

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**FINDIK ZARI EKSTRAKTININ FINDIK YAĞI OLEOJELLERİNİN
STABİLİTESİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS

Hilal YEŞİLYURT BOSTAN

**MART-2026
GÜMÜŞHANE**



T.C.

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**FINDIK ZARI EKSTRAKTININ FINDIK YAĞI OLEOJELLERİNİN
STABİLİTESİNE ETKİSİ**

**EFFECTS OF HAZELNUT SKIN EXTRACT ON THE STABILITY OF
HAZELNUT OIL OLEOGELS**

YÜKSEK LİSANS

Hilal YEŞİLYURT BOSTAN

**MART-2026
GÜMÜŞHANE**



T.C.

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**FINDIK ZARI EKSTRAKTININ FINDIK YAĞI OLEOJELLERİNİN
STABİLİTESİNE ETKİSİ**

**EFFECTS OF HAZELNUT SKIN EXTRACT ON THE STABILITY OF
HAZELNUT OIL OLEOGELS**

YÜKSEK LİSANS

Hilal YEŞİLYURT BOSTAN

Danışman: Prof. Dr. Cemalettin BALTACI

**MART-2026
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Fındık Zarı Ekstraktının Fındık Yağı Oleojellerinin Stabilitesine Etkisi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmalarını kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

11/03/2026

.....
Hilal YEŞİLYURT BOSTAN

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında emeğini, bilgisini, hoşgörüsünü, samimiyetini ve desteğini hiç esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Cemalettin BALTACI' ya tezime ve gelecekteki hayatıma sunduğu katkılarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım. 25.E0106.07.01 kodlu bu proje GÜBAP2907 Lisansüstü Öğrenci Destek Programı çerçevesinde Gümüşhane Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

Laboratuvar ve uygulama çalışmalarında bana yardımcı olan, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Sayın Dr. Halil İbrahim ODABAŞ' a tezime sunduğu katkılardan dolayı teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Tez çalışması esnasında deneysel kısımlara yardımcı olan Gıda Mühendisliği Bölümü doktora öğrencisi Bill Jaures CHIMI' ye teşekkür ederim.

Çalışma kapsamında kullanılan materyallerin temini ve tez sürecinde destek sağlayan Sabırlar Fındık firmasına ve birlikte çalıştığım mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tezimin yazımı sürecinde bana manevi desteği için eşim Tarık BOSTAN ve oğlum Yağız Alp BOSTAN 'a teşekkür ederim.

Hilal YEŞİLYURT BOSTAN
GÜMÜŞHANE-2026

ÖZET

Bu çalışmada, gliserol monostearat (GMS) ile yapılandırılmış fındık yağı bazlı oleojellerde fındık zarı ekstraktının (FZE) oksidatif stabilite, fizikokimyasal özellikler ve reolojik davranış üzerindeki etkileri incelenmiştir. Oleojeller; kontrol, sentetik antioksidan (BHA) içeren ve %0.20, %0.40 ve %0.60 FZE ilaveli formülasyonlar olarak hazırlanmış ve 30 gün süreyle depolanmıştır. Numuneler belirli aralıklarla asitlik, peroksit değeri, TBARS, Ransimat indüksiyon süresi, renk, yağ tutma ve salma kapasitesi, reolojik özellikler ve FTIR analizleri ile değerlendirilmiştir.

Depolama süresince tüm örneklerde oksidatif parametreler artmış, ancak FZE içeren oleojellerde bu artış daha sınırlı kalmıştır. Özellikle %0.60 FZE içeren örneklerde peroksit ve TBARS değerleri daha düşük, Ransimat indüksiyon süresi ise %20–30 daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca ekstrakt ilavesi yağ tutma kapasitesini artırmış ve %0.60 düzeyinde yaklaşık %10–15 iyileşme sağlamıştır. FTIR analizleri, ekstrakt bileşenlerinin oleojel matrisiyle fiziksel etkileşimler kurduğunu göstermiştir.

Reolojik analizler, tüm örneklerin psödoplastik akış davranışı sergilediğini ve kayma hızı arttıkça viskozitenin azaldığını ortaya koymuştur. Düşük kayma hızlarında viskozite 10^3 – 10^4 Pa·s aralığında ölçülmüş, özellikle %0.40 ve %0.60 FZE ilavesi viskoziteyi artırarak jel yapısını güçlendirmiştir.

Sonuç olarak, fındık zarı ekstraktının oleojellerde doğal bir antioksidan ve yapı güçlendirici bileşen olarak önemli bir potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Antioksidan, Fındık zarı ekstraktı, Oleojel, Oksidatif stabilite

SUMMARY

This study investigated the effects of hazelnut husk extract (HHE) on the oxidative stability, physicochemical properties, and rheological behavior of hazelnut oil-based oleogels structured with glyceryl monostearate (GMS). Oleogels were prepared as a control, with a synthetic antioxidant (BHA), and with HHE at concentrations of 0.20%, 0.40%, and 0.60%. Samples were stored for 30 days and analyzed periodically for acidity, peroxide value, TBARS, Rancimat induction time, color, oil holding and release capacity, rheological properties, and FTIR.

All samples showed increased oxidation during storage; however, this increase was more limited in HHE-containing oleogels. The 0.60% HHE sample exhibited lower peroxide and TBARS values and approximately 20–30% higher Rancimat induction time compared to the control. Oil holding capacity improved with extract addition, reaching 10–15% higher values in the 0.60% sample. FTIR results indicated interactions between extract components and the oleogel matrix, particularly in fingerprint and aromatic regions.

Rheological analysis showed that all samples exhibited pseudoplastic flow behavior, with viscosity decreasing as shear rate increased. Viscosity ranged between 10^3 – 10^4 Pa·s at low shear rates, and HHE addition, especially at 0.40% and 0.60%, significantly increased viscosity, indicating a stronger gel network.

Overall, hazelnut husk extract demonstrates strong potential as a natural additive to enhance oxidative stability and improve the structural properties of oleogels.

Keywords: Antioxidant, Hazelnut skin extract, Oleogel, Oxidative stability

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	IV
TEŞEKKÜR	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Fındığın Önemi ve Bileşimi	4
1.3. Lipit Oksidasyonu ve Antioksidan İhtiyacı	5
1.4. Fındık Zarı ve Katma Değerli Kullanım	6
1.5. Oleojelasyon ve Antioksidan Taşıma	7
1.6. Oleojel Üretim Yöntemleri	8
1.6.1. Doğrudan Oleojel Üretim Yöntemleri	8
1.6.2. Dolaylı Oleojel Üretim Yöntemleri	9
1.7. Oleojellerin Kullanım Alanları	10
1.7.1 Süt Ürünleri	11
1.7.2 Et Ürünleri	12
1.7.3 Çikolata ve Şekerleme	12
1.7.4 Fırın Ürünleri	13
1.7.5 Margarinler	13
1.8. Önceki Çalışmalar	14
1.9. Çalışmanın Amacı	15

1.10. Çalışmanın Kapsamı	16
2. MATERYAL VE METOT	18
2.1. Materyal	18
2.2 Fındık Zarı Ekstraktının Hazırlanması.....	18
2.3. Fındık Yağı Oleojellerinin Üretim Süreci.....	18
2.4. Cihazlar	19
2.5. Deneysel Çalışmada Kullanılmış Olan Kimyasallar.....	19
2.6. Çözeltilerin Hazırlanması.....	19
2.7. Serbest Yağ Asitliği (%) Değerinin Belirlenmesi.....	20
2.8. Peroksit Sayısının Belirlenmesi	20
2.9. Ransimat Değerinin Belirlenmesi	22
2.10. Renk Tayini.....	23
2.11. Yağ Tutma Kapasitesi	23
2.12. TBA Analizi	24
2.13. Reolojik Analizler	25
2.14 FTIR Analizi	26
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	27
3.1 Oleojel Örneklerinin % Asitlik Değerleri	27
3.2 Oleojel Örneklerinin Peroksit Değerleri (meq/kg).....	30
3.3 Oleojel Örneklerinin Ransimat Değerleri (saat)	33
3.4 Oleojel Örneklerinin TBARS Değerleri (mg MDA/kg)	36
3.5 Oleojel Örneklerinin Renk Değerleri	38
3.6 % Yağ Tutma ve % Yağ Salma Kapasiteleri	41
3.7 Oleojel Örneklerinin FTIR Analiz Sonuçları.....	42
3.8 Reolojik Analizlerin Değerlendirilmesi	45
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	54
KAYNAKÇA	56
ÖZGEÇMİŞ	65

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Hazırlanan örneklerin kodları	19
Tablo 2. Oleojel örneklerine ait % asitlik değerleri (oleik asit cin.)	27
Tablo 3. Oleojel örneklerine ait peroksit değerleri (meq O ₂ /kg)	31
Tablo 4. Oleojel örneklerine ait Ransimat indüksiyon süreleri (saat)	34
Tablo 5. Oleojel örneklerine ait TBARS değerleri (mg MDA/kg)	37
Tablo 6. Oleojel örneklerine ait renk parametreleri (L*, a*, b*, ΔE*)	39
Tablo 7. Oleojel örneklerine ait yağ tutma ve yağ salma kapasiteleri (%)	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Örneklere ait %asitlik analiz sonuçlarının sütun grafiği.....	29
Şekil 2. Örneklere ait peroksit (meq/kg) analiz sonuçlarının sütun grafiği	32
Şekil 3. Örneklere ait ransimat (saat) analiz sonuçlarının sütun grafiği	35
Şekil 4. Örneklere ait TBA değerleri (mg MDA/kg) analiz sonuçlarının sütun grafiği .	38
Şekil 5. Örneklere ait renk analiz sonuçlarının sütun grafiği.....	40
Şekil 6. Oleojel örneklerinin yağ tutma ve yağ salma kapasiteleri (%).....	42
Şekil 7. Örneklere ait FTIR grafiği	43
Şekil 8. Viskozite–Kayma Hızı Davranışı	46
Şekil 9. Kayıp modülü (G'') – Frekans ilişkisi	48
Şekil 10. Depolama Modülü (G') – Frekans İlişkisi	49
Şekil 11. G' ve G'' 'nin Birlikte Değerlendirilmesi.....	51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	: Yüzde
°C	: Santigrat
N	: normalite
g	: Gram
mg	: Miligram
kg	: Kilogram
L	: Litre
h	: saat
mL	: Mililitre
nm	: nanometre
mm	: milimetre
cm	: santimetre
cm ⁻¹	: ters santimetre/dalga sayısı
mmol	: milimol
meq	: miliekivalent
ϵ	: epsilon molar absorbitivite
w	: ağırlık
v	: hacim
Hz	: Hertz
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
L*	: Aydınlık değeri
a*	: kırmızı-yeşil eksen
b*	: sarı-mavi eksen
ΔE^*	: Toplam renk farkı
M Ω ·cm	: Megaohm·santimetre
IP	: Indiksyon periyodu
GMS	: Gliserol monostearat
EC	: Etil selüloz
FZE	: Fındık zarı ekstraktı
BHA	: Bütillenmiş hidroksianisol (yapay antioksidan)
BHT	: Bütillenmiş hidroksi tolüen (yapay antioksidan)
OBC/YTK	: Yağ tutma kapasitesi

TBARS	: Tiyoarbitürük asit reaktif maddeler
TBA	: Tiyoarbitürük asit
TCA	: Trikloroasetik asit
MDA	: Malondialdehit
EGCG	: Epigallokateşin gallat
VCOG	: C vitamini yüklü oleojel
HOB-XG-GEL	: Fındık yağı bazlı ksantan sakızı-jelatin oleojel
OG	: Ayçiçeği yağı oleojeli
CB	: Kakao yağı
HPMC	: Hidroksipropil metilselüloz
HIPE	: Yüksek iç faz emülsiyonu
XRD	:X-ışını kırınımı
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetri
NMR	: Nükleer manyetik rezonans
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
LVR	: Doğrusal viskoelastik bölge
G'	: Elastik modül
G''	: Viskoz modül
ATR	: Zayıflatılmış toplam yansıma
ORAC	: Oksijen radikali emilim kapasitesi
HPLC	: Yüksek performanslı sıvı kromatografisi
NaOH	: Sodyum Hidroksit
HCL	: Hidroklorik asit
Na ₂ S ₂ O ₃	: Sodyum tiyosülfat
KI	: Potasyum iyodür
C	: Karbon
C=C	: Alken bağı
C=O	: Karbonil grubu
-CH ₂	: Metilen
-CH ₃	: Metil grubu
C-O-C	: Eter bağı
C-O	: Karbon-oksijen bağı
-OH	: Hidroksil grubu
O ₂	: Oksijen

NH ₃	: Amonyak
RBX	: Piriç Kepeği mumu
pH	: Hidrojen Potansiyeli
TAC	: Toplam antioksidan kapasite
TSE	: Türk Standartlar Enstitüsü
TS	: Türk Standartları
ISO	: Uluslararası standardizasyon rgt
EN	: Avrupa standardı
CIE	: Uluslararası Aydınlatma Komisyonu



1.GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Dünya fındık üretiminin yaklaşık %70'inin Türkiye tarafından karşılandığı, buna paralel olarak Türkiye'nin fındık ve fındık ürünleri ihracatında da küresel ölçekte ilk sırada yer aldığı bildirilmektedir. Fındık; kendine özgü duyuşal özellikleri, yüksek enerji ve besin ögesi içeriğı nedeniyle dünya genelinde yaygın biçimde tercih edilen bir sert kabuklu meyvedir. Tüketim alışkanlıkları ağırlıklı olarak çiğ veya kavrulmuş kuruyemiş formunda şekillense de fındık, unlu mamullerden çikolataya, süt ve süt ürünlerinden atıştırılmalık ve şekerleme gruplarına kadar çok geniş bir endüstriyel uygulama alanına sahiptir (Ferrão vd., 2021).

Fındık içinin kimyasal bileşimi, besinsel değerini belirleyen temel unsurların başında gelmektedir. Çeşitli çalışmalar fındık içinin ortalama olarak yaklaşık %60 yağ, %15 ham protein, %4 kül ve %4 su içerdiğini ortaya koymaktadır (Zhao vd., 2023). Bununla birlikte yağ içeriğinin genotip, yetiştirme koşulları, hasat zamanı ve işleme/depola(ma) koşullarına bağılı olarak değışkenlik gösterebildiğı; kuru madde bazında 50.23–60.88 g/100 g aralığında raporlandığı bildirilmektedir (Jiang vd., 2021). Yağ fraksiyonunun yanı sıra fındık; protein, fenolik bileşikler, esansiyel mineraller ve vitaminler bakımından da değerli bir kaynak olup özellikle E vitamini (α -tokoferol) içeriğı ile dikkat çekmektedir.

Fındığın yüksek oranda doymamış yağ asidi içermesi, oksidatif reaksiyonlara yatkınlığı artırarak kalite kayıpları ve raf ömrü ksalması açısından önemli bir risk oluşturmaktadır. Fındık yağının oksidasyonu sonucunda başlangıç ürünleri olarak peroksitler ve hidroperoksitler oluşmakta; bu bileşiklerin parçalanmasıyla serbest radikal oluşumu hızlanabilmekte ve ikincil oksidasyon ürünleri olarak aldehitler, ketonlar ve alkoller meydana gelmektedir. Bu süreçler, üründe acılaşıma, istenmeyen koku/aroma gelişimi ve genel duyuşal bozulma ile sonuçlanabilmektedir (Gao vd., 2022) Fındık işleme zincirinde dikkat çeken bir diğere bileşen fındık zarıdır. Fındık zarı; sert kabuğun altında yer alan, iç fındık yüzeyini ince bir tabaka halinde saran kahverengi perikarp dokudur. Yüksek lif içeriğinin yanı sıra antioksidan bileşenlerce zengin olması nedeniyle fonksiyonel açıdan önem taşımaktadır ve miktar olarak iç fındık ağırlığının yaklaşık %2.5'i düzeyinde olduğu ifade edilmektedir. Natürel fındıklar zarıyla birlikte tüketilebilse de kavrulmuş fındık üretiminde kavurma sırasında zarın parçalanıp ayrılması

nedeniyle ürün çoğunlukla zarsız iç fındık şeklinde sunulmakta; bu durum fındık zarının yan ürün olarak değerlendirilmesini gündeme getirmektedir. Ordu, Giresun, Samsun ve Trabzon illerinden temin edilen fındıklara ait zarların kimyasal bileşimi ve antioksidan kapasitelerinin incelendiği; ayrıca fındık zarı yağının antioksidan aktivitesinin diğer rafine yemeklik yağlar ve sentetik antioksidanlarla karşılaştırıldığı bir çalışmada, en yüksek antioksidan kapasitenin Giresun ve Samsun kaynaklı zar örneklerinde belirlendiği (sırasıyla 2.015 ± 0.000 ve 1.985 ± 0.002 mmol/L) bildirilmiştir. Aynı çalışmada rafine fındık zarı yağının, diğer rafine yağlara ve BHA'ya kıyasla oldukça yüksek antioksidan kapasite sergilediği; dolayısıyla fındık zarı yağının doğal antioksidan katkı maddesi olarak sentetik antioksidanlara alternatif bir potansiyel taşıdığı vurgulanmıştır (Şahin vd., 2019).

Gıda sanayinde lipid oksidasyonunun kontrolü açısından antioksidan katkı maddeleri kritik öneme sahiptir. Üretim, depolama, taşıma ve pazarlama süreçlerinde otooksidasyon kaynaklı kalite kayıplarını önlemek veya geciktirmek amacıyla antioksidanlar yaygın biçimde kullanılmaktadır (Baladura ve Şimşek, 2014). Antioksidanların; istenmeyen koku/aroma/tat değişimlerini sınırlama, enzimatik kararma veya renk kaybını azaltma ve oksidatif acılaşmayı geciktirme gibi işlevleri sayesinde özellikle yağlar ve yağlı gıdalarda raf ömrünün uzatılmasına katkı sağladığı belirtilmektedir (Boğa ve Binokay, 2010). Ancak endüstriyel üretimin artması ve raf ömrü/ticari kaygıların öne çıkmasıyla sentetik antioksidan kullanımı yaygınlaşmış; buna karşın sağlık açısından oluşan tereddütler nedeniyle bazı ülkelerde kullanımının yasaklandığı veya sınırlandırıldığı bildirilmektedir (Frag vd., 2003). Bu gelişmeler doğrultusunda sentetik antioksidanların yerine doğal antioksidanlara yönelim artmış; gıdalarda doğal kaynaklı antioksidanların kullanımı, sağlık ve beslenme açısından daha uygun bir yaklaşım olarak önerilmiştir (Kıralan, 2006).

Bu çerçevede, lipid sistemlerde oksidatif stabiliteyi artırırken daha sağlıklı yağ profili oluşturmayı hedefleyen yaklaşımlardan biri de oleojelasyon teknolojisidir. Oleojelasyon, doymuş ve trans yağ oranı düşük sıvı yağların “jel benzeri” bir yapıya dönüştürülmesi temeline dayanır ve böylece besinsel profili iyileştirilmiş, fonksiyonel özellikleri geliştirilmiş yağ sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlayabilir (Patel vd., 2014). Oleojel; jelatör ajanların etkisiyle kendiliğinden bir araya gelen, çapraz bağlı veya karmaşık üç boyutlu bir ağ yapısına sahip sistem olarak tanımlanmakta; bu ağ içerisinde sıvı yağ tutulmakta ve malzeme katı yağ benzeri davranış gösterebilmektedir (Patel ve Dewettinck, 2016). Oleojeller, daha iyi doku ve yayılabilirlik, yağ sızıntısının azaltılması, raf ömrünün uzatılması ve katı yağ işlevselliğine yakın özellikler sunması nedeniyle

fırıncılık, et ürünleri, şekerleme ve süt ürünleri gibi birçok uygulama alanında doymuş yağ ve trans yağlara alternatif olarak değerlendirilmektedir (Dursun vd., 2020).

Oleojel sistemlerinin performansı büyük ölçüde kullanılan jelatör tipi ve formülasyona eklenen yardımcı bileşenlere bağlıdır. Örneğin etilselüloz (EC) bazlı oleojeller ve W/O emülsiyonlarda gliserol monostearat (GMS) ilavesinin rolünü inceleyen bir çalışmada, GMS'nin oleojel ağında daha yuvarlak ve kompakt yağ gözenekleri oluşturduğu; %5 GMS içeren oleojelde kristalliğin arttığı, bunun da daha katı bir yapı, daha yüksek mekanik tersinirliğe ancak örneklerde daha kırılğan bir davranış ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada GMS ilavesinin yağ bağlama kapasitesi, depolama modülü ve akma gerilimini artırdığı; oral işleme koşullarında doku ve viskoziteyi güçlendirdiği; sürtünme davranışının ise GMS oranına bağlı olarak değiştiği raporlanmıştır (Zhang vd., 2022).

Benzer şekilde, yüzey aktif madde olarak GMS kullanılarak pirinç kepeği mumu (RBX) oleojelleriyle %25'e kadar su içeren W/O emülsiyonlarının kinetik olarak stabilize edilebildiği ve emülsiyon reolojisinin oleojelleşme yoluyla uyarlanabildiği gösterilmiştir (Wijarnprecha vd., 2019). Ayrıca kolloidal kompleksler (protein-polifenol-polisakkarit) ile ayarlanabilir reolojik/dokusal özelliklere sahip oleojeller üretilebileceği; partikül boyutu, yüzey yükü ve damlacık boyutu gibi parametrelerin görünüm ve tekstürü belirgin biçimde etkilediği de bildirilmiştir (Qiu vd., 2018).

Oleojellerin bir diğer önemli avantajı, yalnızca yağın fiziksel özelliklerini iyileştirmesi değil; aynı zamanda biyoaktif bileşiklerin taşınması için bir "besin dağıtım sistemi" olarak kullanılabilmesidir (Scharfe ve Floter, 2020; Singh ve ark., 2017). Bu kapsamda kurkumin ve epigallocateşin gallat (EGCG) gibi biyoaktiflerin oleojel sistemlerinde taşınabildiği; GMS içeriğinin yapı ve dağıtım fonksiyonu üzerinde belirleyici rol oynadığı; daha yüksek GMS içeriğinin daha yüksek kristallik ve daha kompakt jel sistemleriyle ilişkilendirildiği bildirilmiştir (Lu vd., 2022). Ayrıca protein bazlı oleojellerin yüksek oksidatif kararlılık ve lezzet özellikleri gösterebildiği; polifenolce zengin peynir altı suyu protein partikülleri gibi bileşenlerin ölçeklenebilir teknolojilerle oleojel hazırlığında kullanılmasının, beslenme ve sağlık işlevleri olan ürünlerin geliştirilmesini destekleyebileceği vurgulanmıştır (Wang vd., 2022).

Gıda endüstrisinin hedefi, çoğunlukla ağırlıkça %90'dan fazla yenilebilir sıvı yağ içeren oleojeller üretmek olduğundan, bu sistemlere antioksidanların dahil edilmesi ayrı bir önem taşımaktadır. Antioksidan ilavesi, yüksek doymamış yağ içeriğine sahip ürünlerde oksidatif stabilitenin artırılması ve depolama sürecinde kalite kayıplarının sınırlandırılması açısından stratejik bir yaklaşımdır (Patel vd., 2014). Nitekim gliserol

monostearat (GMS) ve β -karoten ile güçlendirilmiş kandelilla mumu oleojellerinde reolojik özellikler ve oksidatif stabilitenin değerlendirildiği ve bu oleojellerin çörek gibi ürünlerde katı yağ ikamesi olarak kullanıldığı çalışmada, β -karoten ve GMS ilavesinin ürünün depolama stabilitesini olumlu etkilediği gösterilmiştir (Jeong vd., 2022).

Bu bulgular, hem doğal antioksidan kaynaklarının (ör. fındık zarı/zar yağı) değerlendirilmesi hem de oleojel gibi yapılandırılmış yağ sistemleriyle birleştirilmesi yoluyla daha sağlıklı, daha stabil ve fonksiyonel yağlı gıda ürünlerinin geliştirilmesine yönelik güçlü bir bilimsel zemin olduğunu ortaya koymaktadır.

1.2. Fındığın Önemi ve Bileşimi

Fındık (*Corylus avellana* L.), hem besinsel hem de fonksiyonel özellikleri nedeniyle insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Yüksek oranda tekli doymamış yağ asitleri, kaliteli protein, diyet lifi, vitaminler (özellikle E vitamini) ve mineraller içermesinin yanı sıra; steroller, tokoferoller, fenolik asitler ve flavonoller gibi biyoaktif bileşikler bakımından da zengindir. Bu bileşenler sayesinde fındık tüketiminin antioksidan kapasiteyi artırdığı, kalp-damar hastalıkları riskini azalttığı ve metabolik sağlığı desteklediği bildirilmektedir. Ayrıca fındık, çikolata, şekerleme ve fırıncılık sanayinde yaygın olarak kullanılmakta olup, yüksek teknolojik ve duyuşal özellikleri nedeniyle gıda endüstrisi açısından da önemli bir hammaddedir. Morfolojik ve kimyasal özelliklerin birlikte değerlendirilmesi, fındık çeşitlerinin kalite sınıflandırılması ve uygun kullanım alanlarının belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. (Kırca vd., 2018)

Fındık, fındık ağacının meyvesi olup çikolata, şekerleme ve fırıncılık sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bisküvi, dondurma, kahvaltılık gevrekler, kahve ürünleri, atıştırmalıklar, likörler ve sürülebilir ürünlerin üretiminde de yer almaktadır. Biyoaktif bileşikler açısından zengin olması nedeniyle fındık, fonksiyonel bir gıda olarak kabul edilmektedir. Fındık tüketiminin, steroller, tokoferoller, fenolik asitler ve flavonoller içeriği sayesinde sağlık açısından yararlı olduğu bildirilmektedir.

Fındık çekirdeğinin besin bileşimi, ürün kalitesinin değerlendirilmesinde ve tüketici tercihleri üzerinde etkili olan önemli bir parametredir. Bu nedenle fındığın kimyasal bileşiminin ayrıntılı olarak incelenmesi, kalite ve besin değeri açısından gereklidir.

İncelenen fındık çeşitlerinde yağ içeriğinin genel olarak %50–66 aralığında değiştiği belirlenmiştir. En düşük yağ içeriği İran kökenli Peşmin çeşidinde (%50,81), en yüksek yağ içeriği ise Portekiz kökenli Pautet çeşidinde (%66,29) tespit edilmiştir. Genel

olarak fındık çekirdeğindeki yağ oranı %62–64 düzeyinde olup, protein ve karbonhidrat içeriğiyle dengeli bir yapı göstermektedir.

Protein içeriği çeşitlere bağlı olarak %7,03 ile %24,61 arasında değişmektedir. Karbonhidrat içeriği ise %7,82–21,79 aralığında bulunmuştur. Türkiye’de yetiştirilen fındık çeşitleri, yüksek protein ve düşük karbonhidrat içeriği ile dikkat çekmektedir. Oregon ve Polonya’da yetiştirilen Barselona çeşitlerinin karbonhidrat içeriklerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Kül içeriği bakımından Portekiz kökenli fındık çeşitleri daha yüksek değerlere sahipken, diğer ülkelerde kül içeriği genellikle %2,00–2,79 aralığında rapor edilmiştir. (Król ve Gantner, 2020)

1.3. Lipit Oksidasyonu ve Antioksidan İhtiyacı

Fırınlamanın yedi ticari Türk fındık çeşidinin (Çakıldak, Foşa, Karafındık, Mincane, Palaz, Sivri ve Tombul) antioksidan durumu ve fenolik profilleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Örnekler; toplam fenolik madde içeriği, oksijen radikali emilim kapasitesi (ORAC), yoğunlaşmış tanenler ile fenolik asitler (serbest ve bağlı formlar) açısından analiz edilmiştir. Fındıkların kavrulması sonucunda, toplam fenoliklerde yaklaşık %66,3, ORAC değerlerinde %41,6, yoğunlaşmış tanenlerde %75,2 ve fenolik asitlerde %42,7 oranında istatistiksel olarak anlamlı kayıplar gözlemlenmiştir. Doğal ve kavrulmuş fındıklar arasında ve çeşitlerin kendi içlerinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir Mincane çeşidi, kavrulmuş formda dahi en yüksek toplam fenolik madde içeriği, ORAC değeri, yoğunlaşmış tanen ve fenolik asit miktarına sahip bulunmuştur. Bunun temel nedeni, kavrulmuş Mincane fındıklarında kısmen kabuk (deri) kalmasıdır. Diğer çeşitlerde ise kavurma işlemi sırasında kabuk tamamen uzaklaşmaktadır. (Pelvan vd., 2012)

Azerbaycan, Şili, İtalya ve Türkiye olmak üzere farklı ülkelerden temin edilen fındık içlerinin kimyasal bileşimi, antioksidan kapasitesi ve toplam fenolik içeriğinin değerlendirildiği bir çalışmada elde edilen bulgulara göre, farklı ülkelerden elde edilen fındıkların protein içeriklerinin benzer olduğu belirlenmiştir. En yüksek yağ verimi, Şili ve Türkiye %62,35 $\pm$ 0,51 ve %62,29 $\pm$ 0,46 olarak saptanmıştır. Türkiye kökenli fındıklardan elde edilen yağların oleik asit içeriği en yüksek değere sahipken (%84,09 $\pm$ 0,17), Azerbaycan kökenli fındık yağlarının en düşük oleik asit içeriğine (%78,10 $\pm$ 0,48) sahip olduğu belirlenmiştir. En yüksek toplam fenolik içerik ise Azerbaycan kökenli fındık içlerinde tespit edilmiştir. Buna karşın, en düşük fenolik içerik Türkiye kökenli fındık içlerinde gözlenmesine rağmen, en yüksek antioksidan kapasite Türkiye kökenli fındık içleri, bunlardan elde edilen yağlar ve yağı alınmış fındık örneklerinde

belirlenmiştir. Bu durum, Türkiye kökenli fındık içlerinin suda çözünebilen fenolik antioksidanlara ek olarak yağda çözünebilen antioksidanlar bakımından da zengin olabileceğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, fındıkların coğrafi orijinlerine bağlı olarak farklı kimyasal bileşim, antioksidan kapasite ve fenolik içerik sergilediğini ortaya koymaktadır. (Şahin vd., 2022)

1.4. Fındık Zarı ve Katma Değerli Kullanım

Fındık işleme sürecinde ortaya çıkan önemli yan ürünlerden biri fındık zarıdır. Fındık zarı; sert kabuğun hemen altında yer alan, iç fındık yüzeyini saran ince, kahverengi perikarp tabakasıdır. Yüksek lif içeriğine sahip olmasının yanı sıra fenolik bileşikler ve antioksidanlar bakımından oldukça zengin bir yapıya sahiptir. Miktar olarak iç fındık ağırlığının yaklaşık %2.5'i düzeyinde olan fındık zarı, özellikle kavurma işlemi sırasında fındıktan ayrılmakta ve çoğunlukla düşük ekonomik değere sahip bir yan ürün olarak değerlendirilmektedir.

Bununla birlikte son yıllarda yapılan çalışmalar, fındık zarının yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülebileceğini ortaya koymaktadır. Ordu, Giresun, Samsun ve Trabzon illerinden temin edilen fındıklara ait zarların kimyasal bileşimi ve antioksidan kapasitelerinin incelendiği bir çalışmada, en yüksek antioksidan kapasitenin Giresun ve Samsun kaynaklı fındık zarlarında belirlendiği bildirilmiştir (sırasıyla 2.015 ± 0.000 ve 1.985 ± 0.002 mmol/L). Aynı çalışmada elde edilen rafine fındık zarı yağının, diğer rafine yemeklik yağlara ve sentetik antioksidanlara (BHA) kıyasla oldukça yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğu saptanmıştır. Bu bulgular, fındık zarı yağının doğal antioksidan katkı maddesi olarak kullanılabileceğini ve sentetik antioksidanlara güçlü bir alternatif oluşturabileceğini göstermektedir (Şahin vd., 2019).

Türkiye'nin Giresun ilinde yetiştirilen 18 yerli fındık çeşidinin tat açısından aktif bileşenleri üzerindeki kavurma etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada, örnekler serbest fenolik asitler açısından incelenmiştir ve kavurma işlemi gallik asitte yaklaşık %66,7 oranında anlamlı kayba yol açmıştır; kahverengi kabuğun alınması bu kayıplarda önemli rol oynamaktadır (Alasalvar vd., 2010).

Farklı fındık örneklerinden elde edilen zarlar; toplam polifenol içeriği, toplam antioksidan kapasite (TAC) ve spesifik polifenolik bileşen profilleri açısından karakterize edilmiştir. HPLC–MS/MS yöntemi kullanılarak tanımlanan ve nicel olarak belirlenen başlıca polifenolik alt sınıfın, toplam polifenollerin %95'inden fazlasını oluşturan monomerik ve oligomerik flavan-3-oller olduğu saptanmıştır. Flavonoller ve

dihidrokalbonlar toplam tanımlanan fenoliklerin yaklaşık %3,5'ini oluştururken, fenolik asitlerin oranı %1'in altında kalmıştır.

Fındık zarı örneklerinin toplam antioksidan kapasitesi 0,6 ile 2,2 mol indirgenmiş demir/kg örnek aralığında değişmiştir. Bu değerler, bütün fındıkların TAC değerlerinin yaklaşık 3 katı, bitter çikolatanın 7–8 katı, espresso kahvenin 10 katı ve böğürtlenlerin yaklaşık 25 katına karşılık gelmektedir. Fındık zarlarının bulunan polifenollerin profilinin ortaya konulması, bu yan ürünün potansiyel sağlık etkilerinin daha ayrıntılı biçimde araştırılmasına temel oluşturmaktadır. (Del Rio vd., 2011)

Fındık zarı, fındık çekirdeğinin işlenmesi sırasında genellikle yan ürün olarak ortaya çıkmasına rağmen, diyet lifi, polifenoller, flavonoidler ve antioksidanlar açısından son derece zengin bir bileşendir. Bu biyoaktif içerik, fındık zarına güçlü antioksidan, antiinflamatuvar ve hipolipidemik özellikler kazandırmaktadır. Özellikle kavurma sonrası ayrılan fındık zarı, kolesterol metabolizmasının düzenlenmesi, safra asidi atılımının artırılması ve bağırsak sağlığının desteklenmesi yoluyla kardiyovasküler hastalık ve metabolik sendromla ilişkili risk faktörlerinin iyileştirilmesinde önemli bir potansiyel taşımaktadır. Ayrıca fındık zarında bulunan polifenoller, kolon kanseri riskini artıran sekonder safra asitlerinin oluşumunu azaltabilmektedir. Bu özellikleriyle fındık zarı, fonksiyonel gıdalar ve nutrasötik ürünler için yüksek katma değerli ve sürdürülebilir bir doğal bileşen olarak öne çıkmaktadır (Caimari vd., 2015).

Bir gıda yan ürünü olan fındık zarının fonksiyonel yoğurt üretiminde başarıyla kullanılabileceği gösterilmiştir. Fındık zarı ilavesi yoğurtların toplam kuru madde, yağ içeriği, yağ salma kapasitesi ve antioksidan kapasitesini artırmış, yoğurt bakterilerinin canlılığını desteklemiştir. En yüksek canlı bakteri sayısı %4 fındık zarı içeren yoğurtlarda belirlenmiştir. Buna karşın, dokusal özellikler ve görünür viskozite azalmış, ancak duysal özellikler kontrol yoğurtlarına benzer bulunmuştur. Sonuç olarak, fındık zarı; sürdürülebilirlik, insan sağlığı ve tüketici kabulü açısından umut verici bir fonksiyonel bileşen olarak değerlendirilmiştir (Dinkçi vd., 2021).

1.5. Oleojelasyon ve Antioksidan Taşıma

Trans ve doymuş yağ asitlerinin kullanımına getirilen yasal sınırlamalar, tüketicilerin bazı yağların insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerine yönelik artan farkındalığı ve palm yağı kullanımının çevresel ile sağlık boyutlarına ilişkin kaygılar, yağ içeren gıda ürünlerinin yeniden formülasyonuna yönelik çalışmaları hızlandırmıştır.

Yağlar ve yağ asitleri esas olarak trigliseritlerden oluşmakta olup, gıdalarda yapı, doku, aroma ve lezzet gibi önemli teknolojik ve duysal özelliklerin oluşmasında

belirleyici bir rol oynamaktadır. Ancak güncel bilimsel bulgular, sağlık açısından olumsuz etkilerin özellikle trans ve doymuş yağ asitleri ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu doğrultuda, sağlık otoritelerinin önerileri ve yasal düzenlemeler kapsamında trans yağların yasaklanması ve doymuş yağların sınırlandırılması, lipid içeren gıdaların besinsel açıdan iyileştirilmesine yönelik alternatif yaklaşımların geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Bu kapsamda oleojelasyon, sıvı bitkisel yağların besinsel avantajlarını korurken katı yağlara benzer fonksiyonel özellikler kazandırmayı amaçlayan yenilikçi ve güncel bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Farklı jelasyon teknikleri kullanılarak geliştirilen yenilebilir oleojeller; sürülebilir ürünler, fırıncılık ve şekerleme ürünleri ile süt ve et ürünlerinde kullanılmakta olup, çevresel ve besinsel açıdan sürdürülebilir bir çözüm sunarak gelecekte trans ve doymuş yağlara alternatif olma potansiyeli taşımaktadır. (Puşcaş vd., 2020)

Oleojelasyon, biyoaktif bileşiklerin çevresel ve biyolojik etkilere karşı korunmasını sağlayan etkili bir enkapsülasyon tekniğidir. Sıvı yağ ve jelleştirici ajanlardan oluşan oleojeller, yarı katı ve ağsı yapıları sayesinde probiyotik mikroorganizmaları fiziksel olarak hapsederek hem gıda matrisi içinde hem de sindirim sistemi boyunca stabiliteyi ve canlılıklarını artırır. Bu yapı, bileşiklerin taşınmasını kolaylaştırırken raf ömrünü ve biyoyararlılığını da destekler. Gıda işleme koşulları ve sindirim sistemindeki olumsuz faktörlerin probiyotikler üzerindeki etkilerini azaltmada oleojelasyon, güvenli ve umut verici bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. (Dursun Saydam ve Varol, 2023)

1.6. Oleojel Üretim Yöntemleri

Oleojeller, sıvı yağların oleojelatör olarak adlandırılan yapılandırıcı moleküller tarafından oluşturulan üç boyutlu bir ağ içerisinde hapsedilmesiyle elde edilen yarı katı sistemlerdir. Oleojelasyon işlemi, yağın yağ asidi kompozisyonunu ve izomer yapısını değiştirmeden katı yağ benzeri fiziksel özellikler kazandırması nedeniyle, doymuş ve trans yağlara alternatif olarak geliştirilen yenilikçi bir yağ yapılandırma teknolojisi olarak değerlendirilmektedir (Marangoni ve Garti, 2018; Davidovich-Pinhas, 2018).

Oleojel üretim yöntemleri genel olarak doğrudan ve dolaylı oleojelasyon yöntemleri olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır (Rogers vd., 2018; Manzoor vd., 2022).

1.6.1. Doğrudan Oleojel Üretim Yöntemleri

Doğrudan oleojelasyon yöntemlerinde, oleojelatörler herhangi bir su veya polar çözücü kullanılmaksızın doğrudan sıvı yağa ilave edilmektedir. Bu yöntemler, basit

proses adımları ve endüstriyel ölçekte uygulanabilirlikleri nedeniyle gıda endüstrisi açısından avantaj sağlamaktadır (Sabet vd., 2021).

Doğrudan sıcak yöntemde, oleojelatör ve yağ birlikte ısıtılarak homojen bir sistem oluşturulmakta, ardından kontrollü soğutma ile oleojel yapısı elde edilmektedir. Isıl işlem sırasında oleojelatör molekülleri kendi kendine organize olarak nanodan mezo ölçeğe kadar uzanan hiyerarşik bir ağ yapısı oluşturmaktadır. Bu yöntem özellikle etil selüloz ve mum bazlı oleojellerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Rogers vd., 2018; Li vd., 2022).

Doğrudan soğuk yöntemde ise, oleojel oluşumu herhangi bir ısıl işlem uygulanmadan, belirli yapılandırıcıların oda sıcaklığında yağa karıştırılmasıyla sağlanmaktadır. Füme silika ve merserize selüloz gibi özel oleojelatörler, ısıya ihtiyaç duymadan jel oluşumunu mümkün kılmaktadır. Bu yöntem, oksidatif bozulma riskinin düşük olması açısından avantajlı olmakla birlikte, kullanılabilecek oleojelatör sayısının sınırlı olması nedeniyle her sistem için uygun değildir (Scharfe ve Flöter, 2020).

1.6.2. Dolaylı Oleojel Üretim Yöntemleri

Dolaylı oleojelasyon yöntemleri, özellikle hidrofilik veya amfifilik özellikteki protein ve polisakkarit bazlı oleojelatörlerin kullanıldığı sistemlerde tercih edilmektedir. Bu yöntemlerde oleojel oluşumu, su veya polar çözücü içeren bir ara şablon yapı üzerinden gerçekleştirilmektedir (Rogers vd., 2018).

Emülsiyon şablonlu yöntemde, öncelikle su içinde yağ emülsiyonu veya yüksek iç faz emülsiyonu (HIPE) hazırlanmakta, ardından suyun uzaklaştırılmasıyla yağ fazı jel yapıya dönüştürülmektedir (Manzoor vd., 2022).

Köpük şablonlu yöntemde, sulu köpük sistemleri oluşturulmakta ve suyun uzaklaştırılmasının ardından kuru yapı yağa emdirilerek oleojel elde edilmektedir.

Hidrojel şablonlu yöntemde, protein veya polisakkarit bazlı hidrojel hazırlanmakta; bu yapılar dondurarak kurutma veya çözücü değişimi yoluyla oleojele dönüştürülmektedir (Davidovich-Pinhas, 2018).

Kaplanmış mikrokapsül şablonlu yöntemde ise, emülsifikasyon ve kontrollü soğutma ile elde edilen yağ mikrokapsülleri daha sonra yağa ilave edilerek oleojel yapısı oluşturulmaktadır (Rogers vd., 2018).

Dolaylı yöntemler, geniş bir oleojelatör yelpazesinin kullanımına olanak sağlamakla birlikte, uzun işlem süreleri, yüksek enerji gereksinimi ve maliyetleri nedeniyle endüstriyel uygulamalarda sınırlı kalmaktadır (Sabet vd., 2023).

Oleojel üretim yönteminin seçimi; kullanılan oleojelatörün tipi, hedeflenen tekstürel ve reolojik özellikler, oksidatif stabilite ve prosesin ölçeklenebilirliği gibi faktörlere bağlıdır. Doğrudan oleojelasyon yöntemleri, proses basitliği ve sürdürülebilirlik açısından öne çıkarken; dolaylı yöntemler, biyopolimer bazlı oleojellerin geliştirilmesinde önemli bir alternatif sunmaktadır (Li ve Liu, 2022; Sabet vd., 2023).

Farklı yağ tiplerinin (ayçiçeği, yüksek oleik ayçiçeği ve hindistancevizi yağı) GM oleojel oluşumu üzerindeki etkisinin değerlendirildiği çalışmada doymuş ve trans yağların azaltılmasına alternatif olarak gliseril monostearat (GM) bazlı oleojeller incelenmiştir. Ayçiçeği ve yüksek oleik ayçiçeği yağlarıyla hazırlanan sistemler katı benzeri jel yapısı oluştururken, hindistancevizi yağı gerçek bir jel ağı oluşturmamıştır. Tüm sistemlerde iğne benzeri GM kristalleri gözlemlenmiş, ancak yağların doygunluk derecesi jel yapısının bütünlüğünü ve polimorfizmini etkilemiştir. Uzun zincirli mono doymamış yağ asitlerince zengin ortamların, GM moleküllerinin daha düzenli ve stabil bir jel ağı oluşturmalarını desteklediği belirlenmiştir. Sonuç olarak, yağ tipi GM oleojellerin yapısal ve fizikokimyasal özelliklerini belirleyen önemli bir faktördür ve bu sistemler daha sağlıklı lipid bazlı gıda ürünlerinin geliştirilmesi için umut vadetmektedir. (Ferro vd., 2019)

1.7. Oleojellerin Kullanım Alanları

Diyetle alınan yüksek doymuş ve trans yağlar, obezite, kardiyovasküler hastalıklar ve diyabet gibi kronik hastalıklarla ilişkilidir. Bu nedenle, daha sağlıklı lipid profiline sahip alternatifler geliştirme ihtiyacı artmıştır. Oleojeller, sıvı bitkisel yağların az miktarda jelleştirici ile üç boyutlu ağ yapısında yapılandırılmasıyla elde edilen, trans yağ içermeyen ve katı yağ benzeri doku ve fonksiyonellik sunan sistemlerdir. Farklı oleojelatörler ve sinerjik kombinasyonları, reolojik ve fonksiyonel özelliklerin ayarlanmasına imkân tanırken, bitkisel yağların besinsel değerini korur. Yenilikçi yaklaşımlar, gıda endüstrisi yan ürünleri ve mikrobiyal yağlar gibi sürdürülebilir kaynakların kullanılmasıyla fonksiyonel ve sağlıklı oleojellerin geliştirilmesini sağlamıştır. Literatürdeki hızlı artış, oleojellerin trans ve doymuş yağların azaltılmasında umut vadeden bir çözüm olduğunu göstermektedir. Hedef gıda ürününe ve kullanılan yağ türüne göre özelleştirilen oleojeller, gelecekte geleneksel katı yağlara sağlıklı bir alternatif sunma potansiyeline sahiptir.

1.7.1. Süt Ürünleri

Süt ürünleri, doymuş ve trans yağ asitleri içermelerine rağmen kalsiyum, yağda çözünen vitaminler ve çeşitli biyoaktif bileşenler bakımından yüksek besin değerine sahiptir. Süt yağı, ürünlerin karakteristik aroma, doku, yapı ve stabilitesinin oluşumunda temel rol oynadığından, tamamen ikame edilmesi teknolojik ve duyuşal açıdan güçlükler doğurmaktadır. Bu bağlamda, süt ürünlerinde doymuş yağ içeriğini azaltırken fonksiyonel özellikleri koruyabilen alternatif yağ yapılandırma yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Süt ürünlerinde süt yağının kısmi ikamesi için umut verici bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Krem peynir uygulamalarında, oleojelleştirilmiş bitkisel yağların kullanımı; sertlik, yayılabilirlik ve reolojik özellikler açısından ticari tam yağlı ürünlerle karşılaştırılabilir sonuçlar vermiştir. Dondurma formülasyonlarında oleojellerin kullanımı, süt kremasının yerine daha düşük doymuş yağ içeriğine sahip alternatiflerin geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Oleojel içeren dondurmalar, geleneksel ürünlerle benzer duyuşal, reolojik ve erime özellikleri sergilemiş; bazı çalışmalarda aşırı duruş ve erime direnci açısından üstün performans göstermiştir. Sonuç olarak, oleojel teknolojisi süt ürünlerinde süt yağının kısmi ikamesi için etkili ve uygulanabilir bir yaklaşım sunmakta; daha sağlıklı ürünlerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, protein–oleojel etkileşimleri ve uzun dönem stabilite üzerine yapılacak ileri çalışmalar, bu sistemlerin endüstriyel uygulamalarını desteklemek açısından önem taşımaktadır. (Puşcaş vd., 2020)

Süt ürünlerinin doku, renk, lezzet ve besin profili gibi temel özellikleri büyük ölçüde süt yağına bağlıdır; ancak süt yağının yaklaşık %65'i doymuş yağ asitlerinden oluşmaktadır. Artan sağlık bilinci ve düzenleyici yaklaşımlar doğrultusunda, tüketici talepleri düşük veya doymuş yağ içeriği azaltılmış ürünlere yönelmiştir. Buna karşın, süt ürünlerinde doymuş yağın azaltılması ürün kalitesinin korunması ve maliyetlerin kontrolü açısından önemli zorluklar içermektedir. Bu bağlamda, oleojeller süt ürünlerinde süt yağına alternatif olarak dikkat çekmektedir. Oleojel sistemler, süt yağının tamamen veya kısmen ikame edilmesine olanak sağlayarak, benzer reolojik ve dokusal özellikleri taklit edebilmekte ve ürünlerin besin profilini iyileştirebilmektedir. Ayrıca, oleojel bazlı süt ürünlerinin sindirilebilirlik ve bağırsak sağlığı üzerindeki olası etkileri de literatürde tartışılmaktadır. Oleojellerin süt ürünlerindeki uygulamalarının kapsamlı biçimde anlaşılması, süt endüstrisine değişen tüketici beklentilerine uygun, daha sağlıklı ürünlerin geliştirilmesi için önemli fırsatlar sunmaktadır. (Chowdhury vd., 2023)

1.7.2. Et Ürünleri

Et ürünlerinde oleojel kullanımı, doymuş ve trans yağ içeriği yüksek hayvansal yağlara daha sağlıklı alternatifler geliştirmek amacıyla araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalar, etil selüloz, monogliseridler, fitosteroller ve mumlar ile yapılandırılmış bitkisel yağ oleojellerinin frankfurter, sosis, köfte ve burger gibi ürünlerde hayvansal yağların kısmen veya tamamen ikame edilebildiğini göstermektedir. Oleojel bazlı reformulasyonlar, ürünlerin doku ve duyuşal özelliklerini büyük ölçüde korurken, doymuş yağ asidi içeriğini azaltmakta ve bazı durumlarda pişirme kaybı ile yağ emilimini düşürmektedir. Bununla birlikte, bazı formülasyonlarda lipid oksidasyonu ve mekanik özelliklerde değişimler gözlenmiştir. Genel olarak oleojeller, et ürünlerinde daha sağlıklı yağ profiline sahip yeni ürünlerin geliştirilmesi için umut verici bir yaklaşım sunmaktadır. (Puşcaş vd., 2020)

1.7.3. Çikolata ve Şekerleme

Çikolata ve çikolata sürmelerinde oleojellerin kullanımı, yüksek doymuş yağ asidi içeriğine sahip katı ve hidrojenlenmiş yağlara daha sağlıklı alternatifler geliştirmeyi amaçlamaktadır. Geleneksel formülasyonlarda yağ süzümünü önlemek ve uygun reolojik özellikleri sağlamak için yüksek erime noktalı trigliseritlere dayalı yağ bağlayıcılar kullanılmaktadır. Oleojel sistemleri, bu yağ bağlayıcıların ve katı yağların kısmen veya tamamen ikame edilmesine olanak sağlayarak, çikolata sürmelerinde yeterli yağ bağlama kapasitesi, uygun yapı ve depolama stabilitesi sunabilmektedir.

Kakao tereyağının (CB) hidroksipropil metilselüloz (HPMC) ile yapılandırılmış ayçiçeği yağı oleojeli (OG) ile kısmen veya tamamen ikamesinin çikolatanın teknolojik ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Farklı CB/OG oranlarında hazırlanan çikolatalar reolojik, termal, yapısal ve duyuşal açıdan değerlendirilmiştir. Oleojel oranı arttıkça yağ kristal ağının sertliği azalmış, ancak çikolata matrisi içinde bu etkiler büyük ölçüde dengelenmiştir. Duyusal analizler, kakao tereyağının %70'e kadar ikame edilebildiğini, teknolojik açıdan ise %50 ikamenin daha uygun olduğunu göstermiştir. %50 oleojel içeren çikolatalarda doymuş yağ içeriği yaklaşık %55 oranında azaltılmıştır. (Alvarez vd., 2021)

Emülsiyon şablon yöntemiyle üretilen ayçiçeği yağı-HPMC bazlı oleojellerin, çikolatalarda kakao tereyağının %50 oranında ikamesiyle doymuş yağ içeriğinin %39 azaltılabileceği gösterilmiştir. Oleojel ilavesi çikolata dokusunu yumuşatmış, sertlik HPMC konsantrasyonuna bağlı olarak artmıştır. Duyusal açıdan en uygun formülasyon %0,5 HPMC içeren örnek olup, kontrol çikolatasına en yakın özellikleri sergilemiştir. Bu

bulgular, ikolatadaki kakao tereyağının %50'sinin ayçiçeği yağı–HPMC bazlı oleogel ile ikame edilmesiyle, daha düşük toplam yağ ve doymuş yağ içeriğine sahip, aynı zamanda optimal duysal özelliklerini koruyan daha sağlıklı bir çikolatanın üretilebileceğini doğrulamaktadır. (Espert vd., 2021)

1.7.4. Fırın rnleri

Oleojeller, özellikle fırın ürünlerinde kısaltmanın yerini alabilecek potansiyel bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Son alışmalar, oleojellerin veya oleojel–kısaltma karışımlarının kullanımıyla hamur reolojisi ve nihai ürünün fizikokimyasal özelliklerinin geleneksel ürünlere benzer şekilde korunabildiğini, aynı zamanda doymuş yağ içeriğinin azaltılabildiğini göstermektedir. Ayrıca, kısaltmanın oleojellerle kademeli ikamesinin, özellikle glutensiz fırın ürünlerinde fiziksel kaliteyi olumsuz etkilemeden daha sağlıklı ürünlerin geliştirilmesine olanak sağladığı ve lyak hastaları için yeni alternatifler sunduğu bildirilmektedir. (Demirkesen ve Mert, 2020)

ay polifenol ester i ve pektin içeren oleojeller emülsiyon şablon yöntemiyle üretilmiş ve kurabiyelerde tereyağı ikamesi olarak değerlendirilmiştir. %25 ve %50 ikame düzeylerinde, özellikle Tp-palmitat ve Tp-stearat bazlı oleojellerle hazırlanan kurabiyeler, kontrol örneklerine benzer duysal, tekstürel ve depolama özellikleri göstermiştir. Sonuçlar, oleojellerin doymuş yağ içeriği azaltılmış daha sağlıklı kurabiye üretimi için uygun bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır. (Pan vd., 2020)

1.7.5. Margariner

Sağlıklı bir margarin formülasyonu geliştirmek amacıyla 12 farklı bitkisel yağın ayçiçeği mumu kullanılarak oleojel bazlı margarin üretimindeki fizibilitesi değerlendirilmiştir. Yapılandırıcı ajan olarak %3, %5 ve %7 oranlarında ayçiçeği mumu kullanılarak nispeten sert margarinler elde edilmiştir. %3 ayçiçeği mumu içeren oleojellerden hazırlanan yağ emülsiyonlarında su varlığı, referans ürünlere kıyasla daha yüksek sertlik sağlarken; %7 ayçiçeği mumu ile formüle edilen margarinlerin daha düşük sertlik gösterdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, su içeren oleojel emülsiyonlarının erime davranışının ticari yayma ve margarin ürünlerine göre daha belirgin olduğu saptanmıştır. (Hwang vd., 2014)

Mısır yağı ve monogliseric stearat kullanılarak geliştirilen C vitamini yüklü oleogel (VCOG), margarinin lipid fazının tamamen ikamesi amacıyla değerlendirilmiştir. VCOG, hızlandırılmış oksidasyon koşullarında (60 ± 1 C, 18 gün) peroksit ve *p*-anisidin değerleri bakımından, toplu yağ ve C vitamini içermeyen oleojellere kıyasla daha yüksek

oksidatif stabilite göstermiştir ($p < 0,05$). VCOG içeren margarin (%79,70), ticari tereyağlarıyla karşılaştırıldığında daha düşük sertlik, katı yağ ve trans yağ asidi içeriği; daha yüksek doymamış yağ asidi ve yapışkanlık değerleri sergilemiştir. Duyusal analizler, ürünün yayılabilirlik, doku, tat ve genel kabul açısından bazı ticari tereyağlarıyla benzer özellikler gösterdiğini ortaya koymuştur. (Wang vd., 2021)

Son politika düzenlemeleriyle trans yağların yasaklanması, doymuş yağ tüketiminin sınırlandırılması ve palm yağının çevresel etkilerine yönelik artan kaygılar, yağların yeniden formülasyonu alanındaki araştırmaları hızlandırmıştır. Bu kapsamda, oleojeller yağ içeren gıdalarda umut verici bir alternatif olarak öne çıkmakta; uygun besin profili, fonksiyonel özellikleri ve olumlu duyusal sonuçlarına rağmen henüz ticari ürünlerde yaygınlaşmamıştır. Yağlara benzer doku ve tat özellikleri sunmalarına karşın, oleojellerin gıda matrisindeki diğer bileşenlerle etkileşimi ve yağ asidi bileşimi üzerindeki etkilerinin ayrıntılı olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu yönleriyle oleojeller, daha sağlıklı gıda ürünlerinin geliştirilmesi için önemli bir potansiyel sunmaktadır.

1.8. Önceki Çalışmalar

Fındık yağı oleojelleri üzerine son yıllarda yapılan çalışmalar, genel olarak şu ana başlıklarda toplanmaktadır:

- (i) Üretimi, karakterizasyonu, mikroyapısı ve reolojik özellikleri,
- (ii) Özellikleri, avantajları ve stabilitesinin belirlenmesi,
- (iii) Potansiyel kullanım alanları.

Diyet katı yağlarındaki trans ve doymuş yağlar sağlık riskleri taşıdığından, bunların yerine geçebilecek oleojeller geliştirilmiştir. Fındık yağı gövdeli oleojeller (HOB-XG-GEL), ksantan sakızı ve tip B jelatin kullanılarak hazırlanmış ve üç boyutlu, sıkı paketlenmiş bir ağ yapısı oluşturarak yağ sızıntısını önlemiştir. Bu oleojeller mükemmel deformasyon direnci ve tiksotropik geri kazanım göstermiştir. Spektroskopik ve XRD/DSC analizleri, hidrojen bağları ve hidrofobik etkileşimler aracılığıyla stabil ve amorf bir yapı sağladığını doğrulamıştır. Çalışma, katı yağlara alternatif yenilebilir oleojellerin geliştirilmesi için yeni bir yöntem sunmaktadır. (Wang vd., 2025)

Fındık yağı gibi triasilgliseritlerin göçü, çikolata gibi yağlı gıdalarda kalite kaybına yol açabilir. Oleojeller, yağları jel matrisinde immobilize ederek bu göçü önlemeyi hedefler. Bu çalışmada, difüzyon ve NMR-gevşeme yöntemleriyle oleojellerdeki triasilgliseritlerin translasyonel ve molekül-içi hareketliliği incelenmiştir. Ayçiçeği mumu bazlı oleojeller, mono- ve digliserit bazlı oleojellerle karşılaştırılmış; ölçümler

bileşime ve sıcaklığa bağlı olarak oleojellerdeki yağ moleküllerinin hareketliliğinin sınırlı olduğunu göstermiştir. (Trapp vd., 2023)

Fındık yağı kullanılarak ayçiçeği ve karnauba mumlarıyla oleojeller hazırlanmış ve ticari bir kısaltma ile karşılaştırılmıştır.

Yağ bağlama ve jel oluşumu: Ayçiçeği mumu oleojelleri %99'dan fazla yağ bağlarken, karnauba mumu %10 eklemede %97,6 bağlamış, %3 eklemede jel oluşmamıştır.

Kristal ve yapı özellikleri: Ayçiçeği mumu oleojelleri homojen, pürüzsüz ve iğne benzeri kristallerden oluşurken; Karnauba Mumu Oleojelleri agrega benzeri kristaller göstermiştir.

Termal ve mekanik özellikler: Ayçiçeği mumu oleojelleri yüksek stabilite, uygun erime sıcaklığı ve düşük sertlik-yapışkanlık değerleri sergilemiş; depolama sırasında özelliklerinde önemli değişiklik olmamıştır.

Uygulama potansiyeli: Bu oleojeller, yayılabilir veya margarin benzeri ürünler için sağlıklı ve stabil bir alternatif olarak kullanılabilir.

Ayçiçeği ve karnauba mumlarıyla hazırlanan fındık yağı oleojelleri, yüksek yağ bağlama kapasitesi, stabil kristal yapısı ve iyi depolama kararlılığı ile yayılabilir veya margarin benzeri ürünler için sağlıklı bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. (Ahmet Öğütçü ve Yılmaz, 2015)

1.9. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, fındık yağı ve fındık zarı gibi doğal ve biyoaktif bileşenlerin kullanımıyla daha sağlıklı, fonksiyonel ve sürdürülebilir yağ sistemleri geliştirmektir. Özellikle, fındık zarı ve yağının yüksek polifenol ve antioksidan içerikleri nedeniyle, bu yan ürünlerin doğal antioksidan katkı maddesi olarak değerlendirilmesi ve sentetik antioksidanlara alternatif oluşturma potansiyeli araştırılmaktadır. Çalışmada, doymuş ve trans yağ oranı düşük sıvı yağların, gliseril monostearat (GMS) oleojelatörü kullanılarak oleojel formuna dönüştürülmesi hedeflenmektedir. Böylece, sıvı yağların katı yağ benzeri fiziksel özellikler kazanması sağlanarak besinsel profili iyileştirilmiş, oksidatif stabilitesi artırılmış ve biyoaktif bileşikler açısından zengin fonksiyonel yağ sistemleri elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Fındık zarının potansiyel antioksidan kaynağı olarak değerlendirilmesi: Fındık zarı ve zar yağının antioksidan kapasitesi ve doğal katkı maddesi olarak kullanımının araştırılması.

Oleojel teknolojisinin uygulanması: Fındık yağı kullanılarak doymuş ve trans yağ oranı düşük, katı yağ benzeri özelliklere sahip oleojellerin hazırlanması.

Fonksiyonel özelliklerin artırılması: Oleojellere doğal antioksidanlar veya biyoaktif bileşiklerin dahil edilerek oksidatif stabilitenin artırılması ve besinsel değerinin iyileştirilmesi.

Özetle, çalışma, fındık yan ürünlerinin değerlendirilmesi ve oleojelasyon teknolojisinin uygulanması yoluyla, doğal antioksidan katkı ile sağlıklı, stabil ve fonksiyonel yağlı gıda ürünlerinin geliştirilmesini hedeflemektedir.

1.10. Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma, fındık yan ürünlerinin değerlendirilmesi ve oleojelasyon teknolojisi kullanılarak fonksiyonel yağlı gıda ürünlerinin geliştirilmesi sürecini kapsamaktadır. Çalışmada öncelikle;

Fındık yağı kullanılarak gliserin monostearat (GMS) oleojelatörlerle oleojeller hazırlanacaktır.

Fındık zarı ekstraktı hazırlanacaktır ve hazırlanan oleojellere farklı miktarlarda (% 0.20, %0.40, %0.60) fenolik madde içerecek şekilde fındık zarı ekstraktı ve (%0.20) BHA eklenecektir ve doğal antioksidan katkısının etkisi araştırılacaktır.

Bu bağlamda çalışma hem sürdürülebilir yan ürün kullanımını hem de sağlıklı ve stabil yağlı gıda ürünleri geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışma, kapsam itibarıyla aşağıdaki aşamaları içermektedir.

- 1-Oleojel hazırlanması
- 2-Fındık zarının ekstrakte edilmesi
- 3-Oleojel stabilitesinin izlenmesi için analizler

Materyalin temini:

Çalışmada kullanılan fındık ve fındık zarı yerel bir üreticiden temin edilmiştir.

Deneyisel ürün üretimi:

- Temin edilen fındık preslenerek yağ haline getirilmiştir ve temin edilen fındık zarlari ektrakte edilerek toz haline getirilmiştir.
- Üretim koşulları (sıcaklık, süre, ürünün homojenizasyonu gibi) standardize edilmiştir ve gliserin monostearat (GMS) oleojelatörü kullanılarak oleojel numunelerinin hazırlanmıştır.
- Hazırlanan oleojeller 30 gün boyunca 5'er gün ara ile depolanmıştır.

Fizikokimyasal analizler:

- Oksidatif stabilitenin belirlenmesi amacıyla oleik asit cinsinden asit değerleri, peroksit değerleri ve TBA değeri belirlenmiştir. Asit değerinin ölçülmesinde, peroksit değerlerin ölçülmesinde ve TBA değerlerinin ölçülmesinde standart titrimetrik ve spektrofotometrik analizler kullanılmıştır.
 - Oksidatif stabilitedeki değişikliklerin incelenmesi amacıyla ransimat analizlerinin yapılmıştır. Bu test, 110°C'de ve 20 L/h hava akış hızıyla Rancimat cihazı (Metrohm, model 743, Herisau, İsviçre) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Oleojellerin oksidatif stabilitesi, indüksiyon periyoduna (IP) karşılık gelen zaman (saat) ile ifade edilmiştir.
 - Yağ tutma kapasitesi, Reolojik özellikleri ve renk değerleri belirlenmiştir. Reolojik özelliklerinin belirlenmesi için 35 mm çapında paralel plakalı bir reometre (Anton Paar, MCR 102, Avusturya) kullanılmıştır.
 - FTIR analizi
 - Elde edilen verilerin istatistiksel analizi yapılmıştır.
- Sonuçların yorumlanması ve öneriler:

- Fındık zarı ekstraktı eklenerek elde edilen oleojellerin fonksiyonel gıda potansiyelinin ortaya konulmuştur.
- Fındık zarı ekstraktı yerine yapay antioksidan BHA kullanılarak her iki durumdaki stabilite etkilerini kıyaslayarak değerlendirilmiştir.

Bu kapsam dâhilinde elde edilecek bulgular hem akademik literatüre katkı sağlaması hem de doğal, stabil yağ bazlı ürünler arayan hem üreticilere hem de tüketicilere fayda sağlayabilir.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada hazırlanan fındık yağı oleojellerinden fındık zarı ekstraktı ve BHA katılmayan örnekler kontrol örneği olarak kullanıldı. Kontrol numuneleri de diğer numuneler gibi 30 gün boyunca 5'er gün ara ile depolanmıştır.

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılacak fındık ve fındık zarı Trabzon ilinde yerleşik yerel bir üreticiden temin edilmiş olup fındıklar preslenerek yağ haline getirilmiştir.

2.2 Fındık Zarı Ekstraktının Hazırlanması

Fındık zarları, yerel bir üreticiden (Trabzon, Türkiye) temin edilmiştir. Numuneler polietilen torbalara doldurularak soğutucu içerisinde laboratuvara ulaştırılmıştır. Fındık zarları bir blender (Waring Laboratory, Torrington, ABD) kullanılarak öğütülmüş ve 1 mm'lik elekten geçirilmiştir. Öğütülen örnekler, Soxhlet düzeneğinde dietil eter kullanılarak 6 saat süreyle yağdan arındırılmıştır. Yağı çıkarılan örnekler, kalıntı dietil eterin uzaklaştırılması amacıyla 40 °C'de 1 saat boyunca vakum etüvünde (Nüve, Ankara, Türkiye) kurutulmuş ve deneyler süresince -18 °C'de polietilen torbalar içerisinde muhafaza edilmiştir. Kurutulan fındık zarlarından fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu %70 (v/v) etanol kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon sonrası çözücü, döner buharlaştırıcı yardımıyla uzaklaştırılmış; elde edilen ekstrakt liyofilizatör (Scientz-12N laboratory lyophilizer, Ningbo Scientz Biotechnology Co., Ltd., Ningbo, China) ile kurutulmuş, öğütülerek toz hale getirilmiş ve analizlere kadar uygun koşullarda muhafaza edilmiştir (Odabaş ve Koca, 2016).

2.3. Fındık Yağı Oleojellerinin Üretim Süreci

GMS 80 °C'de eritildi içerisine oleojelde son konsantrasyonu %0.20, 0.40 ve 0.60 olacak şekilde liyofilize edilmiş fındık zarı ekstraktı ilave edildi. Karışım 10.000 rpm'de bir ultraturrax kullanılarak homojenize edildi ve liyofilize edilerek kurutuldu. Jel üretimi için fındık yağı 80 °C'ye getirildi %15 oranında oleojelatör (GMS, GMS % 0.20, GMS % 0.40, GMS % 0.60) ilave edildi (Tablo 1). Fındık zarı içermeyen GMS kontrol grubu olarak değerlendirildi. Ayrıca % 0.20 BHA içeren oleojel örneği de yapay antioksidanlarla kıyaslama yapılabilmesi amacıyla üretildi. 30 gün boyunca 5'er gün ara ile depolandıktan sonra analizler gerçekleştirildi (Chen vd., 2023)

Tablo 1. Hazırlanan örneklerin kodları

Numune No	Numune Kodu	Açıklama
1	B	GMS ve % 0.20 konsantrasyonda (BHA) yapay antioksidan ile hazırlanan oleojel
2	C	GMS ile hazırlanan oleojel- Kontrol Grubu
3	H2	GMS ve % 0.20 konsantrasyonda fındık zarı ekstraktı ile hazırlanan oleojel
4	H4	GMS ve % 0.40 konsantrasyonda fındık zarı ekstraktı ile hazırlanan oleojel
5	H6	GMS ve % 0.60 konsantrasyonda fındık zarı ekstraktı ile hazırlanan oleojel

2.4. Cihazlar

Analiz yöntemlerinde kullanılan cihazlar aşağıda belirtilmiştir. Ransimat analizinde analizleri için Rancimat model 743 (743 Professional Rancimat, Herisau, Switzerland) sistemi kullanılmıştır. TBA analizlerinde Shimadzu UV-1800 spektrofotometre (UV-1800, Shimadzu, Kyoto, Japan) tercih edilmiştir. pH ölçümleri Hanna marka pH metre (Hanna instruments, Cluj-Napoca, Romania) ile gerçekleştirilmiştir. Renk analizleri ise Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta, Japan), marka renk ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Santrifüj işlemleri santrifüj cihazında (NF1200 Santrifüj, Nüve, Türkiye) yapılmıştır. Ayrıca tüm analizlerde, A sınıfı hacimli cam malzemeler ile kalibrasyonu yapılmış otomatik pipetler kullanılmıştır.

2.5. Deneyisel Çalışmada Kullanılmış Olan Kimyasallar

Bu çalışmada kullanılan tüm çözücüler ve kimyasallar, aksi belirtilmedikçe analitik saflıkta temin edilmiştir. Kloroform (reagent grade) Isolab (Türkiye) firmasından; asetik asit (reagent grade), potasyum iyodür (KI analitik saflıkta) ve asetonitril (HPLC gradient grade) Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından satın alınmıştır. TBA miktar tayini ve yöntem doğrulama çalışmalarında, TBA ($\geq 98\%$ saflıkta) Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilmiştir. Kullanılan etil alkol gıda saflıktadır.

2.6. Çözeltilerin Hazırlanması

Deneyisel çalışmalarda TS ISO 3696 (1997) standardına uygun damıtık su veya bu standarda eşdeğer saflıkta su kullanılmıştır. Kullanılan tüm kimyasal reaktiflerin analitik saflıkta olmasına özen gösterilmiştir. Ayarlı çözeltiler, TS 545 standardına; belirteç (indikatör) çözeltileri ise TS 2104 (1975) standardına uygun olarak hazırlanmıştır (TS 545, 1967).

2.7. Serbest Yağ Asitliği (%) Değerinin Belirlenmesi

Serbest yağ asitliği analizi, TS EN ISO 660 Hayvansal ve Bitkisel Katı ve Sıvı Yağlar Asit Sayısı ve Asit Tayini standardı esas alınarak gerçekleştirilmiştir (TSE, 2009). Serbest yağ asitliği, yağlarda bağlı olmayan yağ asitlerinin toplamı olup sonuçlar oleik asit yüzdesi (%) olarak ifade edilmiştir.

Analiz için öncelikle 250 mL'lik temiz bir erlenmayer boş olarak tartılmış, ardından içerisine yaklaşık 2–3 g numune eklenerek yeniden tartım yapılmıştır. Tartım farkından alınan numune miktarı hesaplanarak kaydedilmiştir. Ayrı bir kapta, %50 (v/v) oranında hazırlanmış eter–alkol çözeltisinden 60–80 mL alınmış ve üzerine 2–3 damla fenolftalein indikatörü ilave edilmiştir. Çözelti, hafif pembe renk oluşuncaya kadar 0.1 N etanollü NaOH çözeltisi ile nötrleştirilmiş ve kullanılan NaOH hacmi kaydedilmiştir.

Nötrleştirilen bu çözelti numune içeren erlenmayer üzerine eklenmiş ve çalkalanarak yağın tamamen çözünmesi sağlanmıştır. Ardından erlenmayer içerisine 1–2 damla fenolftalein indikatörü ilave edilmiş ve kalıcı pembe renk oluşuncaya kadar 0.1 N etanollü NaOH çözeltisi ile titrasyon gerçekleştirilmiştir. Titrasyonda harcanan NaOH miktarı kaydedilmiştir.

Serbest yağ asitliği değerleri aşağıda verilen formül kullanılarak hesaplandı.

$$\text{Serbest yağ asitliği (\%)} = \frac{S \times N \times F \times 282}{T \times 10} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Burada;

S: Titrasyonda harcanan NaOH hacmi (mL),

N: NaOH çözeltisinin normalitesi (0,1 N),

F: NaOH çözeltisinin faktörü,

T: Alınan numune miktarı (g),

282: Oleik asidin molekül ağırlığıdır.

2.8. Peroksit Sayısının Belirlenmesi

Peroksit sayısı analizi, TS EN ISO 3960 Hayvansal ve Bitkisel Katı ve Sıvı Yağlar – Peroksit Değeri Tayini (İyodometrik Görsel Son Nokta Tayini) standardı esas alınarak gerçekleştirilmiştir (TSE, 2017). Hidroperoksitler, lipid oksidasyonu sürecinde oluşan ve genellikle peroksitler olarak adlandırılan birincil oksidasyon ürünleridir. Bu bileşikler, triasilgliserol yapısındaki yağ asitlerinin oksijenle reaksiyona girmesi sonucu meydana gelmekte olup, yağ içerisindeki miktarları peroksit sayısı tayini ile belirlenmektedir.

Peroksit sayısı, yağlarda gerçekleşen oksidatif reaksiyonların değerlendirilmesinde kullanılan temel kalite parametrelerinden biri olup, yağın oksidasyon derecesi hakkında bilgi vermektedir. Oksidasyonun başlangıç evrelerinde hidroperoksit oluşumuna bağlı olarak peroksit sayısı artış göstermekte; ancak oksidasyon ilerledikçe birincil oksidasyon ürünlerinin aldehit ve keton gibi ikincil oksidasyon ürünlerine dönüşmesi nedeniyle peroksit sayısında azalma gözlenebilmektedir.

Lipid oksidasyonu sırasında oluşan bu bileşikler, yağın fiziksel ve duyuşal özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Oksidasyonun erken aşamalarında oluşan bileşikler genellikle belirgin bir kokuya neden olmazken, ileri oksidasyon evrelerinde meydana gelen aldehit ve ketonlar yağın tat, koku ve aroma özelliklerinde belirgin bozulmalara yol açmaktadır. Peroksit sayısı, 1 kg yağda bulunan aktif oksijen miktarının miliekivalant cinsinden ifadesi olup (meq O₂/kg yağ), yağların oksidatif stabilitesinin ve kalite durumunun değerlendirilmesinde kritik öneme sahiptir (Çelebi, 2019).

Analizde kullanılan %1'lik nişasta çözeltisi, 1 g nişastanın bir miktar soğuk saf suda çözülmesinin ardından 100 mL kaynayan saf suya ilave edilmesiyle hazırlanmış, çözelti berraklaşınca kadar birkaç saniye kaynatılmış ve hemen ateşten alınmıştır. Çözelti soğuduktan sonra 250 mg (0.25 g) salisilik asit eklenmiştir. Doymuş potasyum iyodür (KI) çözeltisi ise, yaklaşık 6 mL saf suya 10 g KI ilave edilerek, çözeltide çözünmeyen kristaller gözleninceye kadar hazırlanmış ve koyu renkli şişede muhafaza edilmiştir.

Analiz için 250 mL'lik kapaklı bir erlenmayer boş olarak tartılmış, içerisine yaklaşık 5 g numune eklenerek tekrar tartım yapılmıştır. Tartım farkından alınan numune miktarı hesaplanarak kaydedilmiştir. Erlenmayer içerisine sırasıyla 10 mL kloroform ve 15 mL asetik asit ilave edilmiş, çalkalanarak yağın tamamen çözünmesi sağlanmıştır. Ardından 1 mL taze hazırlanmış doymuş KI çözeltisi eklenmiş, erlenmayer kapatılarak kuvvetlice çalkalanmış ve karanlık ortamda 5 dakika bekletilmiştir. Süre sonunda karışıma 75 mL saf su ve 1 mL %1'lik nişasta çözeltisi ilave edilerek çalkalanmış, mavi renk oluşumu gözlenmiştir.

Oluşan renk, sodyum tiyosülfat (Na₂S₂O₃) çözeltisi ile beyazlaşınca kadar titre edilmiş ve bu noktada harcanan tiyosülfat hacmi kaydedilmiştir. Aynı işlemler numune eklenmeden tekrarlanarak şahit deneme gerçekleştirilmiş ve sarfiyat miktarı belirlenmiştir. Peroksit sayısı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Peroksit sayısı (meq O}_2\text{/kg)} = \frac{10 \times (b - c) \times F}{a} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Burada;

b: Numune için harcanan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ hacmi (mL),

c: Şahit için harcanan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ hacmi (mL),

a: Alınan numune miktarı (g),

F: 0,01 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ çözeltisinin faktörüdür.

2.9. Ransimat Değerinin Belirlenmesi

Ransimat analizleri, yağ örneklerinin oksidatif stabilitesinin belirlenmesi amacıyla standart Ransimat metoduna uygun olarak gerçekleştirildi. Analizler sırasında cihaz parametreleri; sıcaklık 110 °C, örnek miktarı 3 g, hava akış hızı 20 L/saat ve absorbsiyon kabındaki su hacmi 60 mL olacak şekilde ayarlandı. Absorbsiyon ortamı olarak, elektriksel iletkenliği 18.2 MΩ·cm olan ultra saf su kullanıldı.

Ransimat testi (indüksiyon zamanı), katı ve sıvı yağların hızlandırılmış oksidasyon koşulları altında oksidatif stabilitelerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Test prensibi, yağ örneğinin belirlenen yüksek sıcaklıkta ısıtılarak oksidasyona maruz bırakılması ve örnek içerisinden sürekli olarak kuru hava geçirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu işlem sırasında yağın oksidatif bozunması sonucu oluşan düşük molekül ağırlıklı uçucu oksidasyon ürünleri (özellikle formik asit, asetik asit ve diğer organik asitler), hava akımıyla taşınarak saf su içeren absorbsiyon kabına aktarılmaktadır.

Absorbsiyon kabındaki saf suya geçen bu uçucu bileşikler, suyun elektriksel iletkenliğinde zamana bağlı bir artışa neden olmaktadır. Oksidasyonun başlangıç evresinde iletkenlikte yavaş ve sınırlı bir değişim gözlenirken, oksidatif reaksiyonların hızlandığı noktada iletkenlikte ani ve keskin bir artış meydana gelmektedir. Bu ani artışın gözlemlendiği süre, saat cinsinden indüksiyon zamanı (induction period, IP) olarak tanımlanmaktadır.

Elde edilen indüksiyon zamanı değeri, yağ örneğinin oksidasyona karşı gösterdiği direnç ve stabilite düzeyinin nicel bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. İndüksiyon süresinin uzun olması, yağın oksidatif bozunmaya karşı daha dayanıklı olduğunu ve oksidasyon hızının daha düşük gerçekleştiğini göstermektedir. Buna karşılık, kısa indüksiyon süreleri yağın oksidasyona karşı daha duyarlı olduğunu ve daha hızlı oksidatif bozulmaya uğradığını ifade etmektedir. Bu nedenle Ransimat testi sonuçları, yağların raf ömrü tahmini, formülasyon karşılaştırmaları ve antioksidan etkinliğinin değerlendirilmesinde önemli bir kriter olarak kullanılmaktadır (Çelebi, 2019).

2.10. Renk Tayini

Numunelerin renk değerleri, Konica Minolta CR-400 kolorimetre (Konica Minolta Sensing, Osaka, Japonya) ile Hunter renk sistemine göre çalışan bir kolorimetre kullanılarak tespit edildi. Renk analizi öncesinde her bir numune, hava kabarcığı oluşumunu önleyecek şekilde cihazın örnek kabına yerleştirildi. Ölçümler, CR-400 kolorimetre kullanılarak CIE L*, a* ve b* renk parametreleri üzerinden yapıldı.

 l  m öncesinde cihaz, üretici firma tarafından önerilen prosedürler doğrultusunda beyaz ve siyah standart plakalar kullanılarak kalibre edildi. Kalibrasyonun ardından numuneler ayrı kaplara alındı, cihazın ölçüm penceresi numuneye tam temas edecek biçimde yerleştirildi ve renk ölçümleri yapıldı.

Renk değerlendirmesi, Hunter renk sisteminde tanımlanan üç temel parametreye göre gerçekleştirildi. L* değeri numunenin aydınlık düzeyini ifade etmekte olup 0 (siyah) ile 100 (beyaz) arasında değişmektedir. a* değeri kırmızı–yeşil eksenini temsil etmekte; pozitif değerler kırmızılığı, negatif değerler ise yeşilliği göstermektedir. b* değeri ise sarı–mavi eksenini yansıtmakta; pozitif değerler sarılığı, negatif değerler maviliği ifade etmektedir (Oğuz vd., 2023)

2.11. Yağ Tutma Kapasitesi

Yağ tutma kapasitesi (Oil Binding Capacity, OBC), oleojellerde oleojelat r n bitkisel yağı bağlama ve jel matrisi içerisinde tutma yeteneğini değerlendirmek amacıyla belirlenmiştir. Bu parametre, oleojel yapısının mekanik stabilitesi ve yağ salımına karşı direncinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır.

Oleojel  rnekleri, homojen bir erime sağlamak amacıyla 70  C sıcaklıktaki su banyosunda tamamen sıvı hâle getirilmiştir. Eritilen oleojelden 1.0 mL alınarak, ağırlıkları önceden hassas terazi ile belirlenmiş Eppendorf tüplerine aktarılmıştır. Numunelerin yeniden jel yapısına geçmesini sağlamak amacıyla tüpler 4  C’de buzdolabında 24 saat süreyle bekletilmiştir.

Soğutma süresi sonunda oleojel içeren tüpler buzdolabından çıkarılmış, oda sıcaklığında dengeye gelmeleri sağlandıktan sonra tekrar tartılmıştır. Ardından oleojel matrisinden serbest kalan sıvı yağın ayrılmasını sağlamak amacıyla tüpler 6000 rpm hızda 15 dakika süreyle santrifüj edilmiştir.

Santrifüj işlemi sonrasında oleojel matrisinden ayrılan sıvı yağ fazı dikkatlice uzaklaştırılmış ve tüpler yeniden tartılmıştır. Santrifüj  ncesi ve sonrası ağırlık farkları kullanılarak oleojelden salınan yağ miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda, oleojelin yağ tutma kapasitesi aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla

belirlenmiştir. Uygulanan yöntem, oleojeller için önerilen literatür prosedürü esas alınarak gerçekleştirilmiştir (Choi vd., 2020).

$$\text{Salınan yağ (\%)} = \frac{\text{Salınan yağ kütlesi (g)}}{\text{Başlangıç numune kütlesi (g)}} \times 100 \quad (\text{Eşitlik 3})$$

$$\text{Yağ tutma kapasitesi (OBC, \%)} = 100 - \text{Salınan yağ (\%)} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

2.12. TBA Analizi

Oleojel örneklerinde lipid oksidasyonunun değerlendirilmesi amacıyla tiyobarbitürik asit reaktif maddeleri (TBARS) yöntemi kullanılmıştır. Analiz, malondialdehit (MDA)–TBA kompleksinin oluşumuna dayalı olarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar mg MDA eşdeğeri/kg oleojel cinsinden ifade edilmiştir (Schmedes ve Holmer, 1989).

Analizde kullanılan TCA–TBA–HCl stok reaktifi, nihai bileşimde %15 (w/v) trikloroasetik asit (TCA), %0.375 (w/v) tiyobarbitürik asit (TBA) ve 0.25 N hidroklorik asit (HCl) içerecek şekilde hazırlanmıştır. Reaktif hazırlanırken 15.0 g TCA saf suda çözülmüş, ardından 0.375 g TBA ilave edilmiş ve gerekmesi hâlinde hafif ısı uygulanarak çözünmesi sağlanmıştır. Daha sonra 2.1 mL derişik HCl (~12 N) eklenmiş ve çözelti saf su ile 100 mL'ye tamamlanmıştır. Hazırlanan stok reaktif amber renkli şişelerde, 4 °C'de muhafaza edilmiştir. Numune hazırlama aşamasında oksidasyonu önlemek amacıyla isteğe bağlı olarak %0.01 (w/v) bütillenmiş hidroksitoluen (BHT) kullanılabilir.

Analiz öncesinde oleojel örnekleri homojen hâle getirilmiş, çok sert yapı gösteren örnekler kısa süreli olarak 35–45 °C'de yumuşatılmıştır. Her bir analiz için yaklaşık 0.50 g oleojel numunesi tartılarak kapaklı cam tüplere aktarılmıştır. Üzerine 5.0 mL TCA–TBA–HCl stok reaktifi eklenmiş ve karışım vortex ile 1 dakika homojenize edilmiştir. Yağ matriksi ile reaktif temasını artırmak amacıyla tüpler, mümkün olması hâlinde 3–5 dakika ultrasonik banyoda tutulmuştur. Ardından tüpler kapakları kapalı şekilde 95–100 °C'deki su banyosunda 30 dakika süreyle inkübe edilmiştir. Isıtma işlemi sonrasında tüpler oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur.

Soğutulan reaksiyon karışımına 5.0 mL n-bütanol eklenmiş, kuvvetli vortex işlemi (1 dakika) uygulanmış ve ardından 3000–5000 g'de 5–10 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası üstte oluşan bütanol fazı dikkatlice ayrılarak spektrofotometrik ölçüm için kullanılmıştır. Ölçümler, bütanol blank'ına karşı 535 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Blank olarak, stok reaktif ve bütanol içeren ve aynı ısıtma

adımlarından geçirilen reaktif körü kullanılmıştır. Oleojelin kendine özgü rengi belirgin olan örneklerde, gerek duyulması hâlinde ısıtmasız matris blankı da hazırlanmıştır.

Elde edilen absorbans değerleri (A_{535}), MDA–TBA kompleksinin molar absorptivite katsayısı ($\epsilon = 1,56 \times 10^5 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) ve 1 cm optik yol uzunluğu esas alınarak hesaplanmıştır. Buna göre bütanol fazındaki MDA konsantrasyonu hesaplanmış ve sonuçlar aşağıdaki eşitlik kullanılarak oleojel bazında mg MDA/kg olarak ifade edilmiştir:

$$\text{TBARS (mg MDA/kg)} = \frac{A_{535}}{1,56 \times 10^5} \times 72,06 \times \frac{V_{\text{bütanol}}}{m_{\text{örnek}}} \times 10^3 \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Burada;

A_{535} : 535 nm’de ölçülen absorbans değeri,

$V_{\text{bütanol}}$: Kullanılan bütanol hacmi (L),

$m_{\text{örnek}}$: Oleojel numunesinin kütlesi (kg),

72,06: Malondialdehitin molar kütlesi (g/mol),

10^3 : g $\rightarrow$ mg dönüşüm katsayısıdır.

Bu yöntemle elde edilen TBARS değerleri, oleojel örneklerinin lipid oksidasyon düzeyinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

2.13. Reolojik Analizler

Oleojellerin reolojik özellikleri, stres kontrollü bir reometre kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler, 35 mm çapında paralel plakalı bir reometre (Anton Paar MCR 102) ile gerçekleştirilmiş; plaka aralığı 1.000 mm olarak ayarlanmıştır. Reolojik analizler sabit sıcaklık koşullarında yürütülmüş olup, dinamik testler 25 °C’de, akış davranışı analizleri ise 20 °C’de yapılmıştır.

Doğrusal viskoelastik bölgenin (LVR) belirlenmesi amacıyla, oleojel örneklerine 1 Hz sabit frekansta %0.01–%10 aralığında gerinim (genlik) süpürmesi uygulanmıştır. LVR’nin belirlenmesinin ardından, yapıya zarar vermeyen ve LVR içerisinde yer alan %0.1 gerinim değeri seçilerek dinamik frekans tarama analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu koşullar altında, 0.1–100 Hz frekans aralığında elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') değerleri belirlenerek oleojellerin viskoelastik davranışları değerlendirilmiştir (Mosquera vd., 2025; Tunç ve Odabaş, 2021).

Akış davranışının incelenmesi amacıyla, örnekler reometre plakasına yerleştirilmiş ve 0–100 s⁻¹ kayma hızı aralığında kayma gerilimi ölçülerek viskozite–kayma hızı eğrileri elde edilmiştir. Bu analizler, oleojellerin yapısal bütünlüğü ve akış karakteristiklerinin kapsamlı biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamıştır (Tunç ve Odabaş, 2021).

2.14 FTIR Analizi

Örneklerin kızılötesi spektral analizleri, orta kızılötesi bölgede 4000–650 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektrometre (FT-IR) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler FTIR spektrofotometre (Spectrum Two, Perkin-Elmer Inc., Waltham, MA, USA) ile yapılmıştır.

Tüm FT-IR spektrumları, tek yansımali Attenuated Total Reflectance (ATR) hücresi kullanıldı. Analiz öncesinde yağ örnekleri yaklaşık 40 °C’de eritilmiş ve eriyik haldeki örnek ATR kristali üzerine damlatılarak ölçümler gerçekleştirildi. 4 cm⁻¹ çözünürlükte ve her bir örnek için 32 taramanın ortalaması alınarak kaydedildi. (Uncu ve Özen, 2019; Aktaş vd., 2019). FT-IR spektrumları iki tekrarlı olarak toplanmıştır. Elde edilen spektral veriler, yağların yapısal özelliklerinin ve oksidatif değişimlerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Literatürde bildirilen bazı çalışmalarda FT-IR analizleri Perkin Elmer Spectrum One ve Spectrum 100 spektrometreleri kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, her bir yağ örneği için sırasıyla 10 ve 30 farklı ölçüm alınmıştır. (Aktaş vd., 2021)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Oleojel Örneklerinin % Asitlik Değerleri

Yapay antioksidan içeren B örneğinde (GMS + % 0.20 BHA), zaman düzeyinin artmasıyla birlikte asitlik değerlerinde genel bir artış eğilimi gözlenmiştir. Bununla birlikte, özellikle orta ve yüksek zaman seviyelerinde bu artışın kontrol grubuna kıyasla daha sınırlı olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, BHA'nın yağ sistemlerinde oksidatif zincir reaksiyonlarını baskılayarak serbest yağ asidi oluşumunu kısmen sınırlandırdığına ilişkin literatür verileriyle uyumludur (Frankel, 2014).

Fındık zarı ekstraktı içeren oleojel örneklerinde (H2, H4 ve H6), asitlik değerlerinin kontrol grubuna kıyasla daha yüksek olduğu; ancak örnekler arasında benzer eğilimler sergilediği görülmüştür. En yüksek ekstrakt konsantrasyonuna sahip H6 örneğinde, 30. gün seviyesinde %4.67 oleik asit değeri elde edilmiş olup, bu değer BHA içeren B örneği ile aynı istatistiksel grupta yer almıştır. Bu sonuç, fındık zarı ekstraktının yüksek konsantrasyonlarda dahi oleojel sisteminde serbest yağ asidi oluşumunu etkin bir şekilde kontrol edebildiğini göstermektedir.

Tablo 2. Oleojel örneklerine ait % asitlik değerleri (oleik asit cinsinden)

Örnek	%Asitlik 0. Gün	%Asitlik 5. Gün	%Asitlik 10. Gün	%Asitlik 15. Gün	%Asitlik 20. Gün	%Asitlik 25. Gün	%Asitlik 30. Gün
B	3.03 ± 0.35 ^{c(B)}	3.10 ± 0.20 ^{c(C)}	3.63 ± 0.06 ^{b(A)}	3.77 ± 0.06 ^{b(AB)}	4.10 ± 0.26 ^{ab(A)}	3.70 ± 0.25 ^{b(B)}	4.73 ± 0.06 ^{a(B)}
C	3.00 ± 0.01 ^{d(B)}	3.50 ± 0.12 ^{c(A)}	3.20 ± 0.21 ^{cd(B)}	4.03 ± 0.21 ^{b(A)}	4.03 ± 0.10 ^{b(A)}	3.87 ± 0.35 ^{b(AB)}	5.03 ± 0.15 ^{a(A)}
H2	3.40 ± 0.32 ^{c(A)}	3.30 ± 0.10 ^{c(B)}	3.53 ± 0.23 ^{bc(A)}	3.60 ± 0.20 ^{bc(B)}	3.83 ± 0.02 ^{b(B)}	4.00 ± 0.12 ^{b(A)}	4.30 ± 0.20 ^{a(C)}
H4	3.40 ± 0.36 ^{c(A)}	3.30 ± 0.35 ^{c(B)}	3.53 ± 0.31 ^{bc(A)}	3.60 ± 0.21 ^{bc(B)}	3.83 ± 0.23 ^{b(B)}	4.00 ± 0.17 ^{b(A)}	4.30 ± 0.17 ^{a(C)}
H6	3.43 ± 0.15 ^{c(A)}	3.53 ± 0.06 ^{bc(A)}	3.57 ± 0.12 ^{bc(A)}	3.63 ± 0.15 ^{b(B)}	3.60 ± 0.15 ^{b(C)}	3.93 ± 0.17 ^{ab(A)}	4.67 ± 0.15 ^{a(B)}

Veriler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3). Aynı satırda farklı küçük harfler, aynı sütunda farklı büyük harfler, Duncan çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı farklılığı göstermektedir (p <0.05).

Yağlarda asitlik değeri, trigliserit yapısına bağlı olmayan serbest yağ asitlerinin miktarını ifade etmekte olup genellikle oleik asit yüzdesi (% oleik asit) cinsinden raporlanmaktadır (TSE, 2009; Gunstone vd., 2007). Serbest yağ asidi oluşumu başlıca hidrolitik bozulma, enzimatik reaksiyonlar ve oksidatif süreçlerle ilişkilidir. Bu nedenle asitlik değeri, yağ ve yağ bazlı sistemlerin kalite durumunu ve stabilitesini değerlendirmede temel kalite parametrelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Choe ve Min, 2006; Gu vd., 2024).

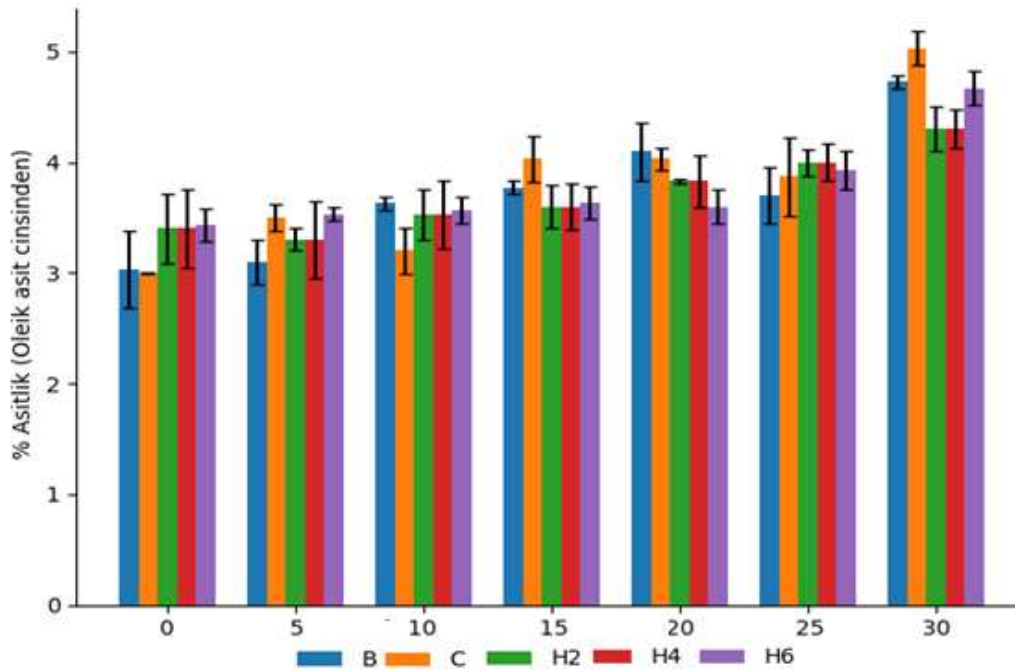
Bu çalışmada oleojel örneklerinin % oleik asit cinsinden asitlik değerleri incelendiğinde, değerlerin %3.00–5.03 aralığında değiştiği görülmektedir (Tablo 2). Kontrol grubu olarak yalnızca GMS içeren oleojel (C), 0. gün koşulunda en düşük asitlik değerini (%3.00 oleik asit) göstermiştir. Bu durum, oleojel matrisinin başlangıçta yağ fazını hidrolitik bozulmaya karşı belirli ölçüde koruduğunu ve sistemde serbest yağ asidi oluşumunun sınırlı olduğunu düşündürmektedir (Patel, 2017).

Şekil 1’te oleojel örneklerine ait % asitlik değerlerinin (% oleik asit cinsinden) farklı depolama zamanına göre (0- 30 gün) değişimi gösterilmektedir. Grafik genel olarak incelendiğinde, tüm oleojel örneklerinde sürenin artmasıyla birlikte asitlik değerlerinde belirgin bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. Bu durum, sistemde serbest yağ asidi oluşumunun zamana bağlı olarak kademeli biçimde arttığını göstermektedir.

Kontrol grubu olan yalnızca GMS içeren oleojel (C), düşük 0. gün seviyelerinde görece düşük asitlik değerleri sergilerken, özellikle 15. gün ve üzerindeki düzeylerde asitlik artışı daha belirgin hâle gelmiştir. 30. gün seviyesinde kontrol grubunun en yüksek asitlik değerine (~%5.0 oleik asit) ulaşması, antioksidan içermeyen oleojel yapısının artan koşullar altında serbest yağ asidi oluşumuna daha açık olduğunu ortaya koymaktadır.

BHA içeren B örneğinde depolama boyunca asitlik artışı gözlenmekle birlikte, bu artışın kontrol grubuna kıyasla daha sınırlı kalması ve özellikle 30. gün düzeyinde kontrol grubundan daha düşük asitlik değeri göstermesi, BHA’nın yağ sistemlerinde bozulma süreçlerini yavaşlatıcı etkisini desteklemektedir. Serbest yağ asitliği/acid value, trigliseritlerin hidroliziyle serbest yağ asitlerinin artmasına bağlı gelişen hidrolitik bozulmanın bir göstergesi olmakla birlikte, oksidasyonla birlikte ilerleyen kalite kaybı ile de ilişkilidir (Choe ve Min, 2006., 2024). BHA gibi lipofilik, fenolik ve “chain-breaking” antioksidanlar; serbest radikal zincir reaksiyonlarını kırarak lipid oksidasyonunu geciktirir ve böylece peroksitler ile ikincil oksidasyon ürünlerinin (ör. TBARS) oluşumunu sınırlandırır (Liu vd., 2025). Nitekim BHA ilavesinin farklı yağ sistemlerinde oksidatif stabiliteyi artırdığı ve oksidasyona bağlı kalite göstergelerinin yükselişini yavaşlattığı raporlanmıştır (Murari vd., 2016). Et ürünleri gibi kompleks matrikslerde de

BHA uygulamalarının depolama sırasında oksidasyon ve kalite parametrelerini iyileştirebildiği bildirilmektedir (Wali vd., 2025). Bununla birlikte, BHA'nın doğrudan "hidrolitik enzim (lipaz) aktivitesini engellediğinin" yağ sistemleri için genel-geçer biçimde kanıtlandığını söylemek zordur; literatürde BHA'nın temel etkisi çoğunlukla oksidatif zincirin kırılması üzerinden açıklanır. Dolayısıyla B örneğinde asitlik artışının daha sınırlı seyretmesi, BHA'nın lipazı doğrudan inhibe etmesinden ziyade, oksidasyon/hidrolizle birlikte ilerleyen bozulma süreçlerini dolaylı olarak yavaşlatması ve sistemin genel stabilitesini artırmasıyla daha tutarlı biçimde yorumlanmalıdır (Choe ve Min, 2006; Liu vd., 2025; Wali vd., 2025).



Şekil 1. Örneklere ait %asitlik analiz sonuçlarının sütun grafiği

Fındık zarı ekstraktı içeren oleojel örnekleri (H2, H4 ve H6), grafik boyunca birbirine yakın değerler sergilemiş ve genel olarak orta düzeyde asitlik değerleri ile karakterize edilmiştir. Düşük zaman seviyelerinde bu örneklerin asitlik değerlerinin kontrol grubuna kıyasla benzer veya hafif yüksek olduğu; ancak 30. seviyelerinde artışın kontrol grubuna göre daha kontrollü gerçekleştiği görülmektedir. Özellikle H6 örneğinde, 30. gün düzeyinde elde edilen asitlik değerinin B örneği ile benzer aralıkta olması, fındık zarı ekstraktının yüksek konsantrasyonlarda dahi oleojel sisteminde serbest yağ asidi oluşumunu sınırlayabildiğini göstermektedir.

Literatürde bitkisel ekstraktların yağ sistemlerindeki etkisinin; ekstraktın fenolik bileşik içeriği, matriksle etkileşimi ve uygulanan konsantrasyon ile yakından ilişkili olduğu bildirilmektedir (Shahidi ve Ambigaipalan, 2015). Fenolik bileşikler oksidatif reaksiyonları baskılayarak lipid bozulmasını sınırlandırabilmekte; ancak bazı durumlarda polar bileşenler yoluyla hidrolitik süreçleri kısmen artırabilmektedir (Choe ve Min, 2006). Bu çalışmada elde edilen bulgular, fındık zarı ekstraktının oleojel yapısında bu iki etki arasında dengeli bir davranış sergilediğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, tüm oleojel örneklerinin asitlik değerlerinin, oleojel ve rafine bitkisel yağ sistemleri için literatürde bildirilen kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı görülmektedir (Gunstone vd., 2007). Zaman düzeyinin artmasıyla birlikte gözlenen asitlik artışı, sistemde sınırlı düzeyde serbest yağ asidi oluştuğunu; ancak gerek yapay antioksidan (BHA) gerekse fındık zarı ekstraktı ilavesinin bu artışı kontrol altında tuttuğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, fındık zarı ekstraktının oleojel sistemlerinde doğal antioksidan ve kalite koruyucu ajan olarak kullanılabileceğini desteklemektedir.

3.2 Oleojel Örneklerinin Peroksit Değerleri (meq/kg)

Oleojel örneklerine ait peroksit değerleri (meq O₂/kg) Tablo 3'te verilmiştir. Peroksit değeri, yağlarda birincil oksidasyon ürünleri olan hidroperoksitlerin miktarını ifade etmekte olup, lipid oksidasyonunun erken aşamalarının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan temel bir kalite parametresidir (Choe ve Min, 2006; Frankel, 2014). Hidroperoksitler, doymamış yağ asitlerinin oksijenle reaksiyona girmesi sonucu oluşmakta ve ilerleyen oksidasyon aşamalarında aldehit ve keton gibi ikincil oksidasyon ürünlerine parçalanabilmektedir. Bu nedenle peroksit değeri, oksidasyonun erken ve orta evrelerinde artış göstermekte; ileri aşamalarda ise ikincil ürünlere dönüşüm nedeniyle dalgalanma veya azalma gösterebilmektedir.

Bu çalışmada tüm oleojel örneklerinde depolama süresinin artmasına paralel olarak peroksit değerlerinde genel bir artış eğilimi gözlenmiştir (Tablo 3; Şekil 2). Kontrol grubu olarak değerlendirilen yalnızca GMS içeren oleojel (C), özellikle 20. günden sonra diğer örneklerle kıyasla daha yüksek peroksit değerleri sergilemiş ve 30. günde en yüksek peroksit değerine (≈ 16.5 meq O₂/kg) ulaşmıştır. Bu durum, antioksidan içermeyen oleojel sistemlerinde oksidatif stabilitenin daha düşük olduğunu ve hidroperoksit oluşumunun daha hızlı ilerlediğini göstermektedir.

BHA içeren B örneğinde, peroksit değerlerinin depolama boyunca artış göstermesine rağmen, bu artışın kontrol grubuna kıyasla daha sınırlı olduğu

belirlenmiştir. Özellikle orta depolama dönemlerinde (15–25. gün), B örneğinin peroksit değerlerinin kontrol grubundan daha düşük seviyelerde kalması, BHA’nın serbest radikal zincir reaksiyonlarını baskılayarak hidroperoksit oluşumunu geciktirdiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu, BHA’nın yağ ve yağ bazlı sistemlerde birincil oksidasyon ürünlerinin oluşumunu sınırladığına ilişkin literatür verileriyle uyumludur (Frankel, 2014; Liu vd., 2025).

Tablo 3. Oleojel örneklerine ait peroksit değerleri (meq O₂/kg)

Örnek	0. Gün	5. Gün	10. Gün	15. Gün	20. Gün	25. Gün	30. Gün
B	3.54 ± 0.03 ^{c(B)}	3.80 ± 0.03 ^{c(B)}	5.62 ± 0.03 ^{b(A)}	7.35 ± 0.07 ^{b(B)}	14.30 ± 0.19 ^{a(A)}	12.87 ± 0.09 ^{ab(B)}	15.87 ± 0.05 ^{a(B)}
C	3.79 ± 0.02 ^{c(A)}	4.78 ± 0.03 ^{b(A)}	3.45 ± 0.07 ^{c(B)}	6.03 ± 0.08 ^{b(C)}	12.37 ± 0.07 ^{a(B)}	13.85 ± 0.07 ^{a(A)}	16.54 ± 0.10 ^{a(A)}
H2	2.04 ± 0.04 ^{d(C)}	2.59 ± 0.05 ^{cd(C)}	2.94 ± 0.06 ^{c(C)}	4.75 ± 0.06 ^{b(D)}	8.12 ± 0.06 ^{a(D)}	9.04 ± 0.09 ^{a(C)}	14.68 ± 0.06 ^{a(C)}
H4	1.81 ± 0.03 ^{d(D)}	2.91 ± 0.04 ^{c(C)}	3.16 ± 0.03 ^{c(B)}	8.61 ± 0.07 ^{b(A)}	10.08 ± 0.07 ^{b(C)}	10.51 ± 0.09 ^{b(C)}	12.61 ± 0.14 ^{a(D)}
H6	1.76 ± 0.04 ^{d(D)}	3.93 ± 0.05 ^{c(B)}	4.35 ± 0.03 ^{c(A)}	7.49 ± 0.03 ^{b(B)}	7.87 ± 0.03 ^{b(E)}	9.06 ± 0.09 ^{ab(C)}	11.27 ± 0.06 ^{a(E)}

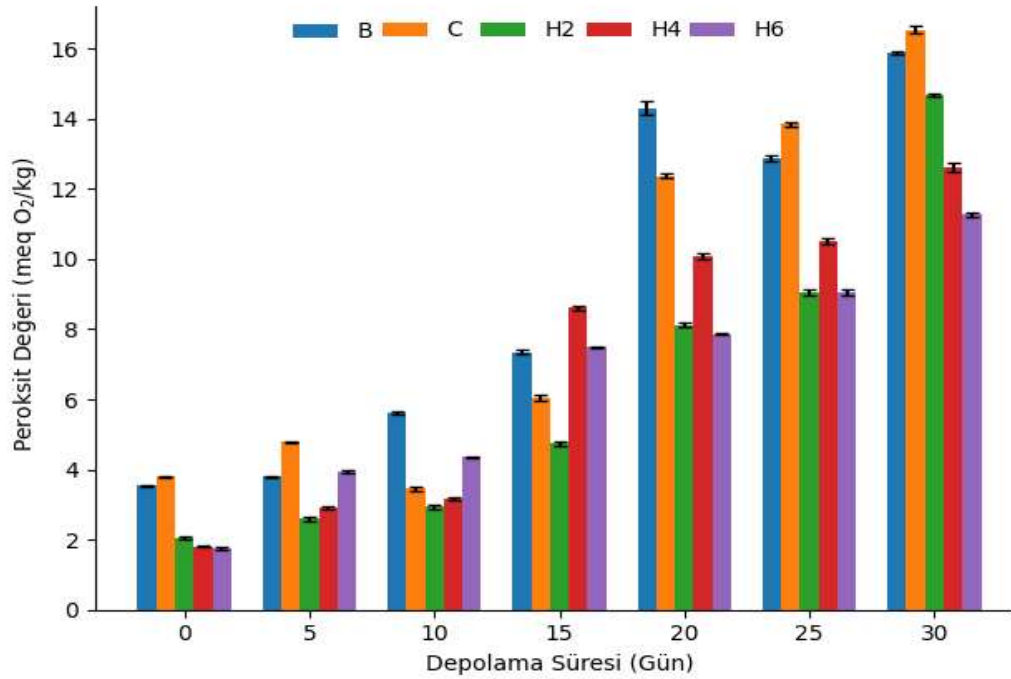
Veriler ortalama ± standart sapma (n = 3) olarak verilmiştir. Aynı satırda farklı küçük harfler, aynı sütunda farklı Büyük harfler, Duncan çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı farklılığı göstermektedir (p < 0.05).

Fındık zarı ekstraktı içeren oleojel örnekleri (H2, H4 ve H6), kontrol grubuna kıyasla depolama süresi boyunca daha düşük peroksit değerleri sergilemiştir. Özellikle erken ve orta depolama dönemlerinde (0–20. gün), bu örneklerde hidroperoksit oluşumunun belirgin şekilde baskılandığı görülmektedir. En yüksek ekstrakt konsantrasyonuna sahip H6 örneği, tüm depolama süresi boyunca en düşük peroksit artış hızını göstermiş ve 30. günde dahi peroksit değeri kontrol grubunun altında kalmıştır. Bu sonuç, fındık zarı ekstraktında bulunan fenolik bileşiklerin oksidatif zincir reaksiyonlarını yavaşlatarak oleojel sisteminin oksidatif stabilitesini artırdığını düşündürmektedir (Shahidi ve Ambigaipalan, 2015).

Şekil 2’de sunulan sütun grafiği, Tablo 3’teki bulguları görsel olarak desteklemekte olup, tüm örneklerde depolama süresine bağlı peroksit artışını ve örnekler arasındaki farklılıkları açık biçimde ortaya koymaktadır. Grafikte özellikle kontrol grubu ile

antioksidan içeren oleojeller arasındaki farkların 15. günden sonra daha belirgin hâle geldiği görülmektedir. Standart sapma barlarının genel olarak dar olması, ölçümlerin tekrarlanabilirliğinin yüksek olduğunu ve elde edilen sonuçların güvenilirliğini desteklemektedir.

BHA ile fındık zarı ekstraktının oleojel sistemlerindeki etkileri karşılaştırıldığında, her iki antioksidan türünün de peroksit oluşumunu kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde baskıladığı; ancak etki mekanizması ve zaman profili açısından farklılıklar gösterdiği görülmektedir. BHA içeren oleojelde, özellikle erken ve orta depolama dönemlerinde peroksit artışının daha sınırlı olması, BHA'nın lipofilik yapısı sayesinde yağ fazında homojen dağılması ve serbest radikal zincir reaksiyonlarını etkin biçimde kırabilmesiyle ilişkilendirilmektedir (Frankel, 2014; Liu vd., 2025). Buna karşın fındık zarı ekstraktı içeren oleojellerde peroksit oluşumunun baskılanması, ekstraktın içerdiği fenolik bileşiklerin antioksidan kapasitesine ve bu bileşiklerin oleojel matrisiyle olan etkileşimine bağlı olarak gerçekleşmektedir (Shahidi ve Ambigaipalan, 2015).



Şekil 2. Örneklere ait peroksit (meq/kg) analiz sonuçlarının sütun grafiği

Dikkat çekici olarak, yüksek ekstrakt konsantrasyonuna sahip H6 örneğinde peroksit artış hızının, BHA içeren B örneği ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğu ve bazı depolama zamanlarında daha düşük peroksit değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Bu durum, fındık zarı ekstraktının yalnızca sentetik antioksidanlara alternatif bir bileşen

olmadığını, aynı zamanda uygun konsantrasyonlarda kullanıldığında oleojel sistemlerinde benzer veya daha iyi oksidatif stabilite sağlayabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, fındık zarı ekstraktının etkisinin konsantrasyona daha duyarlı olduğu ve düşük konsantrasyonlarda BHA kadar güçlü bir zincir kırıcı etki göstermeyebileceği de göz ardı edilmemelidir.

Bu bağlamda değerlendirildiğinde, BHA daha öngörülebilir ve kısa vadede güçlü bir antioksidan etki sunarken; fındık zarı ekstraktı, çevresel ve tüketici algısı açısından avantaj sağlayan doğal bir antioksidan olarak, özellikle yüksek konsantrasyonlarda ve oleojel gibi oksijen difüzyonunun sınırlı olduğu sistemlerde etkili bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Elde edilen sonuçlar, sentetik ve doğal antioksidanların oleojel sistemlerinde birlikte veya ayrı ayrı kullanımına yönelik stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayacak niteliktedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde gerek BHA gerekse fındık zarı ekstraktı ilavesinin oleojel sistemlerinde peroksit oluşumunu anlamlı düzeyde geciktirdiği ve oksidatif stabiliteyi artırdığı söylenebilir. Bu bulgular, fındık zarı ekstraktının oleojel sistemlerinde doğal antioksidan olarak kullanım potansiyeline sahip olduğunu ve sentetik antioksidanlara alternatif oluşturabileceğini göstermektedir.

3.3 Oleojel Örneklerinin Ransimat Değerleri (saat)

Oleojel örneklerine ait Ransimat indüksiyon süreleri (saat) Tablo 4’te verilmiş olup, sonuçlar depolama süresi, antioksidan tipi ve oleojel formülasyonu açısından birlikte değerlendirildiğinde oksidatif stabilite üzerinde çok faktörlü bir etki mekanizması ortaya koymaktadır. Depolama süresinin ilerlemesiyle tüm oleojel örneklerinde indüksiyon süresinde gözlenen azalma, yağ ve yağ bazlı sistemlerde oksidatif bozulmanın zamana bağlı kaçınılmaz ilerleyişini yansıtmaktadır. Bu durum, antioksidanların serbest radikal zincir reaksiyonlarını yalnızca geciktirebildiği, ancak uzun süreli depolamada tamamen durduramadığı yönündeki temel lipid oksidasyonu literatürüyle örtüşmektedir (Frankel, 2005; Choe ve Min, 2006).

Ransimat indüksiyon süresindeki azalma, sistemde birincil oksidasyon ürünleri olan hidroperoksitlerin zamanla birikmesiyle doğrudan ilişkilidir. Peroksitler, lipid oksidasyonunun erken evrelerinde oluşmakta ve belirli bir eşik değerden sonra aldehit ve keton gibi ikincil oksidasyon ürünlerine parçalanmaktadır. Bu süreçte peroksit değeri yükselirken, yağın oksidasyona karşı direncini ifade eden Ransimat indüksiyon süresi düşmektedir. Dolayısıyla peroksit değeri ile Ransimat indüksiyon süresi arasındaki ters

yönlü ilişki, oksidatif stabilitenin farklı aşamalarını yansıtan tamamlayıcı göstergeler olarak değerlendirilmektedir (Velasco ve Dobarganes, 2002).

Örnekler arası karşılaştırma yapıldığında, H6 oleojelinin tüm depolama süresi boyunca en yüksek indüksiyon sürelerini koruması, bu formülasyonun oksidatif açıdan en stabil sistem olduğunu göstermektedir. Bu durum, daha yüksek konsantrasyonda doğal fenolik bileşik içeren oleojellerde, fenoliklerin serbest radikal süpürücü etkisinin yanı sıra oleojelatör ağı içerisinde yağ fazının daha etkin biçimde tutulmasıyla açıklanabilir. Oleojel yapısının oksijen difüzyonunu sınırlaması, doğal antioksidanların etkinliğiyle birleştiğinde oksidatif stabilitenin belirgin şekilde artmasına katkı sağlamaktadır. Benzer şekilde, oleojel sistemlerinde doğal antioksidanların oksidasyonu geciktirici etkisi daha önce yapılan çalışmalarda da raporlanmıştır (Patel ve Dewettinck, 2016; Martins vd., 2018).

Tablo 4. Oleojel örneklerine ait Ransimat indüksiyon süreleri (saat)

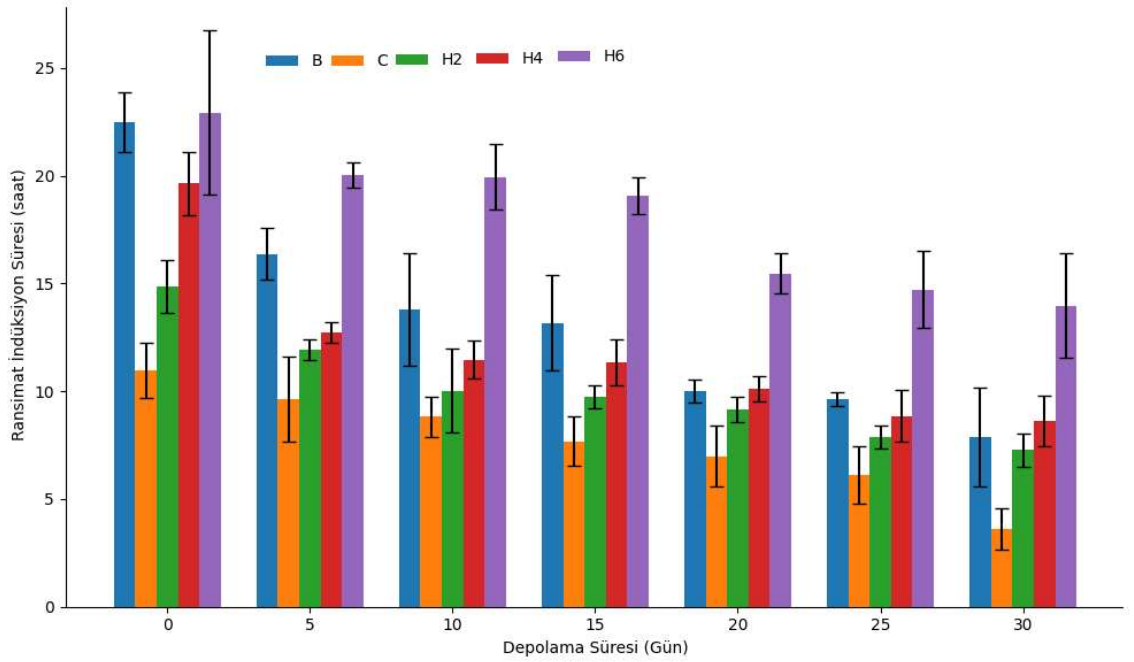
Örnek	0. Gün	5. Gün	10. Gün	15. Gün	20. Gün	25. Gün	30. Gün
B	22.50 ± 1.39 ^{a(A)}	16.37 ± 1.20 ^{b(B)}	13.79 ± 2.63 ^{bc(B)}	13.17 ± 2.20 ^{bc(A)}	10.00 ± 0.55 ^{c(B)}	9.64 ± 0.32 ^{c(B)}	7.87 ± 2.31 ^{c(B)}
C	10.95 ± 1.28 ^{a(C)}	9.65 ± 1.98 ^{ab(C)}	8.82 ± 0.94 ^{b(C)}	7.68 ± 1.15 ^{bc(C)}	6.99 ± 1.42 ^{c(C)}	6.11 ± 1.34 ^{c(C)}	3.61 ± 0.94 ^{d(D)}
H2	14.86 ± 1.24 ^{a(B)}	11.91 ± 0.49 ^{b(B)}	10.03 ± 1.94 ^{bc(B)}	9.72 ± 0.53 ^{bc(B)}	9.14 ± 0.59 ^{bc(B)}	7.89 ± 0.54 ^{c(C)}	7.28 ± 0.77 ^{c(C)}
H4	19.63 ± 1.48 ^{a(A)}	12.73 ± 0.46 ^{b(B)}	11.46 ± 0.89 ^{bc(B)}	11.34 ± 1.08 ^{bc(B)}	10.10 ± 0.59 ^{c(B)}	8.85 ± 1.19 ^{c(C)}	8.62 ± 1.18 ^{c(B)}
H6	22.93 ± 3.81 ^{a(A)}	20.05 ± 0.59 ^{a(A)}	19.94 ± 1.51 ^{a(A)}	19.06 ± 0.86 ^{a(A)}	15.47 ± 0.93 ^{b(A)}	14.71 ± 1.79 ^{c(A)}	13.97 ± 2.43 ^{bc(A)}

Veriler ortalama ± standart sapma (n = 3) olarak ifade edilmiştir. Aynı satırda farklı küçük harfler depolama süresine bağlı istatistiksel farkı, aynı sütunda farklı büyük harfler ise örnekler arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, p < 0.05).

BHA içeren B örneği, kontrol grubuna kıyasla özellikle erken ve orta depolama dönemlerinde daha uzun indüksiyon süreleri göstermiştir. Bu bulgu, sentetik fenolik antioksidanların lipofilik yapıları sayesinde yağ fazında homojen şekilde dağılması ve serbest radikal zincir reaksiyonlarını etkili biçimde kesmesiyle açıklanabilir. Bununla birlikte, ilerleyen depolama dönemlerinde B örneğinde de indüksiyon süresinin azalması,

BHA'nın zamanla tüketildiğini ve uzun süreli depolamada etkisinin sınırlı hale geldiğini düşündürmektedir. Bu durum, sentetik antioksidanların kısa ve orta vadede etkili olmakla birlikte, uzun vadeli oksidatif stabilite açısından tek başına yeterli olmayabileceğine işaret etmektedir.

Kontrol grubu (C) ise tüm depolama süresi boyunca en düşük Ransimat indüksiyon süreleriyle karakterize olmuş ve oksidasyona en duyarlı sistem olarak değerlendirilmiştir. Antioksidan içermeyen bu sistemde peroksit oluşumunun daha hızlı gerçekleşmesi, lipid oksidasyonunun doğal seyrini açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu sonuç, oleojel sistemlerinde antioksidan varlığının oksidatif stabilite için kritik bir gereklilik olduğunu vurgulamaktadır.



Şekil 3. Örneklerle ait ransimat (saat) analiz sonuçlarının sütun grafiği

Bu eğilimler Şekil 3'te görsel olarak da desteklenmektedir. Şekil 3'te, depolama süresinin artmasıyla tüm örneklerde indüksiyon süresinin kademeli olarak azaldığı; buna karşın H6 ve B örneklerinin diğer gruplara kıyasla daha yüksek değerlerini koruduğu açıkça görülmektedir. Standart sapma barlarının genel olarak düşük olması, ölçümlerin tekrarlanabilirliğinin iyi olduğunu ve gözlenen farkların rastlantısal değil, formülasyon kaynaklı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, Tablo 4 ve Şekil 3 birlikte değerlendirildiğinde, oleojel formülasyonunda kullanılan antioksidanın tipi ve konsantrasyonunun, peroksit oluşumu ve oksidatif stabilite üzerinde belirleyici bir rol

oyunadığı; elde edilen Ransimat sonuçlarının literatürle yüksek düzeyde uyumlu olduğu sonucuna varılmaktadır.

3.4 Oleojel Örneklerinin TBARS Değerleri (mg MDA/kg)

Oleojel örneklerine ait TBARS (mg MDA/kg) değerleri incelendiğinde, depolama süresinin ilerlemesiyle birlikte tüm örneklerde ikincil oksidasyon ürünlerinin oluşumuna bağlı olarak TBARS düzeylerinde genel bir artış eğilimi gözlenmiştir. TBARS analizi, lipid oksidasyonunun ileri safhalarında oluşan malondialdehit (MDA) gibi aldehitik bileşiklerin miktarını yansıttığından, bu artış depolama sürecinde oksidatif bozulmanın ilerlediğini göstermektedir (Frankel, 2005; Choe ve Min, 2006). Şekil 4'te sunulan sütun grafiği, TBARS değerlerindeki bu zamana bağlı artışı görsel olarak da desteklemektedir.

Örnekler arasında belirgin farklılıklar dikkat çekmektedir. Kontrol grubu (C), tüm depolama periyodu boyunca en yüksek TBARS değerlerini sergilemiş ve özellikle 20. günden sonra belirgin bir artış göstermiştir. Antioksidan içermeyen bu sistemde, birincil oksidasyon ürünleri olan hidroperoksitlerin hızla parçalanarak aldehit ve keton gibi ikincil oksidasyon ürünlerine dönüşmesi, TBARS artışının temel nedeni olarak değerlendirilmektedir (Velasco ve Dobarganes, 2002; Shahidi ve Zhong, 2010). Bu bulgu, peroksit ve Ransimat sonuçlarıyla birlikte ele alındığında, kontrol grubunda oksidatif bozulmanın hem erken hem de ileri safhalarda daha hızlı ilerlediğini ortaya koymaktadır.

BHA içeren B örneği, depolama boyunca kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha düşük TBARS değerleri göstermiştir. Özellikle erken ve orta depolama dönemlerinde TBARS artışının sınırlı kalması, BHA'nın lipofilik yapısı sayesinde yağ fazında etkin biçimde dağılması ve serbest radikal zincir reaksiyonlarını kırarak hidroperoksitlerin ikincil oksidasyon ürünlerine dönüşümünü geciktirmesiyle açıklanabilir (Frankel, 2005; Shahidi ve Zhong, 2010). Bununla birlikte, ileri depolama dönemlerinde B örneğinde de TBARS düzeylerinde artış gözlenmesi, sentetik antioksidanların oksidasyonu tamamen durdurmadığını, yalnızca yavaşlattığını ve zamanla etkinliğinin azaldığını göstermektedir (Choe ve Min, 2006).

Doğal antioksidan içeren oleojellerden H2 ve H4, TBARS değerleri açısından BHA içeren B örneği ile kontrol grubu arasında konumlanmıştır. Bu durum, fındık zarı ekstraktında bulunan fenolik bileşiklerin radikal süpürücü ve metal şelatlayıcı özellikleri sayesinde ikincil oksidasyon ürünlerinin oluşumunu belirli ölçüde baskıladığını göstermektedir. Ancak bu etkinliğin, fenolik bileşiklerin türü, konsantrasyonu ve oleojel matrisi içindeki dağılımına bağlı olarak değişebildiği bildirilmektedir (Patel ve

Dewettinck, 2016; Martins vd., 2018). Bu nedenle doğal antioksidanların etkisi, sentetik antioksidanlara kıyasla daha değişken bir profil sergileyebilmektedir.

Tablo 5. Oleojel örneklerine ait TBARS değerleri (mg MDA/kg)

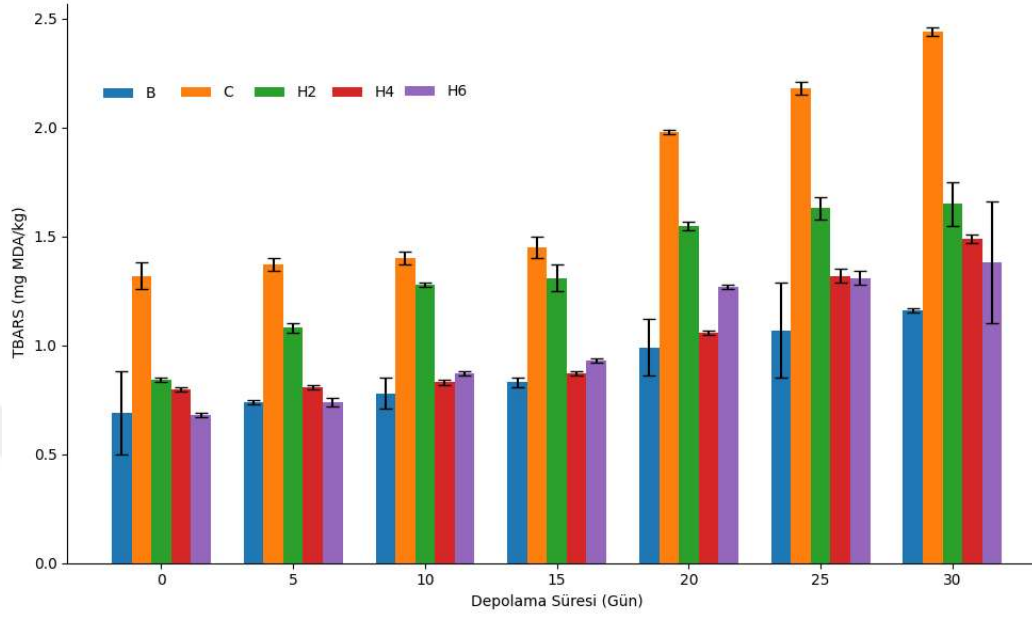
Örnek	0. Gün	5. Gün	10. Gün	15. Gün	20. Gün	25. Gün	30. Gün
B	0.69 ± 0.19 ^{d(C)}	0.74 ± 0.01 ^{d(C)}	0.78 ± 0.07 ^{d(C)}	0.83 ± 0.02 ^{d(C)}	0.99 ± 0.13 ^{d(C)}	1.07 ± 0.22 ^{d(C)}	1.16 ± 0.01 ^{d(C)}
C	1.32 ± 0.06 ^{a(A)}	1.37 ± 0.03 ^{a(A)}	1.40 ± 0.03 ^{a(A)}	1.45 ± 0.05 ^{a(A)}	1.98 ± 0.01 ^{a(A)}	2.18 ± 0.03 ^{a(A)}	2.44 ± 0.02 ^{a(A)}
H2	0.84 ± 0.01 ^{c(B)}	1.08 ± 0.02 ^{b(B)}	1.28 ± 0.01 ^{b(B)}	1.31 ± 0.06 ^{b(B)}	1.55 ± 0.02 ^{b(B)}	1.63 ± 0.05 ^{b(B)}	1.65 ± 0.10 ^{b(B)}
H4	0.80 ± 0.01 ^{cd(B)}	0.81 ± 0.01 ^{c(C)}	0.83 ± 0.01 ^{c(C)}	0.87 ± 0.01 ^{c(C)}	1.06 ± 0.01 ^{c(C)}	1.32 ± 0.03 ^{c(C)}	1.49 ± 0.02 ^{c(C)}
H6	0.68 ± 0.01 ^{d(C)}	0.74 ± 0.02 ^{d(C)}	0.87 ± 0.01 ^{c(C)}	0.93 ± 0.01 ^{c(C)}	1.27 ± 0.01 ^{c(B)}	1.31 ± 0.03 ^{c(C)}	1.38 ± 0.28 ^{c(B)}

Veriler ortalama ± standart sapma (n = 3) olarak ifade edilmiştir. Aynı satırda farklı küçük harfler depolama süresine bağlı istatistiksel farkı, aynı sütunda farklı büyük harfler ise örnekler arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, p < 0.05).

H6 oleojeli, erken depolama dönemlerinde düşük TBARS değerleriyle oksidatif açıdan avantajlı bir profil göstermiş; ancak ileri depolama dönemlerinde TBARS artışının hızlanmasıyla diğer antioksidanlı örneklerden ayrılmıştır. Bu durum, yüksek fenolik içeriğin her koşulda ikincil oksidasyon ürünlerini baskılamadığını ve bazı fenolik bileşiklerin uzun depolama süresi veya yüksek konsantrasyonlarda pro-oksidan etki gösterebileceğini düşündürmektedir. Literatürde, fenolik bileşiklerin metal iyonları ve oksijen varlığında redoks döngülerine katılarak lipid oksidasyonunu hızlandırabileceği ve MDA oluşumunu artırabileceği rapor edilmiştir (Xu vd., 2017; Pérez-Palacios, T. ve Estévez, 2020).

Şekil 4 ile birlikte değerlendirildiğinde, TBARS sonuçlarının Ransimat indüksiyon süresi ve peroksit değerleriyle birebir paralel seyretmediği, ancak oksidatif bozulmanın farklı evrelerini tamamlayıcı biçimde yansıttığı görülmektedir. Ransimat testi yağın genel oksidatif direncini, peroksit değeri birincil oksidasyon ürünlerini, TBARS ise ileri oksidasyon ürünlerini temsil etmektedir (Frankel, 2005; Velasco ve Dobarganes, 2002). Bu nedenle oleojel sistemlerinde oksidatif stabilitenin tek bir parametreye dayalı olarak

değerlendirilmesi yeterli olmayıp, çoklu oksidasyon göstergelerinin birlikte yorumlanması gerekmektedir.



Şekil 4. Örnekler için TBARS değerleri (mg MDA/kg) analiz sonuçlarının sütun grafiği

Sonuç olarak, TBARS analizleri oleojel formülasyonunda kullanılan antioksidanın tipi ve konsantrasyonunun ikincil oksidasyon ürünlerinin oluşumu üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Sentetik antioksidanlar kısa ve orta vadede güçlü bir koruma sağlarken, doğal fenolik ekstraktların etkinliği daha karmaşık olup uygun doz ve matris optimizasyonu gerektirmektedir. Bu bulgular, oleojel bazlı sistemlerde doğal antioksidan kullanımının potansiyelini ortaya koymakla birlikte, oksidatif stabilitenin kontrolü için formülasyon temelli ayrıntılı değerlendirmelerin zorunlu olduğunu göstermektedir (Patel ve Dewettinck, 2016; Martins vd., 2018).

3.5 Oleojel Örneklerinin Renk Değerleri

Oleojel örneklerine ait renk parametreleri (L^* , a^* , b^* ve ΔE^*) değerlendirildiğinde, antioksidan türü ve konsantrasyonunun oleojel matrisinin görsel özellikleri üzerinde anlamlı etkiler oluşturduğu görülmektedir (Tablo 6; Şekil 5). Bu çalışmada ΔE^* değerleri, renk farkının net biçimde ortaya konabilmesi amacıyla kontrol örneği (C) referans alınarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla ΔE^* parametresi, her bir oleojel formülasyonunun kontrol grubuna kıyasla toplam renk değişimini yansıtmaktadır.

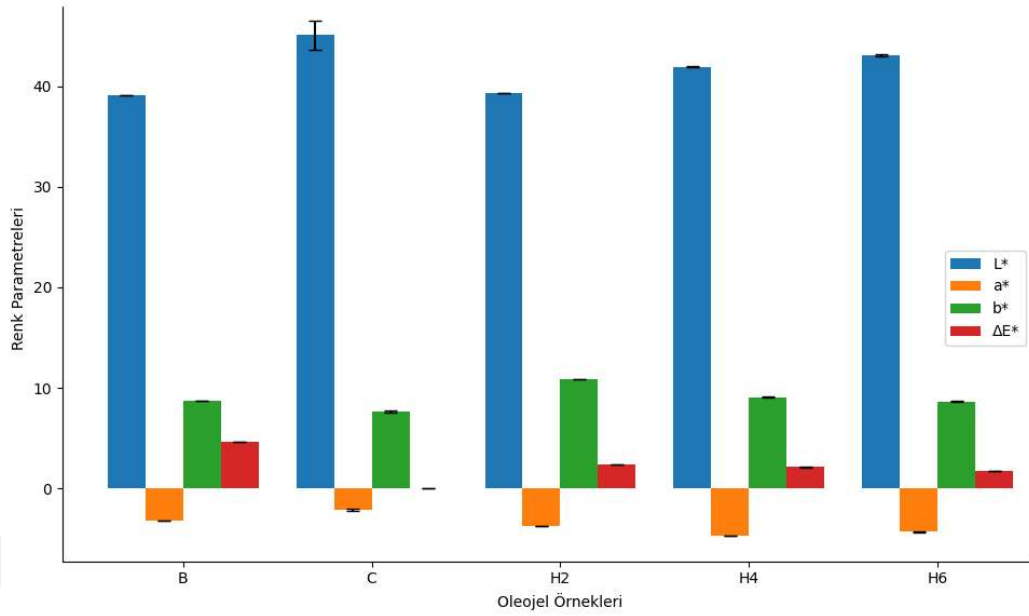
Kontrol örneğinde (C) en yüksek L* değerleri ve son derece düşük ΔE^* değerlerinin belirlenmesi, sistemin referans renk karakterini büyük ölçüde koruduğunu ve renk açısından en stabil yapı olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, BHA içeren B örneğinde L* değerlerinin anlamlı şekilde düşmesi ve kontrol örneğine göre hesaplanan ΔE^* değerlerinin belirgin biçimde artması, sentetik antioksidan ilavesinin oleojel matrisinde ışık yansıtma ve absorpsiyon özelliklerini değiştirdiğini ortaya koymaktadır. Fenolik yapıya sahip lipofilik antioksidanların yağ fazında çözünerek optik özellikleri etkileyebildiği ve bu durumun ölçülebilir renk farklarına yol açabildiği literatürde de bildirilmektedir (Choe ve Min, 2006; Shahidi ve Zhong, 2015).

Tablo 6. Oleojel örneklerine ait renk parametreleri (L*, a*, b*, ΔE^*)

Örnek	L*	a*	b*	ΔE^*
B	39.06 $\pm$ 0.01 ^c	-3.18 $\pm$ 0.02 ^c	8.73 $\pm$ 0.02 ^d	4.65 $\pm$ 0.01 ^a
C	45.08 $\pm$ 1.43 ^a	-2.13 $\pm$ 0.10 ^a	7.66 $\pm$ 0.15 ^c	0.04 $\pm$ 0.05 ^c
H2	39.32 $\pm$ 0.02 ^d	-3.70 $\pm$ 0.01 ^d	10.86 $\pm$ 0.02 ^a	2.43 $\pm$ 0.02 ^b
H4	41.93 $\pm$ 0.08 ^c	-4.65 $\pm$ 0.02 ^c	9.09 $\pm$ 0.02 ^b	2.14 $\pm$ 0.04 ^c
H6	43.06 $\pm$ 0.08 ^b	-4.29 $\pm$ 0.02 ^d	8.65 $\pm$ 0.03 ^c	1.76 $\pm$ 0.01 ^d

Veriler ortalama $\pm$ standart sapma (n = 3) olarak ifade edilmiştir. Aynı sütunda farklı harfler örnekler arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, p < 0.05).

Doğal antioksidan içeren oleojellerde (H2, H4 ve H6), a* değerlerinin daha negatif yönde kayması, sistemde yeşil tonun baskınlaştığını göstermektedir. Özellikle H4 ve H6 örneklerinde belirlenen daha düşük a* değerleri, fındık zarı ekstraktında bulunan fenolik bileşiklerin ve doğal pigmentlerin oleojel matrisine entegrasyonu ile ilişkilendirilebilir. Benzer şekilde, H2 örneğinde gözlenen yüksek b* değerleri, sarı tonun belirginleştiğini ve bitkisel ekstraktların renk yoğunluğunu artırıcı etkisini doğrulamaktadır. Bitkisel kökenli antioksidanların, lipid sistemlerinde yalnızca oksidatif stabiliteyi değil, aynı zamanda renk parametrelerini de önemli ölçüde etkilediği daha önceki çalışmalarda da vurgulanmıştır (Gutiérrez-del-Río vd., 2021; Laguerre vd., 2015).



Şekil 5. Örneklerle ait renk analiz sonuçlarının sütun grafiği

Kontrol örneğine göre hesaplanan ΔE^* değerleri açısından değerlendirildiğinde, B örneğinin en yüksek toplam renk farkını göstermesi, BHA'nın oksidatif süreçleri baskılamasına rağmen görsel algı bakımından daha belirgin bir renk değişimine yol açtığını düşündürmektedir. Buna karşın, H6 örneğinde ΔE^* değerlerinin görece düşük seviyelerde kalması, yüksek konsantrasyonda fındık zarı ekstraktının hem oksidatif süreçleri sınırlandırdığı hem de kontrol örneğine daha yakın bir renk profili sağladığını ortaya koymaktadır. Literatürde ΔE^* değerinin yaklaşık 2–3 aralığında olmasının tüketici tarafından algılanabilir ancak genel olarak kabul edilebilir bir renk değişimi olarak değerlendirildiği bildirilmektedir (Pathare vd., 2013). Bu bağlamda, doğal antioksidan içeren oleojellerin kontrol örneğine kıyasla kabul edilebilir sınırlar içinde renk değişimi sergilediği, BHA içeren örneğin ise daha belirgin bir görsel farklılık oluşturduğu söylenebilir.

Genel olarak elde edilen bulgular, fındık zarı ekstraktının oleojel sistemlerinde sentetik antioksidanlara kıyasla daha dengeli bir renk profili sağladığını ve kontrol örneğine daha yakın bir görsel stabilite sunduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, doğal antioksidanların oleojel bazlı gıdalarda yalnızca fonksiyonel değil, aynı zamanda duyuşal açıdan da güçlü bir alternatif oluşturabileceğini desteklemektedir (Shahidi ve Ambigaipalan, 2015).

3.6 % Yağ Tutma ve % Yağ Salma Kapasiteleri

Oleojel örneklerinin yağ ve yağ salma kapasiteleri değerlendirildiğinde, tüm formülasyonlarda yüksek yağ tutma değerlerinin (%92–93) korunması, jelatörün oluşturduğu üç boyutlu ağ yapısının sıvı yağı fiziksel olarak hapsedebildiğini ve oleojellerin temel teknolojik avantajının “yağı immobilize etme” yeteneğinden kaynaklandığını göstermektedir (Patel ve Dewettinck, 2016; Singh vd., 2017). Bu tür sistemlerde yağ tutma kapasitesi (YTK), çoğunlukla kristal ağın sürekliliği, kristal morfolojisi ve ağın gözenekliliği ile ilişkilidir; daha sıkı ve homojen bir ağ yapısı, santrifüj sonrası serbest yağ ayrılmasını azaltarak YTK’ nin artmasına katkı sağlar (Thakur vd., 2023; Qu vd., 2024).

Tablo 7. Oleojel örneklerine ait yağ tutma ve yağ salma kapasiteleri (%)

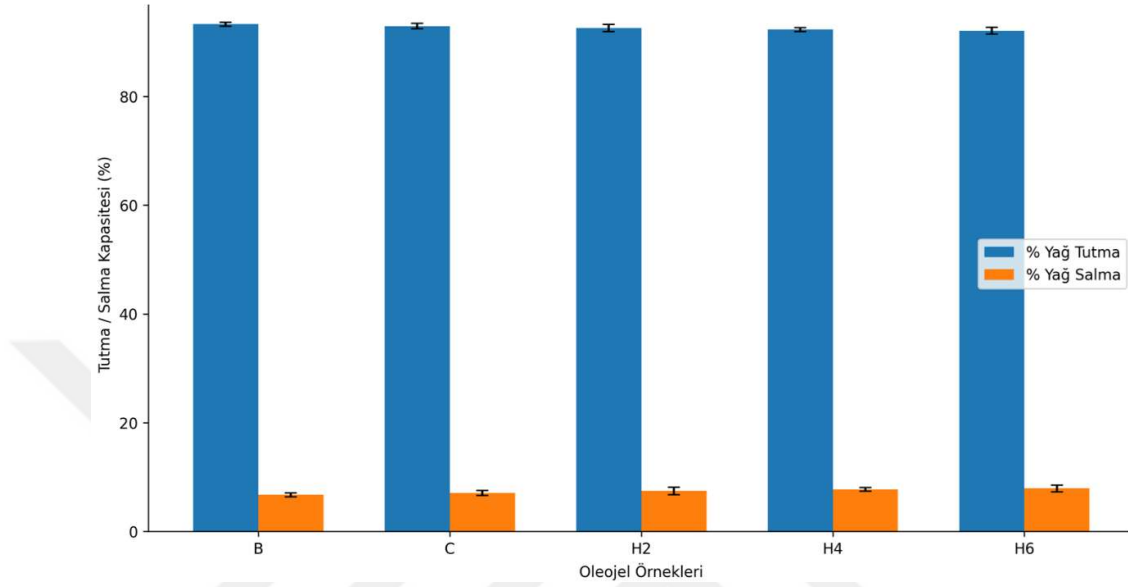
Örnek	% Yağ Tutma	% Yağ Salma
B	93.27 ± 0.38 ^a	6.73 ± 0.38 ^c
C	92.93 ± 0.47 ^{ab}	7.07 ± 0.47 ^d
H2	92.55 ± 0.66 ^b	7.45 ± 0.66 ^c
H4	92.28 ± 0.33 ^{bc}	7.72 ± 0.33 ^b
H6	92.07 ± 0.62 ^c	7.93 ± 0.62 ^a

Veriler ortalama ± standart sapma (n = 3) olarak ifade edilmiştir. Aynı sütunda farklı harfler örnekler arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, p < 0.05).

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre B örneğinin en yüksek yağ tutma ve en düşük yağ salma değerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durum, BHA ilavesinin oleojel ağının hidrofobik karakterini koruyarak yağ fazının matriks içerisinde daha stabil şekilde tutulmasına katkı sağladığını düşündürmektedir. Buna karşın, fındık zarı ekstraktı içeren örneklerde (H2–H6) yağ salma değerlerinde kademeli bir artış gözlenmiş ve buna paralel olarak yağ tutma kapasitesinde sınırlı bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum, ekstraktın içerdiği fenolik ve diğer polar bileşenlerin oleojel sisteminin kristal organizasyonunu ve mikro-yapısal düzenini etkileyerek jel ağında kısmi heterojenliğe neden olabileceğini düşündürmektedir.

Literatürde de yağ fazında bulunan minör veya polar bileşenlerin oleojel kristallenmesini ve kristal dağılımını etkileyebildiği, bunun da yağ tutma ve yağ salma gibi fonksiyonel özelliklerde değişikliklere yol açabildiği rapor edilmektedir (Sivakanthan vd., 2024). Bazı durumlarda bu bileşenler kristal ağını güçlendirebilirken,

bazı sistemlerde ise ağın düzenini değiştirerek serbest yağ ayrılmasının artmasına neden olabilmektedir.



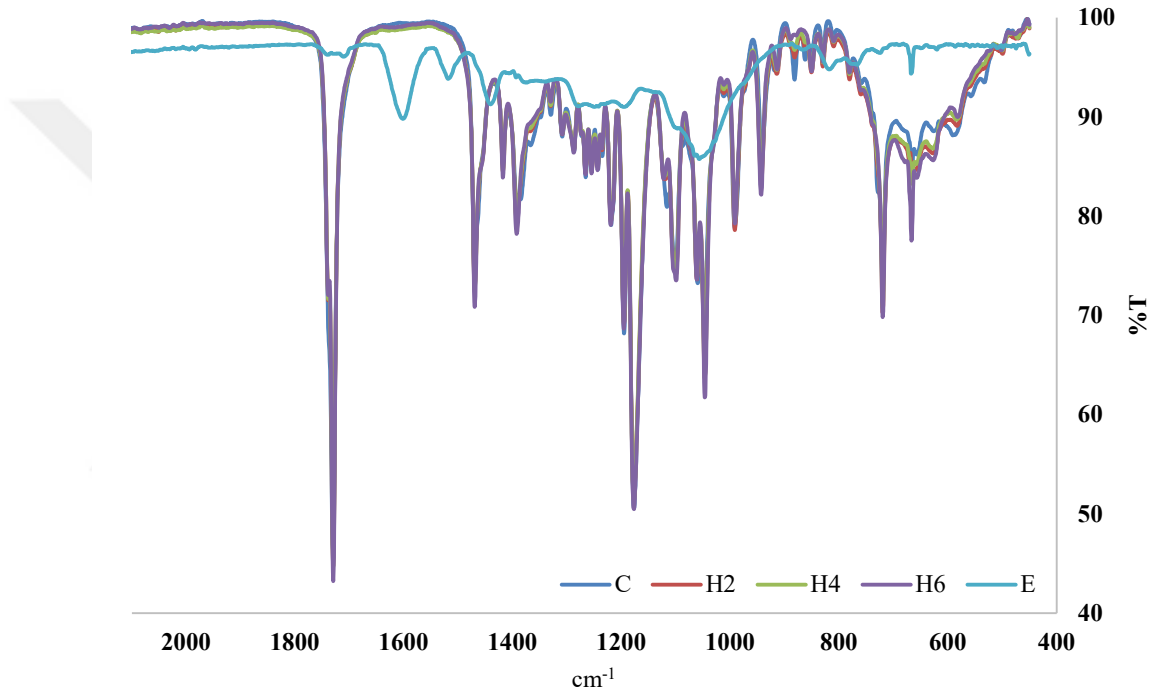
Şekil 6. Oleojel örneklerinin yağ tutma ve yağ salma kapasiteleri (%)

Bu çerçevede, çalışmada ekstrakt konsantrasyonunun artmasıyla yağ salma değerlerinin H6 örneğinde en yüksek seviyeye ulaşması, fındık zarı ekstraktının yalnızca antioksidan bir katkı maddesi olarak değil, aynı zamanda oleojel sisteminin mikroyapısını modüle eden bir bileşen olarak da rol oynayabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte tüm örneklerde yağ tutma değerlerinin %92'nin üzerinde kalması, geliştirilen oleojel sistemlerinin yağ immobilizasyonu açısından oldukça stabil bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, elde edilen yağ tutma ve yağ salma verileri oleojel sistemlerinde jel ağına genel olarak korunabildiğini, ancak doğal ekstrakt ilavesinin ağ yapısını kısmen etkileyerek yağ fazının tutulma davranışını değiştirebildiğini göstermektedir (Patel ve Dewettinck, 2016; Thakur vd., 2023).

3.7 Oleojel Örneklerinin FTIR Analiz Sonuçları

GMS ile hazırlanan kontrol oleojel (C), farklı konsantrasyonlarda fındık zarı ekstraktı içeren oleojeller (H2, H4 ve H6) ve fındık zarı ekstraktının tek başına spektrumu (E) FTIR analizi ile 4000–600 cm^{-1} dalga sayısı aralığında incelenmiştir (Şekil 7). Kontrol oleojel örneğinde, yaklaşık 2920 ve 2850 cm^{-1} civarında gözlenen belirgin bantlar alifatik $-\text{CH}_2$ ve $-\text{CH}_3$ gerilme titreşimlerine karşılık gelmekte olup, oleojel

sisteminde yağ fazına ait uzun zincirli hidrokarbon yapıların baskın olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, yaklaşık 1740 cm^{-1} 'de tespit edilen güçlü C=O ester gerilme bandı, gliseril monostearatın esterleşmiş yapısının ve oleojel ana iskeletinin korunduğunu ortaya koymaktadır. Bu karakteristik bantların ekstrakt içeren oleojel örneklerinde de benzer dalga sayılarında varlığını sürdürmesi, fındık zarı ekstraktı ilavesinin oleojel matriksinde kimyasal bir dönüşüme yol açmadığını, yapının temel bileşenlerinin korunduğunu göstermektedir (Han vd., 2020).



Şekil 7. Orneklere ait FTIR grafiği

Fındık zarı ekstraktı ilavesiyle birlikte, özellikle $3600\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ aralığında yer alan ve hidroksil (–OH) gruplarına atfedilen geniş bantta belirgin değişimler gözlenmiştir. Kontrol oleojel örneğinde sınırlı olan bu bant, ekstrakt içeren H2, H4 ve H6 örneklerinde konsantrasyona bağlı olarak belirginleşmiş ve fındık zarı ekstraktının tek başına spektrumunda en yüksek şiddete ulaşmıştır. Bu durum, fındık zarı ekstraktında bulunan fenolik bileşiklerin hidroksil gruplarının oleojel sistemine başarıyla dahil edildiğini ve oleojel matrisiyle hidrojen bağları gibi ikincil etkileşimler kurduğunu düşündürmektedir. Fenolik bileşiklerin FTIR spektrumlarında geniş –OH bantlarıyla karakterize olduğu ve bu bantların matriks içi etkileşimlere duyarlı olduğu literatürde de sıklıkla rapor edilmektedir (Wongsa vd., 2022).

Aromatik yapılarla ilişkili titreşimlerin izlendiği 1650–1500 cm^{-1} bölgesinde, kontrol (C) örneğine kıyasla fındık zarı ekstraktı içeren oleojellerde bant şiddetinde artış gözlenmiştir. Bu artış özellikle aromatik halka titreşimlerine daha özgül kabul edilen ~ 1600 ve ~ 1515 cm^{-1} civarında belirgin olup, ekstrakt konsantrasyonu arttıkça ($\text{H2} \rightarrow \text{H4} \rightarrow \text{H6}$) genel bir güçlenme eğilimi göstermektedir. Söz konusu bulgu, fındık zarı ekstraktında bulunan aromatik fenolik bileşiklerin oleojel sistemine dahil olmasıyla bu titreşimlerin FTIR spektrumunda daha görünür hâle gelmesine bağlanabilir. Fenolik bileşiklerin oleojel matrisine entegrasyonunun, yeni kovalent bağ oluşumundan ziyade hidrojen bağları ve diğer ikincil fiziksel etkileşimler yoluyla gerçekleştiği; bunun FTIR’de yoğunlukla bant şiddeti ve şekil değişimleri olarak yansıdığı literatürde rapor edilmiştir (Ciuffarin vd., 2023; Pintado vd., 2020).

Bununla birlikte, oleojel sistemlerinde ana matrisi oluşturan trigliseritler ve monogliseritler nedeniyle FTIR spektrumunun büyük ölçüde lipid bantları tarafından domine edildiği bilinmektedir. Bu nedenle fenoliklere ait aromatik bantların, özellikle doymamış lipidlerin $\text{C}=\text{C}$ gerilme titreşimi (~ 1653 cm^{-1}) ile kısmen örtüşerek sınırlı şiddette görünmesi beklenen bir durumdur. Benzer şekilde, polifenol içeren oleojel ve emülsiyon jel sistemlerinde fenoliklerin yapısal ve fonksiyonel etkileri belirgin olmasına rağmen FTIR spektrumlarında yalnızca küçük yoğunluk değişimleri rapor edilmiş, baskın lipid bantları arasında yeni kuvvetli piklerin ortaya çıkmadığı belirtilmiştir (Pintado vd., 2020; Ciuffarin vd., 2023). Bu bağlamda, çalışmada gözlenen aromatik bant artışı, fındık zarı ekstraktının oleojel sistemine entegrasyonunun dolaylı ancak tutarlı bir FTIR göstergesi olarak değerlendirilmektedir.

Parmak izi bölgesi olarak adlandırılan 1200–1000 cm^{-1} aralığında, $\text{C}-\text{O}$ ve $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ titreşimlerine karşılık gelen bantların kontrol oleojeline (C) kıyasla ekstrakt içeren oleojellerde ($\text{H2}-\text{H6}$) daha belirgin hale geldiği görülmüştür. Bu bölgedeki bant şiddeti ve şekil değişimleri, fındık zarı ekstraktında bulunan fenolik ve olası polisakkarit kökenli bileşenlerin oleojel matrisi içerisinde fiziksel olarak yer aldığını ve gliseril monostearat (GMS) tarafından oluşturulan yağ kristal ağının mikro yapısında yeniden düzenlenmelere yol açabileceğini düşündürmektedir. FTIR’de 1200–1000 cm^{-1} aralığının ester grupları, alkoksi bağları ve karbonhidrat/fenolik yapılar için oldukça duyarlı olduğu; bu nedenle katkı maddelerinin matrise entegrasyonunun yoğunlukla bu bölgede göreceli yoğunluk farklılıkları şeklinde izlenebildiği bildirilmiştir (Coates, 2000; Socrates, 2001).

Monogliserid esaslı oleojel sistemlerinde, katkı maddelerinin (polifenoller, yüzey aktifler veya diğer biyoaktifler) kristal ağ içinde ek etkileşim noktaları oluşturarak kristal boyutu, şekli ve polimorfizmini değiştirebildiği; bu yapısal değişimlerin FTIR’de sıklıkla

parmak izi bölgesindeki küçük fakat sistematik bant değişimleri ile birlikte rapor edildiği literatürde vurgulanmaktadır (Ferro vd., 2019; Prodromidis vd., 2023). Benzer şekilde, polifenol içeriğinin artmasının monogliserid veya balmumu bazlı oleojellerde ağın mekanik ve termal özelliklerini güçlendirdiği; ancak bu etkinin FTIR spektrumunda yeni kuvvetli pikler yerine çoğunlukla C–O kaynaklı bantlarda sınırlı yoğunluk değişimleri olarak gözlemlendiği bildirilmiştir (Ciuffarin vd., 2023).

Bununla birlikte, 1200–1000 cm^{-1} aralığının yağ fazına ait ester titreşimleriyle önemli ölçüde örtüşen bir bölge olması nedeniyle, bu bantlardaki değişimlerin tek başına belirli bir fenolik veya polisakkarit bileşene doğrudan atanmasının sınırlı olduğu dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla FTIR bulguları, fındık zarı ekstraktının oleojel sistemine entegrasyonunu doğrudan kimyasal bağ kanıtı olarak değil, katkı–matriks etkileşimi ve üst-moleküler yapının yeniden düzenlenmesine işaret eden destekleyici bir kanıt olarak değerlendirilmelidir (Coates, 2000; Ferro vd., 2019).

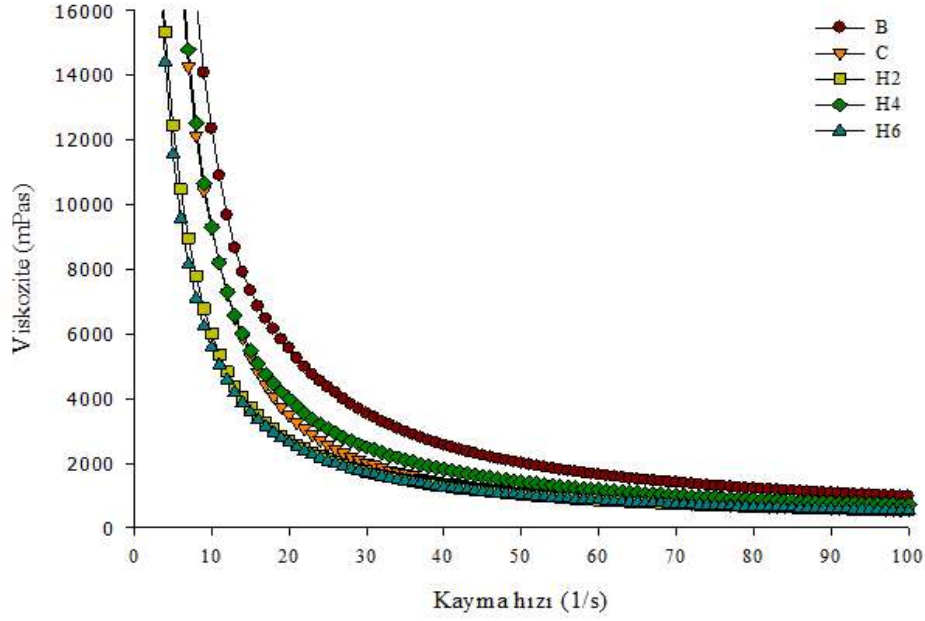
Genel olarak FTIR sonuçları, fındık zarı ekstraktı ilavesinin GMS bazlı oleojel sisteminde yeni kovalent bağların oluşumuna yol açmadığını, buna karşın ekstrakt bileşenlerinin hidrojen bağları ve diğer fiziksel etkileşimler aracılığıyla oleojel ağına entegre edildiğini ortaya koymaktadır. Ekstrakt konsantrasyonunun artmasıyla birlikte özellikle hidroksil ve aromatik bölgelerde gözlenen değişimler, H6 (% 0.60 ekstrakt) örneğinin fenolik karakter açısından en zengin ve fonksiyonel bileşen katkısının en yüksek olduğu formülasyon olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, fındık zarı ekstraktının oleojel sistemlerinde doğal ve fonksiyonel bir katkı maddesi olarak kullanılabileceğini ve oleojel yapısal bütünlüğünü bozmadan sisteme dahil edilebildiğini göstermesi açısından önem taşımaktadır.

3.8 Reolojik Analizlerin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada GMS ile yapılandırılan oleojellerin (Kontrol C, BHA ilaveli B, fındık zarı ekstraktlı H2–H4–H6) reolojik davranışları; akış testleri (viskozite–kayma hızı) ve dinamik frekans tarama (G' ve G'') sonuçları üzerinden değerlendirilmiştir. Oleojellerin reolojik profili, ürünün işlenebilirliği (pompalama/karıştırma/dolum) ve tüketim tekstürü (sürülebilirlik/sertlik/şekil tutma) açısından kritik olup, oleojellerin katı yağ ikamesinde kullanım potansiyeli literatürde geniş biçimde vurgulanmaktadır (Patel, 2015; Puşças vd., 2020).

Viskozite–kayma hızı davranışı şekil 8’ de verilmiştir. Viskozite–kayma hızı eğrileri incelendiğinde, tüm oleojel örneklerinde kayma hızı arttıkça viskozitenin belirgin şekilde azalması, sistemlerin psödoplastik (kayma incelmeye gösteren) davranış

sergilediğini göstermektedir. Bu bulgu, düşük kayma hızlarında daha düzenli ve güçlü bir kristal ağ yapısının varlığına; kayma arttıkça ise ağın kademeli olarak yeniden düzenlenmesine/bozulmasına işaret eder. Oleojellerde kayma incelmesi, proses sırasında akışın kolaylaşması nedeniyle pratikte avantajlıdır; dolum ve karıştırma gibi işlemlerde enerji gereksinimini azaltabilir (Patel, 2015; Puşcaş vd., 2020).



Şekil 8. Viskozite–Kayma Hızı Davranışı

Numuneler arası kıyaslamada, düşük-orta kayma hızlarında B ve C örneklerinin daha yüksek viskozite göstermesi, bu iki formülasyonda ağın daha kompakt/rijit olduğunu düşündürür. Fındık zarı ekstraktlı seride ise konsantrasyon arttıkça (H2→H4→H6) viskozitenin görece düşmesi, yüksek fenolik yükün kristal ağın sürekliliğini “seyreltebildiği” veya kristal-kristal temasını azaltabildiği yönünde yorumlanabilir. Doğal ekstraktların jel sistemlerine katılımının, belirli eşiklerin üzerinde ağ düzenini bozabildiği ve reolojik yanıtı zayıflatabildiği literatürde de vurgulanmaktadır (Kawee-Ai vd., 2025).

Numuneler karşılaştırıldığında, B (BHA) ve C (kontrol) örneklerinin özellikle düşük kayma hızlarında daha yüksek viskozite değerleri sergilemesi, bu iki formülasyonda daha kompakt/rijit bir ağ yapısı oluştuğunu düşündürmektedir. Fındık zarı ekstraktı içeren örneklerde ise konsantrasyon arttıkça viskozitenin genel olarak azalma eğiliminde olması, fenolik bileşiklerin belirli düzeyin üzerinde jelatör–lipid kristal

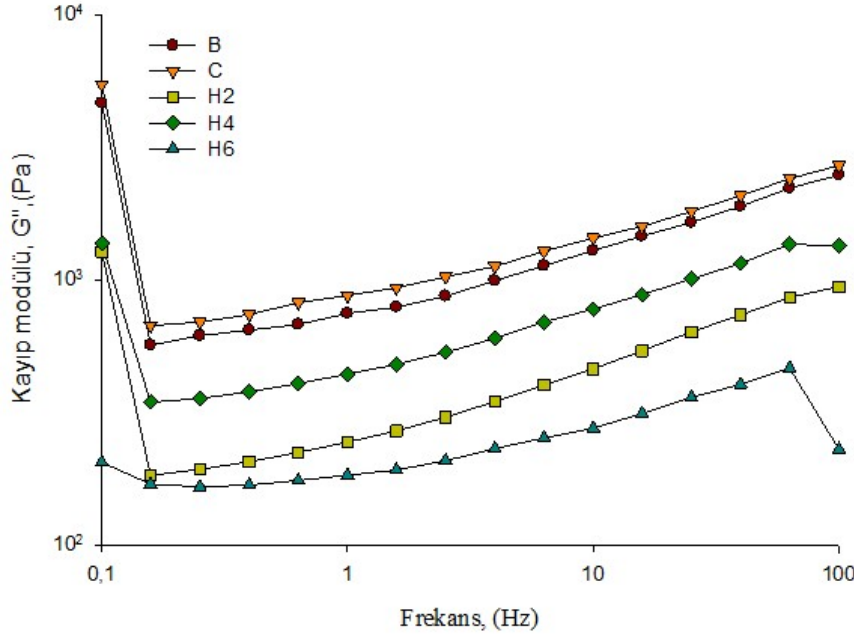
etkileşimlerini zayıflatıp daha gevşek bir ağ yapısına neden olabileceğini düşündürür. Bu tür bir eğilim, polifenollerin lipid fazdaki mikro-yapıyı ve kristal ağın sürekliliğini modüle edebilmesi ile açıklanabilir (Alasalvar vd., 2009; Patel, 2015). Kontrol grubu (C) ile karşılaştırıldığında, % 0.20 konsantrasyonda BHA içeren B numunesinde viskozite değerlerinin nispeten daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum, yapay antioksidanın oleojel matrisinde lipid-jelatör etkileşimlerini kısmen güçlendirdiğini ve ağ yapısının daha kompakt hale gelmesine katkı sağladığını düşündürmektedir. Bununla birlikte, doğal antioksidan içeren numunelerde (H2, H4 ve H6), ekstrakt konsantrasyonuna bağlı olarak reolojik özelliklerde belirgin değişimler meydana gelmiştir. Daha yüksek düşük-kayma viskozitesi, sürülebilir ürünlerde “tok yapı” ve şekil tutma açısından avantaj sağlayabilir; ancak çok yüksek değerler ağızda sertlik algısını artırabilir. Buna karşılık daha düşük viskozite ve belirgin kayma incilmesi, sürülebilirlik ve proseslenebilirliği artırabilir (Puşcaş vd., 2020).

Kayıp modülü (G'') – Frekans ilişkisi şekil 9’ de verilmiştir. G'' –frekans grafiğinde tüm örneklerde frekans artışıyla G'' ’nin düzenli artması, dinamik deformasyon hızlandıkça sistemlerin viskoz bileşen katkısının arttığını göstermektedir. C ve B örneklerinin tüm frekans aralığında daha yüksek G'' değerleri vermesi, bu formülasyonlarda enerji sönmüleme kapasitesinin daha yüksek olduğunu; dolayısıyla viskoz yanıtın daha belirgin seyrettiğini düşündürmektedir.

Dinamik reolojik sonuçlar değerlendirildiğinde, tüm formülasyonlarda test edilen frekans aralığı boyunca $G' > G''$ ilişkisinin korunması, oleojellerin belirgin biçimde katı-benzeri (jel-benzeri) viskoelastik davranış sergilediğini ve GMS kaynaklı sürekli bir kristal ağ yapısının başarıyla oluştuğunu göstermektedir. Glycerol monostearate (GMS) ile yapılandırılmış oleojellerde, doymuş monogliseridlerin yüksek kristallığe sahip iğne-benzeri kristaller oluşturduğu ve bu kristallerin üç boyutlu bir ağ meydana getirerek elastik modülün (G') baskın hâle gelmesine yol açtığı literatürde açıkça rapor edilmiştir. Bu tür yoğun ve bağlantılı kristal ağ yapılarının mekanik dayanımı artırdığı ve enerji depolama kapasitesini yükselttiği bildirilmiştir (Rosen-Kligvasser vd., 2020; Barroso vd., 2020;). Mevcut çalışmada G' değerlerinin tüm frekans aralığında G'' ’den yüksek bulunması, GMS bazlı oleojeller için tanımlanan bu yapısal-reolojik davranış ile uyumludur.

Numuneler arasında karşılaştırma yapıldığında, kontrol (C) ve BHA içeren (B) oleojellerin G' değerlerinin daha yüksek ve frekans boyunca daha düzenli bir seyir izlemesi, bu örneklerde daha rijit ve mekanik açıdan daha stabil bir jel ağının oluştuğuna işaret etmektedir. BHA ilavesinin, lipid fazda oksidatif reaksiyonları baskımlarken GMS

kristalizasyonu ve ağ oluşumunu olumsuz etkilememesi, hatta kontrol grubu ile benzer bir elastik davranış sergilemesi, sentetik antioksidanın yapısal bütünlüğü koruyan bir katkı maddesi olarak davrandığını düşündürmektedir.



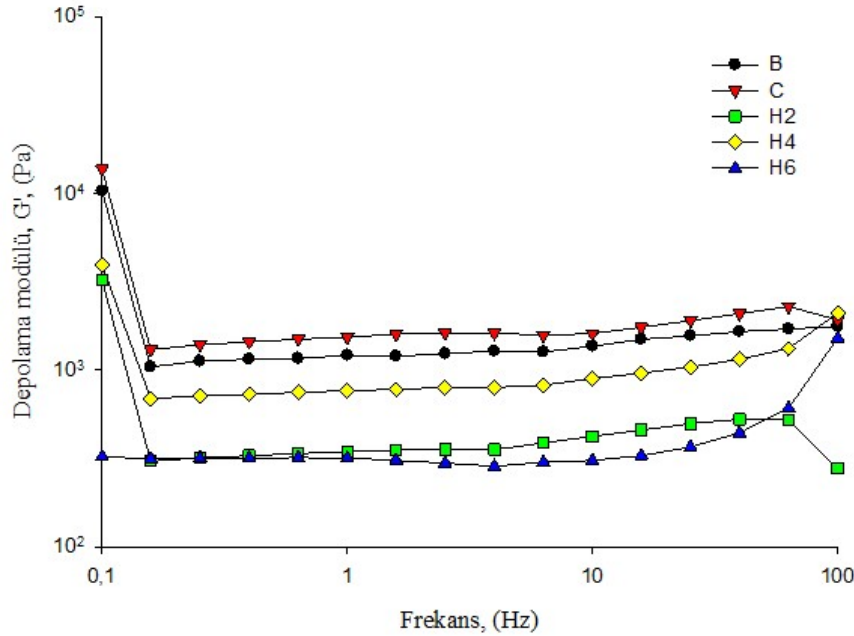
Şekil 9. Kayıp modülü (G'') – Frekans ilişkisi

Fındık zarı ekstraktı içeren oleojeller incelendiğinde, H4 (%0.40) örneğinin H2 ve H6'ya kıyasla daha yüksek G' değerleri ve daha düşük frekans duyarlılığı göstermesi, bu konsantrasyonda ekstraktın jel ağında dolgu veya etkileşim güçlendirici bir rol üstlenebildiğini düşündürmektedir. Bu durum, doğal antioksidanlarla zenginleştirilmiş oleogel sistemlerinde fonksiyonel bileşenlerin yalnızca oksidatif stabiliteyi değil, aynı zamanda ağ yapısını ve mekanik özellikleri de iyileştirebildiğini bildiren literatürle uyumludur (Alamer vd., 2025).

Buna karşılık, H6 (% 0.60) örneğinde yüksek frekanslarda modüllerde gözlenen düzensizlik ve azalma eğilimi, yüksek ekstrakt konsantrasyonunda jel ağının uygulanan gerilime ve frekansa karşı daha hassas hale geldiğini ve mekanik dayanımda bir “doygunluk sonrası zayıflama” meydana geldiğini düşündürmektedir. Bu durum, doğal ekstraktların belirli bir eşik değerin üzerinde faz davranışını, kristal-kristal temasını veya ara yüz etkileşimlerini değiştirebilmesiyle açıklanabilir (Kawee-Ai vd., 2025). Bu bulgular, doğal antioksidan ilavesinde optimum konsantrasyonun belirlenmesinin, oleojel

sistemlerinin hem yapısal stabilitesi hem de uygulama potansiyeli açısından kritik olduğunu ortaya koymaktadır.

Fındık zarı ekstraktı içeren örneklerde ise özellikle konsantrasyon arttıkça G'' 'nin azalması ve H6'da düşük frekanslarda daha sınırlı viskoz yanıt gözlenmesi, yüksek ekstrakt yükünün ağ hareketliliğini ve dolayısıyla viskoz katkıyı kısıtlaması veya ağ sürekliliğini zayıflatmasıyla ilişkili olabilir (Patel, 2015). G'' 'nin görece yüksek olması, bazı ürünlerde “kremamsılık/akışkanlık hissi” ve yayılabilirlik açısından faydalı olabilir; ancak G'' 'nin aşırı yükselmesi yapısal stabiliteyi sınırlayabilir. Bu nedenle $G'-G''$ dengesinin ürün hedefine göre ayarlanması gerekir (Puşcaş vd., 2020).



Şekil 10. Depolama Modülü (G') – Frekans İlişkisi

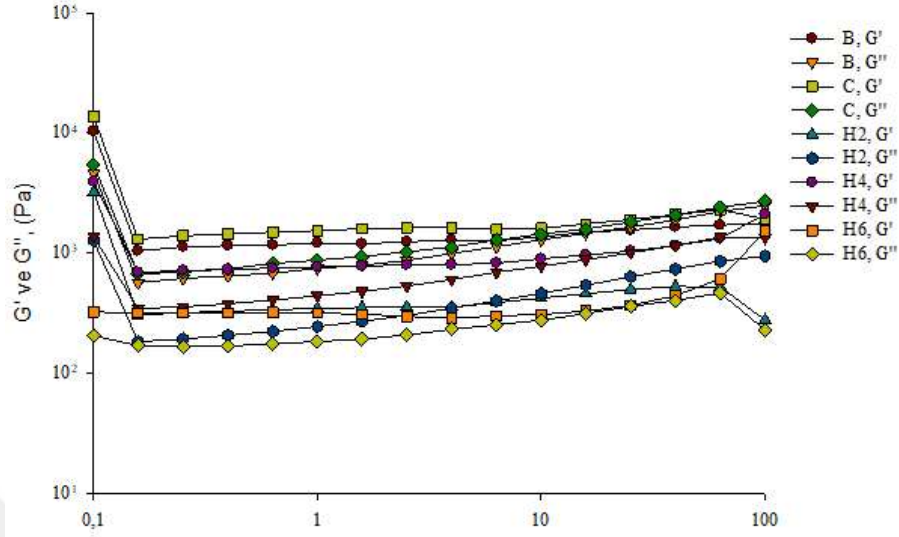
Depolama Modülü (G') – Frekans İlişkisi şekil 10' de verilmiştir. G' -frekans eğrileri, oleojellerin elastik (katı benzeri) bileşenini göstermektedir. Tüm numunelerde G' 'nin frekans boyunca G'' 'den yüksek olması, sistemlerin test aralığında jel karakterini koruduğunu ve kristal ağın başarıyla oluştuğunu doğrular. C ve B örneklerinin düşük ve orta frekanslarda daha yüksek G' değerleri göstermesi, bu örneklerde daha rijit ve mekanik olarak daha stabil bir ağ yapısına işaret eder. Ekstraktlı numuneler içinde H4 (%0.40) örneğinin H2 ve H6'ya kıyasla daha yüksek G' değerleri sergilemesi, orta konsantrasyonda ekstraktın ağ yapısını destekleyebildiğini ve “optimum konsantrasyon” yaklaşımını güçlendirdiğini düşündürmektedir. Buna karşılık H6'da yüksek frekanslarda

G''deki düzensizlik ve sınırlı düşüş, aşırı ekstrakt ilavesinin ağ bütünlüğünü olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir (Patel, 2015; Puşcaş vd., 2020). Yüksek G', özellikle fırıncılık uygulamalarında (hamur sistemlerinde şekil tutma, katı yağ benzeri yapı) avantajlı olabilir; sürülebilir ürünlerde ise hedeflenen duyuşal tekstüre göre aşırı rijitlikten kaçınmak gerekebilir (Puşcaş vd., 2020).

Dinamik frekans tarama analizlerinde tüm oleojel örneklerinde, ölçülen frekans aralığı boyunca G' değerlerinin G'' değerlerinden yüksek olması, sistemlerin baskın olarak elastik (katı benzeri) karakter sergilediğini göstermektedir. Bu bulgu, oleojellerde üç boyutlu kristal ağ yapısının başarıyla oluştuğunu ve sistemlerin mekanik olarak stabil olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer sonuçlar, GMS bazlı oleojeller üzerine yapılan önceki çalışmalarda da rapor edilmiştir (Mosquera vd., 2025).

G' ve G'''nin Birlikte Değerlendirilmesi şekil 10' de verilmiştir. G' ve G'''nin birlikte sunulduğu grafikte tüm örneklerde $G' > G''$ ilişkisi korunmuştur. Bu durum, oleojellerin incelenen frekans aralığı boyunca yapısal bütünlüğünü koruduğunu ve elastik karakterin baskın olduğunu göstermektedir. B ve C numunelerinde G'-G'' farkının daha belirgin olması, daha güçlü ve stabil bir jel ağına işaret ederken; ekstraktlı örneklerde bu farkın konsantrasyona bağlı olarak değişmesi, fenolik bileşiklerin ağ mimarisini modüle ettiğini düşündürmektedir. Özellikle H4'te elastik-viskoz bileşenlerin daha dengeli seyretmesi, yapısal stabilite ile proseslenebilirlik arasında daha uygun bir denge sağlandığını; H6'da farkın azalması ise ağın zayıflayıp frekansa daha duyarlı hale geldiğini göstermektedir (Patel, 2015).

Fındık zarı ekstraktı içeren numuneler incelendiğinde, H2 (%0.20) ve H4 (%0.40) örneklerinde G' değerlerinin kontrol grubuna kıyasla arttığı görülmektedir. Bu artış, fenolik bileşiklerin jel ağına dolgu (filler) benzeri bir etki göstererek kristal yapıların etkileşimini güçlendirdiğini ve elastik davranışı desteklediğini düşündürmektedir. Ancak ekstrakt konsantrasyonunun %0.60'a çıkarıldığı H6 numunesinde, G' değerlerinde sınırlı bir azalma veya frekansa duyarlılığın artması, yüksek fenolik yükün jelatör-lipid etkileşimlerini kısmen bozabileceğine işaret etmektedir. Literatürde, bitkisel ekstraktların yüksek konsantrasyonlarda jel ağ yapısında düzensizliğe neden olabileceği ve bu durumun viskoelastik stabiliteyi olumsuz etkileyebileceği bildirilmektedir (Tunç ve Odabaş, 2021; Mosquera vd., 2025).



Şekil 11. G' ve G'' 'nin Birlikte Değerlendirilmesi

Tüm reolojik veriler birlikte değerlendirildiğinde, oleojellerin güçlü bir jel yapısı geliştirdiği; ancak bu yapının antioksidan türü ve özellikle doğal ekstrakt konsantrasyonuna duyarlı olduğu anlaşılmaktadır. BHA ilavesi (B), kontrol grubu (C) ile benzer şekilde yüksek viskozite ve yüksek G' ile daha rijit bir ağ yapısını işaret ederken; fındık zarı ekstraktı orta konsantrasyonda (özellikle H4) yapıyı destekleyebilmekte, daha yüksek konsantrasyonda (H6) ise ağ bütünlüğünde zayıflama eğilimi ortaya çıkabilmektedir. Bu sonuçlar, fındık zarı gibi polifenolce zengin yan ürünlerin yalnızca oksidatif stabiliteyi değil, aynı zamanda oleojelin mekanik/tekstürel özelliklerini de etkileyen “yapısal” bir bileşen gibi davranabileceğini göstermektedir (Alasalvar vd., 2009; Puşças vd., 2020). Dolayısıyla endüstriyel hedef (fırıncılıkta yapı dayanımı mı, sürülebilir ürünlerde yumuşaklık mı, yoksa ikisi arasında denge mi) doğrultusunda ekstrakt konsantrasyonunun optimizasyonu kritik görünmektedir.

Fındık zarı ekstraktı ilavesinin fındık yağı bazlı oleojellerin stabilitesi üzerindeki etkileri, gerçekleştirilen oksidatif, fizikokimyasal, reolojik ve spektroskopik analizler birlikte değerlendirildiğinde belirgin ve çok yönlü bir iyileşmeye işaret etmektedir. Özellikle depolama süresince asitlik, peroksit ve TBARS değerlerinde gözlenen daha sınırlı artışlar, fındık zarı ekstraktının lipid oksidasyonunun hem başlangıç hem de ilerleyen aşamalarını baskılayabildiğini göstermektedir. Bu bulgu, fındık zarının yüksek fenolik içeriğinin serbest radikal süpürücü ve hidroperoksit bozunmasını yavaşlatıcı etkileriyle açıklanabilir. Ransimat analizlerinde indüksiyon süresinin ekstrakt içeren örneklerde uzaması da bu yorumu desteklemekte; fındık zarı ekstraktının oleojel

sistemine dahil edilmesinin oksidatif stabiliteyi artıran doğal bir antioksidan strateji sunduğunu ortaya koymaktadır.

Olejellerin fiziksel stabilitesi açısından değerlendirildiğinde, fındık zarı ekstraktı ilavesinin yağ tutma kapasitesi ve reolojik davranış üzerinde de etkili olduğu görülmektedir. Ekstrakt içeren örneklerde yağ tutma kapasitesinin korunması ve bazı formülasyonlarda artış göstermesi, fenolik bileşenlerin GMS–yağ kristal ağı içerisinde fiziksel etkileşimler yoluyla ağ yapısını desteklediğini düşündürmektedir. Reolojik analizlerde elastik modülün (G') baskınlığını koruması, oleojellerin katı benzeri davranışını sürdürdüğünü; ekstrakt ilavesinin jel yapısını zayıflatmadığını, aksine mikro yapıda daha düzenli bir ağ oluşumuna katkı sağlayabildiğini göstermektedir. Bu durum, polifenollerin kristal çekirdeklenmesi ve kristal–kristal etkileşimleri üzerinde dolaylı bir rol oynayabileceğini bildiren literatürle uyumludur.

FTIR analizleri, fındık zarı ekstraktının oleojel matrisiyle etkileşimine ilişkin moleküler düzeyde önemli ipuçları sunmaktadır. $1650\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$ aralığında aromatik halka titreşimlerine karşılık gelen bantların şiddetinde gözlenen artış, ekstrakt kaynaklı aromatik fenolik bileşenlerin oleojel sistemine konsantrasyona bağlı olarak entegre edildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, oleojellerde lipid bantlarının baskın karakteri nedeniyle bu artışların sınırlı düzeyde kalması beklenen bir durumdur ve fenoliklerin kimyasal bağ oluşturmaktan ziyade fiziksel olarak matrise dahil olduğunu düşündürmektedir. Benzer şekilde, $1200\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$ “parmak izi” bölgesinde C–O ve C–O–C titreşimlerine ait bantların belirginleşmesi, fenolik ve olası polisakkarit kökenli bileşenlerin GMS–yağ kristal ağı içerisinde mikro yapısal düzenlenmelere yol açtığını desteklemektedir. Bu değişimler, oleojel sistemlerinde katkı maddesi–matris etkileşimlerinin çoğunlukla supramoleküler düzeyde gerçekleştiğini bildiren çalışmalarla uyumludur.

Renk analizleri incelendiğinde, fındık zarı ekstraktı ilavesinin oleojellerin L^* , a^* ve b^* parametrelerinde sınırlı ancak sistematik değişimlere neden olduğu görülmektedir. Bu durum, ekstraktın doğal pigment ve fenolik içeriğinin oleojel matrisi içerisinde homojen biçimde dağılabildiğini; buna karşın ürünün görsel kabulünü olumsuz yönde etkileyecek düzeyde bir renk bozulmasına yol açmadığını göstermektedir. Bu bulgu, fındık zarı gibi koyu renkli yan ürünlerin fonksiyonel bileşen olarak kullanımında sıklıkla dile getirilen duyuusal kaygıların, uygun konsantrasyonlarda kontrol altına alınabileceğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, fındık zarı ekstraktının fındık yağı oleojellerinde yalnızca oksidatif stabiliteyi artıran bir doğal antioksidan olarak değil; aynı zamanda

oleojel ağ yapısının fiziksel bütünlüğünü koruyan ve mikro yapıyı dolaylı olarak modüle eden fonksiyonel bir bileşen olarak davrandığı söylenebilir. Bununla birlikte, FTIR sonuçlarının da gösterdiği üzere bu etki kimyasal bağlanmadan ziyade fiziksel entegrasyon ve supramoleküler etkileşimler yoluyla gerçekleşmektedir. Bu durum, fındık zarı ekstraktının oleojel sistemlerinde yüksek konsantrasyonlara çıkılmadan, dengeli ve kontrollü kullanılması gerektiğine işaret etmektedir.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, gliserol monostearat (GMS) ile yapılandırılmış fındık yağı bazlı oleojellere farklı konsantrasyonlarda (%0.20, %0.40 ve %0.60) fındık zarı ekstraktı (FZE) ilavesinin, oleojellerin oksidatif stabilitesi, fizikokimyasal özellikleri ve reolojik davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, fındık zarı ekstraktının oleojel sistemlerinde doğal ve fonksiyonel bir bileşen olarak değerlendirilebileceğini açıkça ortaya koymuştur.

Depolama süresi boyunca tüm örneklerde oksidatif parametrelerde (asitlik, peroksit değeri ve TBARS) artış gözlenmiş olmakla birlikte, bu artışın fındık zarı ekstraktı içeren oleojellerde kontrol örneğine kıyasla anlamlı düzeyde daha düşük olduğu belirlenmiştir. Özellikle % 0.60 oranında ekstrakt içeren oleojel örnekleri, daha düşük peroksit ve TBARS değerleri ile daha uzun Ransimat indüksiyon süreleri sergileyerek oksidatif açıdan en stabil formülasyon olarak öne çıkmıştır. Bu durum, fındık zarının fenolik bileşiklerce zengin yapısının lipid oksidasyonunu geciktirici etkisini doğrulamaktadır. Elde edilen sonuçlar, sentetik antioksidan (BHA) içeren örneklerle karşılaştırıldığında, fındık zarı ekstraktının doğal bir alternatif olarak benzer hatta bazı parametrelerde daha üstün performans gösterebildiğini ortaya koymuştur.

Yağ tutma kapasitesi sonuçları, ekstrakt ilavesiyle birlikte oleojel ağ yapısının güçlendiğini göstermiştir. Özellikle yüksek ekstrakt konsantrasyonlarında yağ bağlama kapasitesindeki artış, oleojel matrisi içerisinde daha kompakt ve stabil bir üç boyutlu yapı oluştuğuna işaret etmektedir. Buna paralel olarak FTIR analizlerinde, ekstrakt bileşenlerinin oleojel matrisiyle kimyasal bağ oluşturmaksızın, fiziksel etkileşimler yoluyla sisteme entegre olduğu belirlenmiş; parmak izi ve aromatik bölgelerde gözlenen bant değişimleri bu etkileşimleri desteklemiştir.

Reolojik analiz sonuçları, çalışmanın önemli bulgularından birini oluşturmuştur. Viskozite–kayma hızı eğrileri incelendiğinde, tüm oleojel örneklerinin artan kayma hızı ile birlikte viskozitelerinin azaldığı belirlenmiş ve sistemlerin psödoplastik (kayma incilmesi gösteren) akış davranışı sergilediği ortaya konulmuştur. Düşük kayma hızlarında gözlenen yüksek viskozite değerleri, oleojellerin güçlü ve organize bir kristal ağ yapısına sahip olduğunu; yüksek kayma hızlarında ise bu ağın kademeli olarak bozulduğunu göstermektedir. Fındık zarı ekstraktı ilavesinin, oleojellerin akış davranışını olumsuz yönde etkilemediği; aksine, özellikle düşük kayma hızlarında viskoziteyi artırarak yapısal bütünlüğü desteklediği belirlenmiştir. Bu durum, ekstraktın oleojel

sistemlerinde katı benzeri davranışı koruyan ve mekanik stabiliteyi destekleyen bir bileşen olarak işlev gördüğünü ortaya koymaktadır.

Renk analizleri incelendiğinde, ekstrakt ilavesine bağlı olarak L^* , a^* ve b^* parametrelerinde sınırlı değişimler gözlenmiştir; bu değişimlerin ekstraktın doğal pigment içeriğinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, renk değişimlerinin duyuusal açıdan olumsuz bir etki oluşturabilecek düzeyde olmadığı ve ürün kabul edilebilirliğini sınırlamadığı belirlenmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, fındık zarı ekstraktının fındık yağı oleojellerinde oksidatif stabiliteyi artıran, yağ bağlama kapasitesini güçlendiren ve reolojik açıdan katı benzeri davranışı koruyan doğal bir fonksiyonel bileşen olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, fındık zarı gibi gıda sanayi yan ürünlerinin katma değerli, sağlıklı ve sürdürülebilir yağ sistemlerinde değerlendirilmesine yönelik önemli bilimsel kanıtlar sunmaktadır.

Gelecek çalışmalarda;

- Fındık zarı ekstraktı içeren oleojellerin farklı gıda matrislerinde (fırın ürünleri, sürülebilir ürünler, şekerleme ve et ürünleri) kullanım potansiyelinin araştırılması,
- Daha uzun depolama sürelerinde oksidatif ve reolojik stabilitenin izlenmesi,
- Fındık zarı ekstraktının biyoerişilebilirlik ve sindirim simülasyonları ile değerlendirilmesi,
- Farklı oleojelatörler ve ekstrakt kombinasyonlarıyla sinerjik etkilerin incelenmesi önerilmektedir.

Bu kapsamda elde edilen bulguların hem akademik literatüre hem de doğal antioksidan içeren fonksiyonel yağ ürünlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Aktaş, A. B., Erdal, M. M., Kaya, D. ve Aycan Yiğit, F. (2021). Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi kullanılarak kızartma yağlarındaki kimyasal değişimlerin incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (European Journal of Science and Technology)*, (Özel Sayı 32), 542–547. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1040464>
- Alamer, H. A., Kamel, R. M., Shawir, S. M., Salama, M. A. ve Barakat, E. H. (2025). Utilizing phenolic-enriched sunflower Oleogels and Emulgels as fat replacers: impact on burger oxidative stability, texture, and sensory attributes. *OCL*, 32, 21. <https://doi.org/10.1051/ocl/2025017>
- Alasalvar, C., Karamać, M., Amarowicz, R. ve Shahidi, F. (2006). Antioxidant and antiradical activities in extracts of hazelnut kernel (*Corylus avellana* L.) and hazelnut green leafy cover. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(13), 4826-4832.
- Alasalvar, C., Pelvan, E. ve Amarowicz, R. (2010). Effects of roasting on taste-active compounds of hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(15), 8674–8679. <https://doi.org/10.1021/jf101039f>
- Alvarez, M. D., Cofrades, S., Espert, M., Sanz, T. ve Salvador, A. (2021). Development of chocolates with improved lipid profile by replacing cocoa butter with cocoa oleogel. *Gels*, 7(4), 220. <https://doi.org/10.3390/gels7040220>
- Baladura, E. ve Şimşek, B. (2014). Doğal Antioksidanlar ve Süt ve Süt Ürünlerinde Kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(2), 155–162.
- Barroso, N. G., Okuro, P. K., Ribeiro, A. P. ve Cunha, R. L. (2020). Tailoring properties of mixed-component oleogels: Wax and monoglyceride interactions towards flaxseed oil structuring. *Gels*, 6(1), 5. <https://doi.org/10.3390/gels6010005>
- Boğa, A. ve Binokay, S. (2010). Gıda Katkı Maddeleri ve Sağlığımıza Etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 19(3), 141–154.
- Bozkurt, F. ve Baştürk, A. (2018). Farklı depolama sıcaklıklarının kahvaltılık ve mutfak margarinlerinin oksidatif stabiliteleri üzerine etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(1), 103–111. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.385607>
- Caimari, A., Puiggròs, F., Suárez, M., Crescenti, A., Laos, S., Ruiz, J. A., ... Arola, L. (2015). The intake of a hazelnut skin extract improves the plasma lipid profile in

- hamsters fed a high-fat diet. *Food Chemistry*, 167, 138–144.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.072>
- Cheng, A., Wan, F., Xu, T., Du, F., Wang, W. ve Zhu, Q. (2011). Effect of irradiation and storage time on lipid oxidation of chilled pork. *Radiation Physics and Chemistry*, 80(3), 475–480.
- Choe, E. ve Min, D. B. (2006). Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(4), 169–186.
<https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x>
- Choi, K. O., Hwang, H. S., Jeong, S., Kim, S. ve Lee, S. (2020). The thermal, rheological, and structural characterization of grapeseed oil oleogels structured with binary blends of oleogelators. *Journal of Food Science*, 85(10), 3432–3441.
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.15442>
- Chowdhury, B., Sharma, A., Akshit, F. N. U., Mohan, M. S., Salunke, P. ve Anand, S. (2024). A review of oleogel applications in dairy products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(26), 9691–9709.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2215871>
- Ciuffarin, F., Alongi, M., Peressini, D., Barba, L., Lucci, P. ve Calligaris, S. (2023). Role of the polyphenol content on the structuring behavior of liposoluble gelators in extra virgin olive oil. *Food Chemistry*, 412, Article 135572.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135572>
- Coates, J. (2000). *Kızılötesi spektrumların yorumlanması, pratik bir yaklaşım*. Analitik Kimya Ansiklopedisi, 12, (ss. 10815-10837).
- Çelebi, K. (2022). *Ayçiçeği yağının termal oksidatif stabilitesi üzerine şerbetçiotu yağının etkisi: Effect of hops oil on thermal oxidative stability of sunflower oil. Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi*.
- Davidovich-Pinhas, M. (2018). Oleogels. In *Polymeric gels* (ss. 231–249). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102179-8.00008-9>
- Del Rio, D., Calani, L., Dall'Asta, M. ve Brighenti, F. (2011). Polyphenolic composition of hazelnut skin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(18), 9935–9941
- Demirkesen, I. ve Mert, B. (2020). Fırın ürünlerinde oleogel kullanımlarının son gelişmeleri. *Gıda Bilimi ve Beslenme Alanında Eleştirel İncelemeler*, 60(14), 2460–2479. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1649243>
- Dinkçi, N., Aktaş, M., Akdeniz, V. ve Sirbu, A. (2021). The influence of hazelnut skin addition on quality properties and antioxidant activity of functional yogurt. *Foods*, 10(11), 2855. <https://doi.org/10.3390/foods10112855>

- Durmus, Y., Anil, M. ve Simsek, S. (2021). Effects of hazelnut skin, cross-linked starch, and oxidized starch on wheat flour and dough quality. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14919>
- Dursun, G. ve Mutlu Keçeci, T. (2020). Bitkisel yağlardan organojelasyon yöntemi ile yapılandırılmış yemeklik yağ üretilmesi. *Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 39(8).
- Dursun Saydam, D. ve Varol, M. B. (2023). Probiyotikler için yeni bir koruma ve taşıma sistemi: Oleojelasyon işlemi. *BİLTEK-VIII International Symposium on Current Developments in Science, Technology and Social Sciences* (ss. 725–730), 24–26 Ekim 2023, Paris, Fransa
- Esper, M., Hernández, M. J., Sanz, T. ve Salvador, A. (2021). Reduction of saturated fat in chocolate by using sunflower oil–hydroxypropyl methylcellulose–based oleogels. *Food Hydrocolloids*, Article 106917. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106917>
- Farag, R. S., El-Baroty, G. S. ve Basuny, A. M. (2003). The influence of phenolic extracts obtained from the olive plant on the stability of sunflower oil. *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 81–87.
- Ferrão, A. C., Guiné, R. P. F., Ramalhosa, E., Lopes, A., Rodrigues, C., Martins, H., ... Correia, P. M. R. (2021). Chemical and physical properties of some hazelnut varieties grown in Portugal. *Agronomy*, 11, 1476. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081476>
- Ferro, A. C., Okuro, P. K., Badan, A. P. ve Cunha, R. L. (2019). Role of the oil on glyceryl monostearate–based oleogels. *Food Research International*, 120, 610–619. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.11.013>
- Frankel, E. N. (1984). Lipid oxidation: mechanisms, products and biological significance. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 61(12), 1908-1917. <https://doi.org/10.1007/BF02540830>
- Gao, Y., Cui, N., Liu, J., Ma, Q., Zhao, T., Yang, Z. ... Liang, L. (2022). Application of metabolomics to explore the automatic oxidation process of hazelnut oil. *Food Research International*, 162, 111888.
- Gunstone, F. D., Harwood, J. L. ve Dijkstra, A. J. (2007). *The lipid handbook* (3. Baskı). CRC Press
- Gu, Y., Shi, L., Wu, J., Hu, S., Shang, Y., Hassan, M. ve Zhao, C. (2024). Quantitative Prediction of Acid Value of Camellia Seed Oil Based on Hyperspectral Imaging

- Technology Fusing Spectral and Image Features. *Foods*, 13(20), 3249. <https://doi.org/10.3390/foods1320324>
- Han, J., Sun, R., Zeng, X., Zhang, J., Xing, R., Sun, C. ve Chen, Y. (2020). Rapid classification and quantification of camellia (*Camellia oleifera* Abel.) oil blended with rapeseed oil using FTIR-ATR spectroscopy. *Molecules*, 25(9), 2036. <https://doi.org/10.3390/molecules25092036>
- He, Q., Yan, Y., Wu, Y., Bai, F., Peng, C., Hou, R., ... Cai, H. (2023) Preparation and analysis of selenium-enriched oleogels: Preliminary evaluation of antioxidant activity and inhibition of fatty acids release, *LWT – Food Science and Technology*, 186, 115203.
- Hwang, H.-S., Singh, M., Winkler-Moser, J. K., Bakota, E. L. ve Liu, S. X. (2014). Margarine from organogels of sunflower wax and vegetable oil. *Journal of Food Science*, 79(10), C1926–C1935. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12596>
- Jeong, S., Lee, S. ve Oh, I. (2021). Development of antioxidant-fortified oleogel and its application as a solid fat replacer to muffin. *Foods*, 10(12), 3059. <https://doi.org/10.3390/foods10123059>
- Jiang, J., Liang, L., Ma, Q. ve Zhao, T. (2021). Kernel nutrient composition and antioxidant ability of *Corylus* spp. in China. *Crop and Product Physiology Volume 12 – 2021*
- Kawee-Ai, A. (2025). Advancing Gel Systems with Natural Extracts: Antioxidant, Antimicrobial Applications, and Sustainable Innovations. *Gels*, 11(2), 125. <https://doi.org/10.3390/gels11020125>
- Keskin Uslu, E. ve Yılmaz, E. (2019). Protein emülsiyon ağıyla yapılandırılmış oleojeller. *Akademik Gıda*, 17(3), 410–416. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.647730>
- Kıralan, M. (2006). Ayçiçek Yağının Oksidatif Stabilitesi Üzerine Isırgan (*Urtica dioica* L.), Keten (*Linum usitatissimum* L.), Kişniş (*Coriandrum sativum* L.) ve Çörekotu (*Nigella sativa* L.) Tohum Ekstraktlarının Etkileri. *Ankara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Ankara*
- Kırca, L., Bak, T., Kırca, S. ve Karadeniz, T. (2018). Fındığın kullanım alanları ve insan sağlığına etkileri. *Bahçe*, 47(Özel Sayı 2) 1. Uluslararası Tarım Kongresi, (ss. 292-299).
- Król, K. ve Gantner, M. (2020). Morphological traits and chemical composition of hazelnut from different geographical origins. *Agriculture*, 10(9), 375. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090375>

- Li, L., Liu, G., Bogojevic, O., Pedersen, J. N. ve Guo, Z. (2022). Edible oleogels as solid fat alternatives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(3), 2077–2104. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12928>
- Liu, X., Zheng, Z. ve Liu, Y. (2025). Lipophilic antioxidants in edible oils: Mechanisms, applications and interactions. *Food Research International*, 200, 115423.
- Lu, Y., Zhong, Y., Guo, X., Zhang, J., Gao, Y. ve Mao, L. (2022). Structural modification of O/W bigels by glycerol monostearate for improved co-delivery of curcumin and epigallocatechin gallate. *ACS Food Science and Technology*, 2(6), 975–983. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.2c00044>
- Manzoor, S., Mesudi, F. A., Naqash, F. ve Rashid, R. (2022). Oleogels: Promising alternatives to solid fats for food applications. *Food Science and Human Wellness*. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2022.100058>
- Marangoni, A. G. ve Garti, N. (2018). *Edible oleogels: Structure and health implications*. AOCS Press
- Martins, A. J., Vicente, A. A., Cunha, R. L. ve Cerqueira, M. A. (2018). Edible oleogels: An opportunity for fat replacement in foods. *Food and function*, 9(2), 758-773.
- Martins, A. J., Vicente, A. A., Pastrana, L. M. ve Cerqueira, M. A. (2020). Oleogels for development of health-promoting food products. *Food Science and Human Wellness*, 9(1), 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.12.001>
- Mosquera, Á., Montes, L., Pena, C. A., López-Pedrouso, M., Sineiro, J. ve Franco, D. (2025). Chitosan–olive oil oleogels for food applications. *Foods*, 14(19), 3332. <https://doi.org/10.3390/foods14193332>
- Murari, S. K. ve Shwetha, M. V. (2016). Effect of antioxidant butylated hydroxyl anisole on the thermal or oxidative stability of sunflower oil (*Helianthus Annuus*) by ultrasonic. *Journal of food science and technology*, 53(1), 840-847.
- Odabaş, H. İ. ve Koca, I. (2016). Application of response surface methodology for optimizing the recovery of phenolic compounds from hazelnut skin using different extraction methods. *Industrial Crops and Products*, 91, 114–124.
- Oğuz, M., Akar, B. ve Baltacı, C. (2023). Physicochemical Analysis of Pomegranate Sours Produced by Traditional Method in Türkiye and The Investigation of Antioxidant Properties. *Hittite Journal of Science and Engineering*, 10(2), 125-134.
- Ögütçü, M. ve Yılmaz, E. (2015). Characterization of hazelnut oil oleogels prepared with sunflower and carnauba waxes. *International Journal of Food Properties*, 18(8), 1741–1755. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.933352>

- Pan, L. H., Wu, X. L., Luo, S. Z., He, H. Y. ve Luo, J. P. (2020). Effects of tea polyphenol esters with different fatty acid chain lengths on the preparation of camellia oil-based oleogels and their application in cookies. *Journal of Food Science*, 85(8), 2461–2469. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15341>
- Patel, A. R. (Ed.). (2017). *Edible oil structuring*. Royal Society of Chemistry.
- Patel, A. R., Cludts, N., Sintang, M. D. B., Lesaffer, A. ve Dewettinck, K. (2014). Edible oleogels based on water-soluble food polymers: Preparation, characterization and potential application. *Food and Function*, 5, 2833–2841. <https://doi.org/10.1039/C4FO00624K>
- Patel, A. R., ve Dewettinck, K. (2016). Edible oil structuring: an overview and recent updates. *Food and Function*, 7(1), 20–29. <https://doi.org/10.1039/C5FO01006C>
- Pelvan, E., Alasalvar, C. ve Uzman, S. (2012). Effects of roasting on antioxidant status and phenolic profiles of commercial Turkish hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(5), 1214–1223. <https://doi.org/10.1021/jf204893x>
- Pelvan, E., Öktem Olgun, E., Karadağ, A. ve Alasalvar, C. (2018). Phenolic profiles and antioxidant activity of Turkish Tombul hazelnut samples (natural, roasted, and roasted hazelnut skin). *Food Chemistry*, 244, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.011>
- Pérez-Palacios, T. ve Estévez, M. (2020). Analysis of lipids and lipid oxidation products. *Meat Quality Analysis*, 217-239. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819233-7.00013-6>
- Pintado, T., Muñoz-González, I., Salvador, M., Ruiz-Capillas, C. ve Herrero, A. M. (2021). Phenolic compounds in emulsion gel-based delivery systems applied as animal fat replacers in frankfurters: Physico-chemical, structural and microbiological approach. *Food Chemistry*, 340, 128095. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128095>
- Prodromidis, P., Biliaderis, C. G., Katsanidis, E. ve Moschakis, T. (2023). Effect of tween 20 on structure, phase-transition behavior and mechanical properties of monoglyceride oleogels. *Food Structure*, 38, 100345. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2023.100345>
- Puşcaş, A., Mureşan, V., Socaci, C. ve Muste, S. (2020). Oleogels in food: A review of current and potential applications. *Foods*, 9(1), 70, 1-27. <https://doi.org/10.3390/foods9010070>

- Qiu, C., Huang, Y., Li, A., Ma, D. ve Wang, Y. (2018). Fabrication and characterization of oleogel stabilized by gelatin–polyphenol–polysaccharides nanocomplexes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(50), 13243–13252. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02039>
- Qu, K., Ma, J., Zhang, H. ve Li, X. (2024). Characterization of construction and physical properties of composite oleogel based on single low molecular weight wax and polymer ethyl cellulose. *Lwt*, 192, 115722. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115722>
- Rogers, M. A., Auzanneau, F. I. ve Marangoni, A. G. (2018). Advances in edible oleogel technologies. *Food Research International*, 110, 76–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.001>
- Rosen-Kligvasser, J., Davidovich-Pinhas, M. ve Lesmes, U. (2020). The role of hydrogen bonds in TAG derivative-based oleogel structure and properties. *Food Chemistry*, 334, 127585. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127585>.
- Sabet, S., Pinto, T. C., Kirjoranta, S. J., Kazerani Garcia, A., Valoppi, F. ve Flöter, E. (2023). Clustering of oleogel production methods reveals pitfalls and advantages for sustainable and upscalable oleogels. *Journal of Food Engineering*, 357, 111659. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111659>
- Scharfe, M. ve Flöter, E. (2020). Oleogelation: From scientific feasibility to applicability in food products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 122(12), Article 2000213. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202000213>
- Schmedes, A. ve Hølmer, G. (1989). A new thiobarbituric acid (TBA) method for determining free malondialdehyde (MDA) and hydroperoxides selectively as a measure of lipid peroxidation. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 66(6), 813–817. <https://doi.org/10.1007/BF02653674>
- Shahidi, F. ve Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of functional foods*, 18, 820-897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- Shahidi, F. ve Zhong, Y. (2010). Lipid oxidation and improving the oxidative stability. *Chemical society reviews*, 39(11), 4067-4079.
- Shantha, N. C. ve Decker, E. A. (1994). Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. *Journal of AOAC International*, 77(2), 421–424.

- Silva, T. J., Barrera-Arellano, D. ve Ribeiro, A. P. B. (2021). Oleogel-based emulsions: Concepts, structuring agents, and applications in food. *Journal of Food Science*, 86(7), 2785-2801. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15788>
- Singh, A., Auzanneau, F.-I. ve Rogers, M. A. (2017). Advances in edible oleogel technologies. *Food Research International*, 97, 307–317. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.022>.
- Sivakanthan, S., Fawzia, S., Mundree, S., Madhujith, T. ve Karim, A. (2024). Investigation of the influence of minor components and fatty acid profile of oil on properties of beeswax and stearic acid-based oleogels. *Food Research International*, 184, 114213. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114213>
- Socrates, G. (2004). *Infrared and Raman characteristic group frequencies: tables and charts*. John Wiley and Sons.
- Şahin, S., Kılıç, Ö., Şengül, S. ve Perçin, S. (2019). Farklı illerden temin edilen fındık zarının bileşimi ve antioksidan etkinliğinin araştırılması. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(1), 27-35.
- Şahin, S., Tonkaz, T. ve Yarılgâç, T. (2022). Farklı ülkelerde yetiştirilmiş fındıkların antioksidan kapasitesi, fenolik içeriği ve kimyasal kompozisyonu. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2), 262–270. <https://doi.org/10.33462/jotaf.893244>
- Thakur, D., Singh, A., Suhag, R., Dhiman, A. ve Chauhan, D. S. (2023). Oleogelation based on plant waxes: Characterization and food applications. *Journal of Food Science and Technology*, 60(12), 2927-2944.
- Trapp, L., Schacht, H., Eymann, L., vd. (2023). Oil mobility in hazelnut oil-based oleogels studied by NMR. *Applied Magnetic Resonance*, 54, 1445–1462. <https://doi.org/10.1007/s00723-023-01571-6>
- Tunç, M. T. ve Odabaş, H. İ. (2021). Single-step recovery of pectin and essential oil from lemon waste by ohmic heating assisted extraction/hydrodistillation: A multi-response optimization study. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 74, 102850. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102850>
- Türk Standartları Enstitüsü. (2009). *TS EN ISO 660: Hayvansal ve bitkisel katı ve sıvı yağlar – Asit sayısı ve asit tayini*. Ankara: TSE.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2017). *TS EN ISO 3960: Peroksit değeri tayini*. TSE.
- Uncu, O., Ozen, B., ve Tokatli, F. (2019). Use of FTIR and UV–visible spectroscopy in determination of chemical characteristics of olive oils. *Talanta*, 201, 65–73.
- Velasco, J. ve Dobarganes, C. (2002). Oxidative stability of virgin olive oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(9-10), 661-676.

- Wali, M. K., Al-Alwani, D. H., Abed, M. M., Rahma, M. I., Dirwal, A. R., Ghazi, H. H. ... ve Obied, W. F. (2025). Antioxidant and antimicrobial effect of butylated hydroxyanisole and carnosic acid on lamb meat under refrigerated storage. *Open Veterinary Journal*, 15(7), 3300.
- Wang, G.-S., Chen, H.-Y., Feng, G.-X., Yuan, Y., Wan, Z.-L., Guo, J., ... Yang, X.-Q. (2023). Polyphenol-enriched protein oleogels as potential delivery systems of omega-3 fatty acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(1). <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c06348>
- Wang, Q., Zhang, F., Wang, S., Chen, W., Li, X., Hao, J. ... Sun, B. (2025). The fabrication, microstructure, rheological properties and interactions of soft solid oleogels of hazelnut oil body. *Food Hydrocolloids*, 159, 110711. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110711>
- Wang, X., Wang, S., Nan, Y. ve Liu, G. (2021). Production of margarines rich in unsaturated fatty acids using oxidatively stable vitamin C-loaded oleogels. *Oleo Science*, 70.
- Wijarnprecha, K., de Vries, A., Santiwattana, P., Sonwai, S. ve Rousseau, D. (2019). Microstructure and rheology of oleogel-stabilized water-in-oil emulsions containing crystal-stabilized droplets as active fillers. *LWT – Food Science and Technology*, 115, 108058. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.059>
- Wongsa, P., Phatikulrungsun, P. ve Prathumthong, S. (2022). FT-IR characteristics, phenolic profiles and inhibitory potential against digestive enzymes of 25 herbal infusions. *Scientific Reports*, 12(1), 6631.
- Yang, S., Li, G., Saleh, A. S., Yang, H., Wang, N., Wang, P. ... ve Xiao, Z. (2017). Functional characteristics of oleogel prepared from sunflower oil with β -sitosterol and stearic acid. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(9), 1153-1164.
- Zhang, R., Zhang, Y., Yu, J., Gao, Y. ve Mao, L. (2022). Rheology and tribology of ethylcellulose-based oleogels and W/O emulsions as fat substitutes: Role of glycerol monostearate. *Foods*, 11, 2364. <https://doi.org/10.3390/foods11152364>
- Zhao, J., Wang, X., Lin, Z. ve Lin, H. (2023). Hazelnut and its by-products: A comprehensive review of nutrition, phytochemical profile, extraction, bioactivities and applications. *Food Chemistry*, 413, 135576. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135576>

ÖZGEÇMİŞ

Hilal YEŞİLYURT BOSTAN, 2016 yılında Hacettepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Aynı yıl fındık sektöründe faaliyet gösteren özel bir şirkette Mikrobiyoloji Laboratuvar Sorumlusu olarak çalışmaya başlamıştır. İlerleyen süreçte aynı kurumda Gıda Güvenliği Ekip Lideri olarak görev almış olup, hâlen bu görevini sürdürmektedir.

