oleik asidi en fazla barındıran yağ çeşididir. Bu çalışmada kullanılan soğuk pres fındık yağının yağ asitleri bileşimi hem literatür hem de kodekste yer alan bileşim bilgisiyle örtüşmektedir. Hazırlanan oleojellerden fındık yağı-ayçiçek mumu oleojeli (AMO) yağ asidi profilinde oleik asit bakımından önemli ölçüde değişime sebep olmamakla birlikte ayçiçeği mumundan geldiğine inandığımız palmitik asit varlığı %7.73'ten %15.30'a çıkmıştır. Öte yandan linoleik asit miktarında ise azalma oluşmuştur. Poligliserol stearat-fındık yağı oleojelinde de (PGSO) oleik asit değeri oldukça yüksektir, ancak ayçiçek mumu kullanılarak hazırlanan oleojele kıyasla oleik asit miktarında önemli bir azalma gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak palmitik asit değerinin yüksek olması

gösterilmektedir. Bu palmitik asitin de katılan organojelatörden geldiği açıktır. Açıkçası kullanılan poligliserol stearat organojelatörünün önemli miktarda palmitik asit ve bir miktar da stearik asit sağladığı görülmektedir. Sonuç olarak, hazırlanan bu oleojeller yemeklik katı yağlara kıyasla çok daha düşük doymuş

yağ asitleri içeriğine sahiptir ve diyetle önemli miktarda da doymamış yağ asitleri sağlamaktadır. Dolayısıyla beslenme açısından bir avantaj sağlamaktadırlar. Bu durum oleojelasyon tekniğinin temel avantajlarından birisi olarak literatürde bildirilmiştir [4, 6, 7, 9].

Tablo 1. Soğuk pres fındık yağı ve ondan hazırlanan oleojellerin (AMO ve PGSO) yağ asitleri bileşimi (%)

Table 1. Fatty acid compositions (%) of the cold pressed hazelnut oil, and the oleogels (SWO and PGSO) prepared with the cold-pressed hazelnut oil

Yağ Asidi	Fındık Yağı	AMO	PGSO
Laurik (C12:0)	-	-	-
Tridekanoik (C13:0)	-	-	-
Miristik (C14:0)	0.21±0.09 ^{b*}	0.22±0.30 ^b	0.55±0.39 ^a
Miristoleik (C14:1)	-	-	-
Palmitik (C16:0)	7.73±3.33 ^c	15.30±1.33 ^b	28.99±0.73 ^a
Palmitoleik (C16:1)	0.48±0.14 ^a	0.52±0.02 ^a	0.44±0.07 ^a
Stearik (C18:0)	2.25±0.05 ^b	2.05±0.30 ^b	4.49±0.57 ^a
Oleik (C18:1)	75.83±0.75 ^a	74.01±0.01 ^a	59.24±1.41 ^b
Linoleik (C18:2)	13.50±0.03 ^a	7.90±0.05 ^b	6.29±0.20 ^c
Linolenik (C18:3)	-	-	-
Araşidik (C20:0)	-	-	-
Behenik (C22:0)	-	-	-

*Aynı satırda farklı küçük harflerle gösterilen örnekler istatistiki olarak birbirlerinde farklıdır (p<0.05)

**Samples with different small letters in the same row indicate statistically significant differences (p<0.05)*

Oleojellerin Fiziko-kimyasal Özellikleri

Fındık yağından hazırlanan AMO ve PGSO örneklerinin bazı önemli fiziko-kimyasal özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Analiz edilen bu özellikler iki farklı organojelatörün aynı katım oranında (%10) kullanılmasıyla hazırlandığı için, oleojellerin karşılaştırılması açısından da oldukça önemlidir. Bu karşılaştırma oleojellerin farklı gıda uygulamalarının seçimi için de önemlidir. AMO ve PGSO örneklerinin jelleşme zamanları istatistik olarak farklı olup, ayçiçek mumu organojelatörü daha kısa zamanda jel oluşturabilmiştir. Ancak her ikisi de oldukça kısa süreler olup, oda sıcaklığında bu oleojellerin kısa zamanlarda

hazırlanabileceğini göstermektedir. Literatürde daha önce benzer jelleşme zamanları rapor edilmiştir [6, 7, 11, 14]. Her iki oleojelde de yağ bağlama kapasitesi oldukça yüksek olup, literatür verileriyle yine benzeşmektedir. Oleojel yapısında yer alan likit fındık yağının hemen tamamı jel yapısı içinde hapsedilmiş ve mobilitesi durdurulmuştur. Bu veri, elde edilen yapının dayanıklı bir jel olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, oleojeller yüksek hızda (1300 xg'de 15 dakika) santrifüj edildiklerinde yapılarını korumuşlar ve jel yapısı bozulmamıştır. Yani hazırlanan oleojeller oldukça dayanıklı ve tam jel durumunda olan örneklerdir (Tablo 2, Şekil 2). Bu bulgular her iki örneğin de gıda ürünlerinde uygulanabilmesini destekler niteliktedir.

Tablo 2. Soğuk pres fındık yağından hazırlanan oleojellerin (AMO ve PGSO) fiziko-kimyasal özellikleri

Table 2. Physico-chemical properties of the oleogels (SWO and PGSO) prepared with cold pressed hazelnut oil

Parametre	AMO	PGSO
Jelleşme Zamanı (dakika)	3.8±0.5 ^{b*}	4.4±0.3 ^a
Yağ Bağlama Kapasitesi (%)	99.9±0.1 ^a	99.8±0.1 ^a
Santrifüj Stabilitesi	+ (stabil) ^a	+ (stabil) ^a
Renk - L değeri	68.5±1.1 ^a	55.7±2.1 ^b
Renk - a* değeri	-2.5±0.8 ^a	-0.7±0.0 ^b
Renk - b* değeri	5.4±0.2 ^b	10.2±0.9 ^a
Serbest Yağ Asitliği (% Oleik)	1.1±0.7 ^b	2.4±0.8 ^a
Peroksit Sayısı (meqO ₂ /kg yağ)	2.0±0.9 ^a	2.3±1.2 ^a

*Aynı satırda farklı küçük harflerle gösterilen örnekler istatistiki olarak birbirlerinde farklıdır (p<0.05)

**Samples with different small letters in the same row indicate statistically significant differences (p<0.05)*

Örneklerin aletsel renk değerleri ölçülmüştür (Tablo 2). AMO örneği diğerinden daha beyaz (aydınlık)

bulunmuştur (L değeri 68.5). Şekil 2'den de bu durum gözlenebilmektedir. Aletsel rengin a* boyutu pozitif

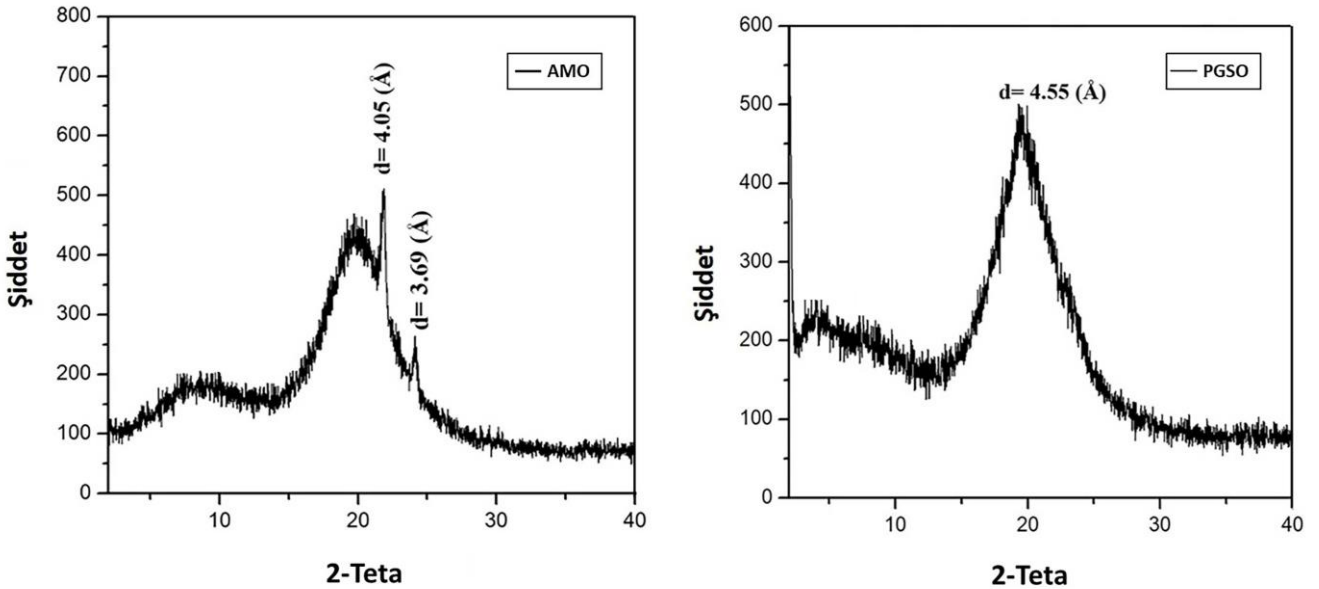
yönde kırmızılığı ve negatif yönde yeşilliği göstermektedir. Her iki örnekte de az miktarda yeşillik değeri ölçülmüş olmakla beraber, bu değer AMO'da istatistik olarak daha yüksektir. İki örneğin de b^* değerleri pozitif olup (Tablo 2), örneklerde önemli miktarda sarılık olduğunu göstermektedir. Aletsel rengin b^* bileşeni, $+b^*$ (sarılık miktarı) ve $-b^*$ (mavilik miktarı) değerlerini göstermektedir [11]. Hazırlanan iki oleojel örneği de (Şekil 2) katı yemeklik yağlar olan tereyağı ve margarinlere benzer renk tonlarına sahiptir. Bu örnekler katı yağ stoğu olarak fırıncılık, çikolata, et ve süt ürünlerinde herhangi bir renk uyumsuzluğu olmadan kullanılabilir niteliktedirler. Bu durum önemli bir avantaj olarak kabul edilmektedir.

Tüm yemeklik yağlarda serbest yağ asitliği (SYA) ve peroksit sayısı (PS) değerleri, bu ürünlerin hem kodekslerle uygunluğu hem de tüketicilerin lezzet ve aroma algılarının kabul edilebilirliği açısından son derece önemli parametrelerdir [21]. PGSO örneğinin serbest yağ asitliği AMO örneğinden daha yüksek bulunmuşken, iki örneğin peroksit sayısı değerleri arasında istatistik olarak önemli bir fark bulunmamıştır

(Tablo 2). Türk Gıda Kodeksi'ne göre, soğuk preslenmiş yağlarda asit sayısı en fazla 4.0 mg KOH/g yağ ve peroksit sayısı da en fazla 15 meqO₂/kg yağ olarak belirlenmiştir [19]. Bu çalışmada soğuk preslenmiş fındık yağı kullanıldığı için, oleojellerde ölçülen değerler bu sınır değerleri ile kıyaslanmıştır. Görüldüğü gibi her iki oleojel örneği de kodeks değerlerinin çok altında serbest asitlik ve peroksit sayısı değerlerine sahiptir. Hazırlanan örnekler yağ bozunma ürünleri açısından herhangi bir sorun taşımamaktadır. Genel olarak oleojel literatüründe de benzer bulgular yer almaktadır [8, 11, 14].

Oleojellerin X-ışını Kırınım Desenleri

Hazırlanan AMO ve PGSO örneklerinin X-ışınları kırınım desenleri Şekil 3'te verilmiştir. Teorik olarak bir numunenin kırınım deseninin o örnekteki tüm moleküllerin kristal yapılarının bir sonucu olduğu kabul edilmektedir. Bu sebeple gözlenen sonuçların oleojelleri oluşturan organojelator moleküllerinin kristal yapısı ile fındık yağı trigliseridlerinden kaynaklandığı söylenebilmektedir.



Şekil 3. Hazırlanan oleojel örneklerinin X-ışını kırınım desenleri (AMO: fındık yağı-ayçiçek mumu oleojeli, PGSO: fındık yağı-poligliserol stearate oleojeli)

Figure 3. The X-ray diffraction patterns of the prepared oleogels (SWO: hazelnut oil-sunflowerseed wax oleogels; PGSO: hazelnut oil-polyglycerol stearate oleogel)

Bir örneğin kırınım deseni grafiğinde yaklaşık olarak 4.2 Å noktasında tek bir pik gözleniyorsa, onun kristal formunun α tipinde, 3.8 ve 4.2 Å tepe noktalarını içeriyorsa β' formunda, ve 4.6 Å konumunda bir tepe noktasına sahip ise β polimorfik formunda olduğu bildirilmiştir [16]. Stahl ve ark. [22]'nin çalışmasında α formu için AOCS metotunda bildirilen verilerden farklı olarak tek 4.15 Å pik değerinin de α tip polimorfik kristal olarak kabul edileceği bildirilmiştir. Ayrıca metotda bu pik noktalara en yakın değerlerinde aynı polimorf tipini belirlediği bildirilmiştir. Şekil 3'de verilen kırınım desenleri AOCS metot Cj 2-95 [16]'ye göre değerlendirildiğinde, AMO örneğinde β' tip polimorfik kristallerin olduğu, PGSO örneğinde ise β tip kristallerin

olduğu anlaşılmaktadır. Daha önce 3.70 ve 4.10 Å civarındaki pikler kandelila, karnauba ve pirinç kepeği mumu oleojellerinde ölçülmüştür [23]. Balmumu ve ayçiçek mumunun rafine fındık yağıyla hazırlandığı oleojel örneklerinde de β' polimorf tipini ifade eden pikler gözlenmiştir [6, 7, 14]. Genel olarak β' polimorf tipindeki katı yağların kolay sürülebilir, yumuşak ve ince dokulu, optimum ergime ve ağız hissi özelliğinde olduğu ve kahvaltılık margarin üretiminde tercih edildiği bilinmektedir. Öte yandan daha kaba ve kumsu yapıda olan β polimorf tipi yağların ise özellikle çikolata ürünlerinde tercih edildiği bildirilmiştir. Çoğunlukla α polimorf dayanıklı olmayıp depolama süresince, ortam sıcaklığına bağlı olarak β veya β' polimorfuna

dönüşmektedirler [24]. Bu verilere göre geliştirilen AMO örneği daha çok margarin ve sürülebilir yağlar üretimi ve PGSO ise daha çok çikolata ve konfeksiyoneri ürünleri için uygun bulunmuştur.

Olejellerin Termal Özellikleri

Oleojel örneklerinin hem kristallenme hem de ergime özellikleri DSC ile ölçülmüş ve sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. Termal analiz ile örneklerin ergime/kristallenme başlangıç ve pik noktaları ile entalpi değerleri elde edilmiştir. Ortalama sonuçlar, standart hata değerleriyle birlikte sunulmuştur.

Önceden tamamen ergitilmiş oleojeller soğutulmaya başlandığında, AMO'nun 63.4°C'de ve PGSO'nun ise 43.5°C'de kristallenmeye başladığı ve tam kristallenmenin ise sırasıyla 59.9 ve 41.2°C'lerde tamamlandığı anlaşılmaktadır. Yani bu iki oleojel örneği

oda sıcaklığında kesinlikle kristal (katı) formda bulunmaktadır. Benzer şekilde, ergime pik noktalarını da birbirinden farklı olduğu ve AMO'nun çok daha yüksek sıcaklıkta (62.4°C) ergidiği görülmektedir. İki oleojel de oda sıcaklığında ve hatta ağız içi sıcaklığında (35-37°C) ergimemektedir. Bu durum ürün açısından olumlu olmakla beraber ağız-hissi açısından çok arzu edilmemektedir. Termal özellikler açısından bu oleojeller daha çok hayvan vucüt yağlarına benzer profil sergilemişlerdir. Ancak formüle edilen gıda ürünlerinde belli oranlarda kullanılacakları için, ağızda rahatça ergiyebilecek bir profil sağlamaları ayarlanabilir. Oldukça benzer termal davranışlar daha önce çalışılmış ayçiçek yağı oleojellerinde de görülmüştür [6, 7, 11]. Hazırlanan bu oleojellerin farklı gıda formülasyonlarında belli oranlarda kullanılmasının termal özellikler açısından ürünlerle uyumlu olacağı ve oda sıcaklığında stabilite açısından (katı yağ formunun korunması) bir sorunla karşılaşmayacağı değerlendirilmesi yapılmıştır.

Tablo 3. Soğuk pres fındık yağından hazırlanan oleojellerin (AMO ve PGSO) termal özellikleri

Table 3. Thermal properties of the oleogels (SWO and PGSO) prepared from cold pressed hazelnut oil

	Kristalizasyon		
	Başlangıç (°C)	Pik (T _c , °C)	ΔH _c (J/g)
AMO	63.4±0.0 ^a	59.9±0.6 ^a	-17.5±0.7 ^a
PGSO	43.5±0.4 ^b	41.2±0.3 ^b	-4.9±0.5 ^b
	Ergime		
	Başlangıç (°C)	Pik (T _m , °C)	ΔH _m (J/g)
AMO	62.7±1.0 ^a	62.4±1.0 ^a	20.3±0.9 ^a
PGSO	38.2±1.9 ^b	47.9±0.6 ^b	5.9±0.3 ^b

*Aynı kolonda farklı küçük harflerle gösterilen örnekler istatistiki olarak birbirlerinde farklıdır (p<0.05)

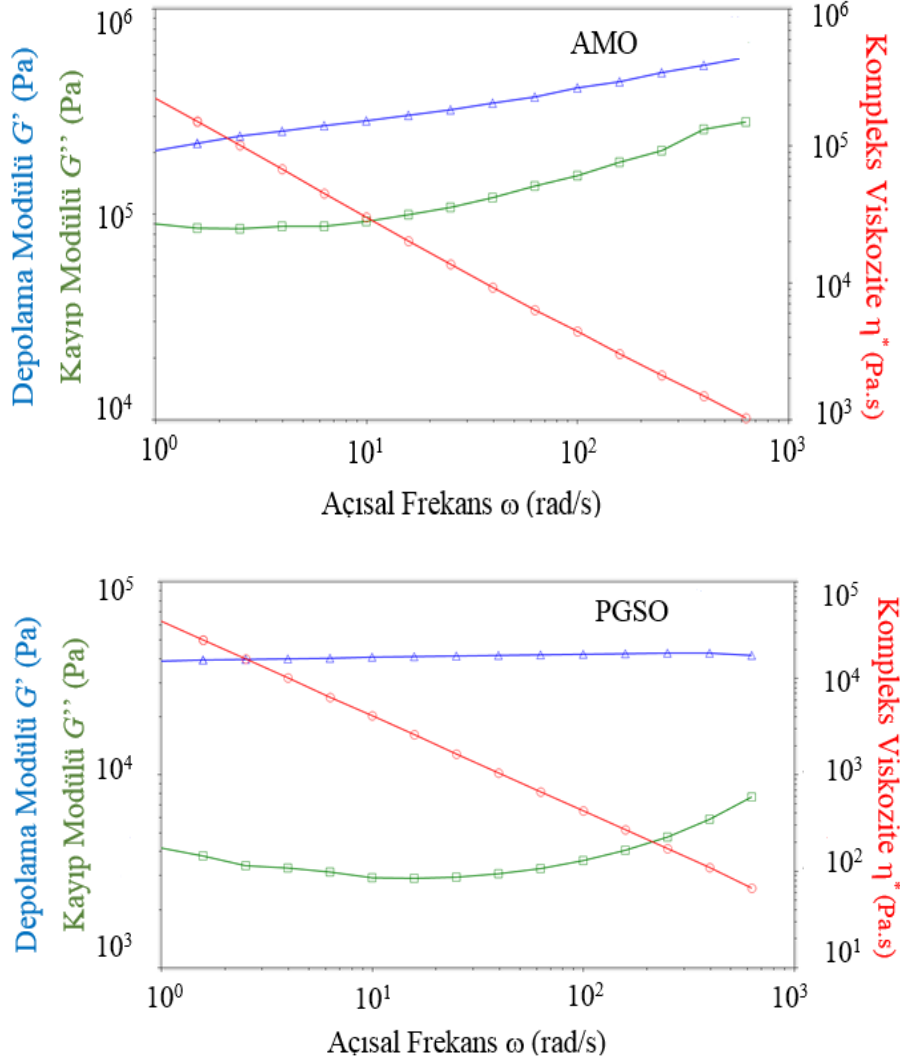
**Samples with different small letters in the same column indicate statistically significant differences (p<0.05)*

Olejellerin Reolojik Özellikleri

Reoloji, maddelerin akış ve deformasyon özelliklerini inceleyen bilim dalıdır. Reolojik analizlerle gıdanın tekstür ve duyuşal özelliklerinin korelasyonu belirlenebilmekte, kalite kontrol uygulamaları ve raf ömrü çalışmalarında yararlanılmaktadır. Ayrıca gıdanın yapısının belirlenmesi ve yeni ürün geliştirmek için ingrediyeentlerin fonksiyonelliklerinin incelenmesi açısından da önemlidir [24]. Oleojellerin reolojik özelliklerin incelenmesi son derece önemli bir konudur. Geliştirilen oleojelin sergilediği akış-davranış özellikleri reometre ile gerçekleştirilen bazı analizlerle belirlenebilmektedir. Bu amaçla çalışma kapsamında geliştirilen oleojellere osilasyon testlerinden gerinim-taraması, frekans-taraması, zaman-taraması ve sıcaklık-rampa (amplitude-sweep, time-sweep, frequency-sweep, temperature-ramp) testleri uygulanmıştır. Tüm reolojik ölçümler örneklerin yapısının korunduğu doğrusal viskoelastik bölge (LVR) içinde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ilk olarak %0.01-100 gerinim aralığında 10°C sıcaklık ve 1 Hz frekansta gerinim taraması testi yapılmış ve her örneğin kendi

LVR strain (gerinim) değeri belirlenmiştir [11, 24]. İki oleojel örneği için yapılan gerinim tarama testinde belirlenen LVR bölgesinde (%0.11 ve 0.21 gerinim) yapılan frekans-tarama (frequency-sweep) testinin sonuçları Şekil 4'te gösterilmiştir.

Depolama modül değerinin (G'), kayıp modül değerinden (G'') yüksek olması oleojellerin kuvvetli elastik yapısına sahip ve jele özgü özelliklerini taşıdığını ifade etmektedir. Şekil 4'ten de görüldüğü gibi mavi renkli çizgi ile tanımlayan depolama modül (G') değerleri, yeşil renk ile gösterilen kayıp modül değerinden (G'') daha yüksektir. Bu durum iki örnekte de uygulanan frekans aralığı boyunca devam etmiştir. Yani örneğe uygulanan gerinim frekansı arttığı halde örneklerin elastiklik değerleri (depo modül), viskoz değerlerinden (kayıp modül) daha yüksektir. Jel türü bir örnekte depo modülü (G'), o örneğin yapısının ne kadar katı-benzeri olduğunun ve kayıp modülü (G'') ise o örneğin ne kadar likit-benzeri olduğunun bir ölçütüdür. Dolayısıyla genel bir ilke olarak bir örnekte G' > G'' durumu, o örneğin daha çok katı-benzeri veya jel yapıda olduğunu ispatlamaktadır [14, 24].



Şekil 4. Hazırlanan oleojel örneklerinin reolojik frekans-tarama testi grafikleri (AMO: fındık yağı-ayçiçek mumu oleojeli, PGSO: fındık yağı-poligliserol stearate oleojeli)

Figure 4. The rheological frequency-sweep test graphics of the prepared oleogels (SWO: hazelnut oil-sunflowerseed wax oleogels; PGSO: hazelnut oil-polyglycerol stearate oleogel)

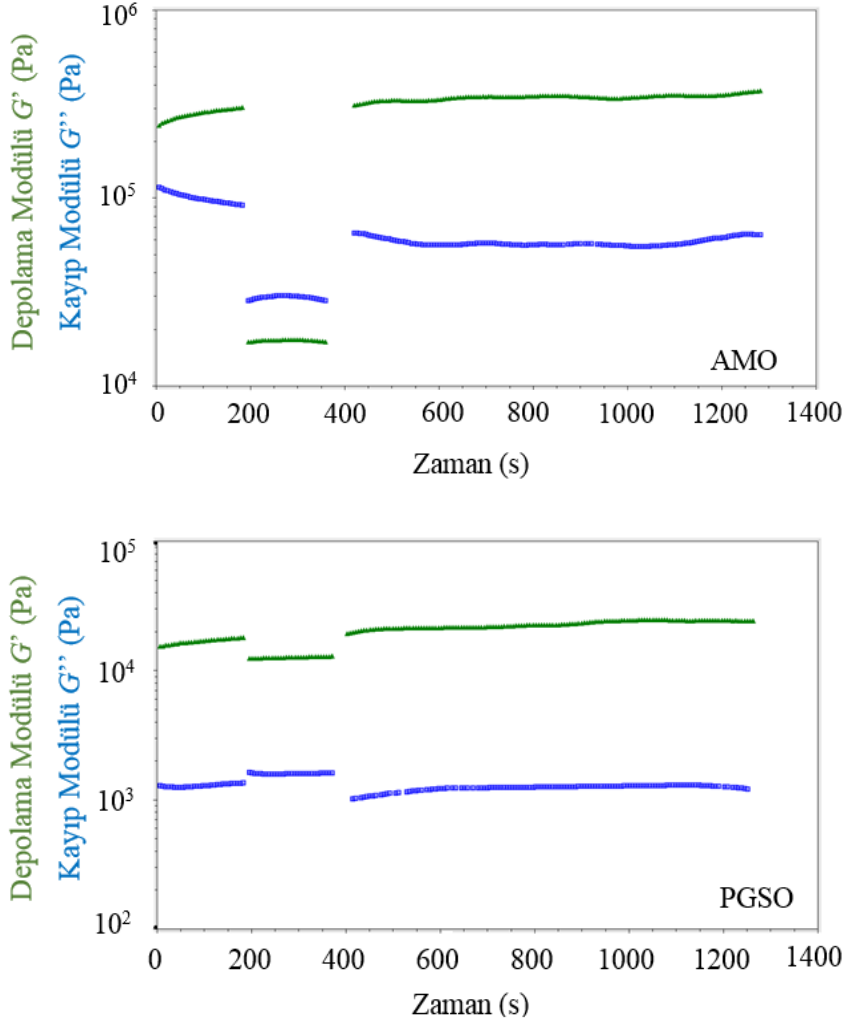
Şekil 4'ten de görüleceği gibi AMO örneğinin G' değeri 110-130 kPa aralığında olup, PGSO örneğinin G' değerinden (13-14 kPa) çok daha yüksektir. Yani AMO örneği daha katı ve sert bir yapıya sahiptir. Bu oleojellerde katılan organojelatör oranı aynı (%10) ve kullanılan bitkisel yağ da (fındık yağı) aynı olduğu için, ölçülen bu farklılık, oleojeli oluşturan üç-boyutlu yapının farklılığından kaynaklanmaktadır. Ayçiçek mumu, poligliserol stearattan çok daha kuvvetli bir ağ yapı oluşturmakta ve daha sert jel yapısı oluşturmaktadır. Oleojeller farklı gıda ürünlerinde katı yağ ikamesi olarak kullanılmaktadırlar ve kullanım alanlarına göre farklı sertlikte olarak tercih edilmektedirler. Dolayısıyla farklı organojelatörler kullanılarak ve farklı konsantrasyonlar kullanılarak istenilen reolojik özelliklerde oleojel tasarlamak mümkündür.

AMO ve PGSO örneklerinin zamana bağlı olarak viskoelastik yapılarını incelemek amacıyla reolojik zaman-tarama (time-sweep) testleri uygulanmıştır. Örneklere 10°C 'de 1 Hz frekansta ve gerilim değerleri

LVR bölgesinde, LVR bölgesinin altında ($\text{LVR}_{\text{strain}} \geq \text{Strain}$) ve LVR bölgesinin üstünde ($\text{LVR}_{\text{strain}} \leq \text{Strain}$) olmak üzere testler yapılmıştır (Şekil 5). Üç zaman bölgesinden birinci bölge 180 saniye'lik salınım sürecinde tüm örneklerde G' depolama modül değerinin G'' kayıp modül değerinden yüksek olduğu (yani jel oldukları), ikinci bölge için 180 saniye'lik süreçte ürünlere kuvvetli bir kayma gerinimi uygulanarak örneklerin modül değerlerinde önemli ölçüde azalma oluşturulduğu ve jel yapının kırıldığı görülmektedir. Jel yapısının tamamen kırıldığı depo modülünün kayıp modül değeri altına düşmesiyle ispatlanmaktadır. Son bölgede 900 saniye boyunca uygulanan yüksek kuvvet ortamdaki kaldırılmış ve örneklerin yeniden-yapılanması (recovery) durumu gözlenmiştir. Her iki örnekte de birinci bölgedeki dinlenme fazı modül değerlerine yeniden ulaşılmıştır (Şekil 5). Bu test, her iki örnekte de stabil olan yapının (birinci zaman bölgesi) yüksek kuvvet uygulamasıyla kırıldığını (ikinci zaman bölgesi), ancak uygulanan kuvvet ortadan kaldırıldıktan sonra, eski yapının yeniden kazanıldığını (üçüncü zaman bölgesi)

göstermektedir. Bu durum özellikle oleojellerin kullanıldığı gıda ürünlerinde basınç uygulaması, karıştırma, çırpma gibi mekanik kuvvet işlemleri sırasında oleojelin yapısının likit benzeri duruma dönüşse de (yapının kırılması), mekanik işlemler tamamlandıktan ve uygulanan kuvvet ortadan kaldırıldıktan sonra jel yapısının yeniden oluştuğunu

ispatlamaktadır. Bu özellik oleojeller için uygulamada bir avantaj oluşturmaktadır. Uygulanan herhangi bir kuvvet etkisi ile gevşeyen jel yapının, uygulanan bu kuvvet ortadan kalktıktan sonra tekrar eski haline gelmesi durumu literatürde birçok mum ve diğer oleojeller için de bildirilmiştir [5, 7, 9, 11, 14].

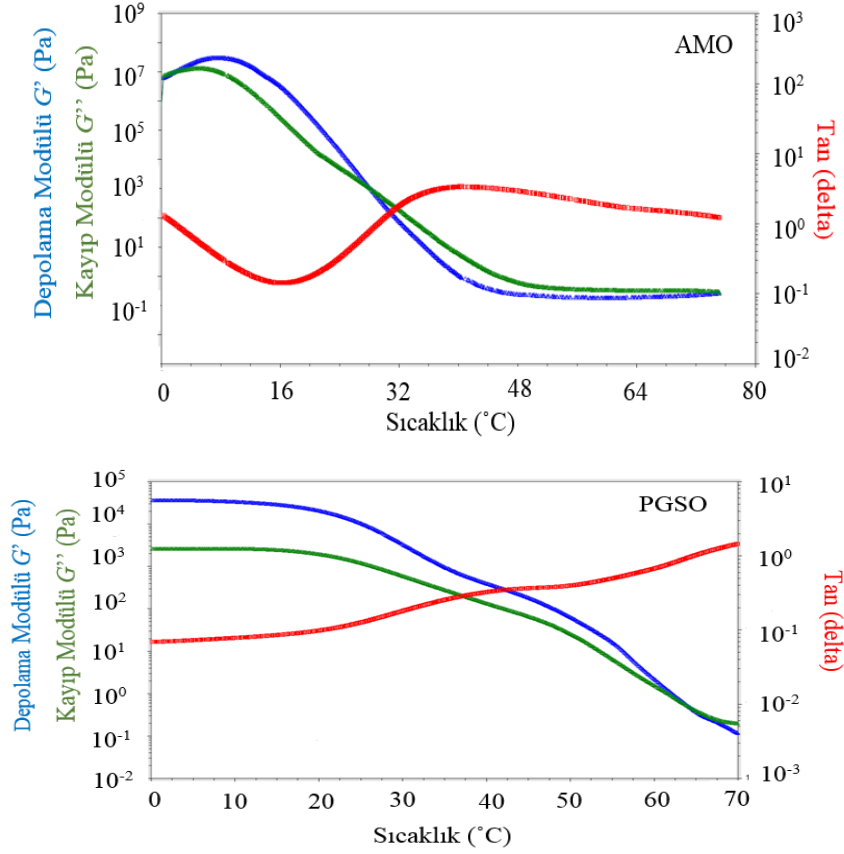


Şekil 5. Hazırlanan oleojel örneklerinin reolojik zaman-tarama testi grafikleri (AMO: fındık yağı-ayçiçek mumu oleojeli, PGSO: fındık yağı-poligliserol stearate oleojeli)

Figure 5. The rheological time-sweep test graphics of the prepared oleogels (SWO: hazelnut oil-sunflowerseed wax oleogels; PGSO: hazelnut oil-polyglycerol stearate oleogel)

Sabit genlik ve frekans altında jelasyon davranışlarını incelemek, birbiriyle kıyaslamak ve jel kırılma noktası sıcaklığını belirleyebilmek için sıcaklık-tarama (temperature-ramp) testi de yapılmıştır (Şekil 6). Bu testte, oleojel reometre cihazı üzerinde peltier sistemiyle kademeli olarak ısıtılmakta veya soğutulmakta ve aynı anda da akış-davranış parametreleri olan depo ve kayıp modül değerleri takip edilmektedir. Yani bu test

örneklerin sıcaklık değişimiyle akış özelliklerinin nasıl değiştiğinin incelenmesini sağlamaktadır. Şekil 6'dan da görüleceği gibi her iki oleojel örneğinde de sıcaklık 0°C'den 80°C'ye doğru arttırıldıkça her iki modül değerleri de beklenildiği gibi azalmaktadır. Yani jel yavaşça yapısını kaybetmekte ve gittikçe likit bir akışkana benzemektedir.



Şekil 6. Hazırlanan oleojel örneklerinin reolojik sıcaklık-artış testi grafikleri (AMO: fındık yağı-ayçiçek mumu oleojeli, PGSO: fındık yağı-poligliserol stearate oleojeli)

Figure 6. The rheological temperature-ramp test graphics of the prepared oleogels (SWO: hazelnut oil-sunflowerseed wax oleogels; PGSO: hazelnut oil-polyglycerol stearate oleogel)

Ancak depo modülünün (G') kayıp modülden (G'') daha yüksek olduğu her durumda yapının henüz jel formunda olduğu da anlaşılmalıdır. İki modül değerlerinin kesiştiği ve depo modülünün bundan sonra kayıp modülden daha düşük değerler almaya başladığı noktaya çarpaz-geçiş noktası (cross-over point) denilmektedir. Bu noktadaki sıcaklıktan sonra jel yapının tamamen kaybolduğu ve serbest likit-formda akışın başladığı bilinmektedir [24]. Öte yandan daha önce de yağ bağlama kapasitesi ölçümleriyle gösterildiği gibi oleojeller çoğunlukla termal geri-dönüşümlü örneklerdir. Yani ısıtılarak çarpaz geçiş noktasını aşan ve ergiyen bir oleojel soğutulduğunda yeniden jelleşmektedir. Hazırlanan AMO ve PGSO örnekleri için çarpaz-geçiş noktaları yaklaşık olarak 30 ve 62°C olarak ölçülmüştür (Şekil 6). Görüldüğü gibi PGSO oleojeli çok daha yüksek termal dayanıklılığa sahiptir. Hâlbuki önceki analizde frekans-tarama testinde (Şekil 4), AMO oleojeli daha sert olarak ölçülmüştür. Bu durum oleojeller için normal ve beklenen sonuçlardandır. Farklı organojelatörler farklı mekanizmalar ve farklı ağ yapıları ile jel oluşturdukları için farklı mekanik ve termal stabilite özellikleri gösterebilmektedirler [4, 8, 9].

Burada DSC ile ölçülen termal özellikler (ergime ve kristalizasyon noktaları ve entalpileri) ile reolojik sıcaklık-rampa testinin farklı amaçlar için yapıldığını ve farklı özellikleri gösterdiğini de açıklamak gerekmektedir. DSC ile bir örneğin faz değişim sıcaklık noktaları ve enerji

değerleri ölçülmektedir. Yani bir oleojelde katı-sıvı faz değişim sıcaklık noktası ve bunun enerji değeri belirlenmektedir. Reolojik sıcaklık-rampa testinde ise çevresel sıcaklık kademeli olarak yükseltildiğinde örneğin akış-davranışının nasıl değiştiği incelenmektedir. Reolojik analizle ölçülen çarpaz-geçiş noktası, jeli oluşturan ağ yapının tamamen açıldığı ve serbest akışın başladığı noktadır. Bu nedenle DSC ile ölçülen ergime pik noktası değerlerinden biraz farklıdır. Benzer durum literatürde bir çok oleojel örneği için rapor edilmiştir [4, 6, 8, 9, 11].

SONUÇ

Bu çalışmada soğuk preslenmiş fındık yağıyla iki çeşit oleojel (ayçiçek mumu oleojeli, AMO ve poligliserol stearat oleojeli, PGSO) üretilmiş ve özellikleri belirlenmiştir. Her iki oleojelde likit fındık yağına benzer yağ asidi profili göstermiş olup, PGSO örneğinde palmitik asit miktarında artış gözlenmiştir. Her iki oleojelin hızlı jelleşen ve stabil örnekler olduğu belirlenmiştir. Örnekler genelde kremi beyaz renge sahip olup, gıda uygulamaları için uygundur. Oleojellerde ölçülen SYA ve PS değerleri oldukça düşüktür. AMO örneği β' polimorf yapı gösterirken, PGSO örneği β polimorf özelliktedir. Oleojeller termal ve mekanik stabiliteye ve geri-dönüşüm özelliklerine sahiptirler. Bu oleojeller çeşitli gıda ürünlerinde kullanılabilirler ve gıda işlenirken uygulanan mekanik

(basınç, çırpma, karıştırma gibi) ve termal (ısıtma) işlemler sonucunda jel yapılarını geçici olarak kaybetmeler bile, bu etkiler ortadan kalktığında tekrar jel yapılarına dönebilirler. Sonuç olarak geliştirilen oleojellerin farklı gıda ürünlerinde katı yağ stoğu olarak kullanılabilir özellikler taşıdığı ortaya konulmuştur. Daha önce de yapılan benzer çalışmalarda AMO ve benzeri oleojellerin gıda uygulama çalışmaları yayınlanmıştır. PGSO ile ise gıda uygulama çalışmaları bulunmamaktadır. Bu çalışma sonuçlarının alanın araştırmacıları ve gıda sektörü tarafından ilgiyle karşılanacağı ve çeşitli uygulama çalışmalarının başlayacağı beklenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma TÜBİTAK 1001 projesi olarak (Proje No: 217O094) desteklenmiştir. Sağlanan destek için TÜBİTAK'a sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Sagiri, S.S., Behera, B., Rafanan, R.R., Bhattacharya, C., Pal, K., Banerjee, I. Rousseau, D. (2014). Organogels as matrices for controlled drug delivery: a review on the current state. *Soft Materials*, 12, 47-72.
- [2] Doan, C.D., Van de Walle, D., Dewettinck, K., Patel, A.R. (2015). Evaluating the oil-gelling properties of natural waxes in rice bran oil: rheological, thermal, and microstructural study. *Journal of American Oil Chemist's Society*, 92(6), 801-811.
- [3] Marangoni A.G., Garti N. (2011). An Overview of the Past, Present and Future of Organogels. In *Edible Oleogels: Structure and Health Implications*, Edited by A.G. Marangoni and N. Garti, AOCS Press, Urbana, IL, USA, pp. 1-18.
- [4] Patel, A.R. (2018). Oil Structuring: Concepts, Overview And Future Perspectives. In *Edible Oil Structuring: Concept, Methods And Applications*, Edited by A.R. Patel, Royal Society of Chemistry, Chambridge, UK pp. 3-24.
- [5] Yılmaz, E., Ok, S. (2018). Edible Applications of Wax-based Oleogels. In *Edible Oil Structuring: Concept, Methods and Applications*, Edited by A.R. Patel, Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK. pp. 217-24.
- [6] Yılmaz, E., Ögütçü, M. (2014). Comparative analysis of olive oil organogels containing beeswax and sunflower wax with breakfast margarine. *Journal of Food Science*, 79(9), E1732-E1738.
- [7] Yılmaz, E., Ögütçü, M. (2015). Oleogels as spreadable fat and butter alternatives: sensory description and consumer perception. *RSC Advances*, 5, 50259-50267.
- [8] Mattice, K.D., Marangoni, A.G. (2018). New Insights into Wax Crystal Networks in Oleogels. In *Edible Oil Structuring: Concept, Methods and Applications*, Edited by A.R. Patel, Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp. 71-94.
- [9] Yılmaz, E., Ögütçü, M., Güneser, O. (2015). Influence of storage on physico-chemical and volatile features of enriched and aromatized wax organogels. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92, 1429-1443.
- [10] Nakajima, N., Hamada, M. (2012). Synthesis of structurally well-defined polyglycolols and their fatty acid esters as new oil gelators. *Journal of Synthetic Organic Chemistry Japan*, 70(7), 742-753.
- [11] Keskin Uslu, E., Yılmaz, E. (2021). Preparation and characterization of glycerol monostearate and polyglycerol stearate oleogels with selected amphiphiles. *Food Structure*, 28, 100192.
- [12] Norn, V. (2015). Emulsifiers in Food Technology (Chapter 8). Wiley-Blackwell Pub., New York, ABD.
- [13] Da Pieve, S., Calligaris, S., Co, E., Nicoli, M.C., Marangoni, A.G. (2010). Shear nanostructuring of monoglyceride organogels. *Food Biophysics*, 5, 211-217.
- [14] Ögütçü, M., Yılmaz, E. (2015). Characterization of hazelnut oil oleogels prepared with sunflower and carnauba waxes. *International Journal of Food Properties*, 18, 1741-1755.
- [15] AOCS. (1998). Official methods and recommended practices of the AOCS. Vol. I and II. AOCS Press, Champaign, IL, ABD.
- [16] AOCS. (2012). AOCS Official Method Cj 2-95. X-ray diffraction analysis of fats. Official Methods and Recommended Practices of the AOCS, 6th Ed. 2011-2012 Methods and Additions and Revisions.
- [17] Minitab. (2010). Minitab Statistical Software (Version 16.1). Minitab, Inc., State College, Pennsylvania, ABD.
- [18] Turhan, S. (2011). Türk Fındık Yağlarının Triglicerit Yapılarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.
- [19] TGK. (2012). Türk Gıda Kodeksi Bitki Adı İle Anılan Yağlar Tebliği (Tebliğ No: 2012/29). Tarım Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- [20] O'Brien, R.D. (2008). Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications. CRC Press, New York, ABD.
- [21] Stahl, M.A., Buscato, M.H., Grimaldi, R. (2017). Low sat-structured fats enriched in α -linolenic acid: physico-chemical properties and crystallization characteristics. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 3391-3403.
- [22] Dassanayake, L.S.K., Kodali, D.R., Ueno, S. Sato, K. (2009). Physical properties of rice bran wax in bulk and organogels. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86, 1163-1173.
- [23] Chrysam, M.M. (1996). Margarines and Spreads. In *Bailey's Industrial Oil & Fat Products*, Edited by Y.H. Hui, Wiley-Interscience Publications, New Yorks, ABD, pp. 65-114.
- [24] Mezger TG. (2014). Applied Rheology (1st ed.). Anton Paar GmbH.