T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EMÜLSİYON ŞABLON YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN OLEOJELLER İLE KREMA FORMÜLASYONU GELİŞTİRİLMESİ

Hande KEMER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Gıda Mühendisliği Programı

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK

Eş Danışman
Prof. Dr. Salih KARASU

Temmuz, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EMÜLSİYON ŞABLON YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN OLEOJELLER İLE KREMA FORMÜLASYONU GELİŞTİRİLMESİ

Hande KEMER tarafından hazırlanan tez çalışması 11.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK	Prof. Dr. Salih KARASU
Yıldız Teknik Üniversitesi	Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman	Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK
Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Nur ÇEBİ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Ezgi GENÇ YILMAZ, Üye
İstanbul Gelişim Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Emülsiyon Şablon Yöntemiyle Elde Edilen Oleojeller İle Krema Formülasyonu Geliştirilmesi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Hande KEMER

İmza

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sürecinin her aşamasında bilgi, ilgi ve desteğini esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Hazal Tekin Çakmak'a ve engin bilgileriyle yol gösteren Prof. Dr. Salih Karasu'ya teşekkür ederim.

Akademik ve kişisel yaşamım boyunca her zaman yanımda olan başta annem Esra Kemer ve kardeşim Gözde Kemer'e en derin teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca yanımda olup beni motive eden ve destek veren Umut Çakır'a teşekkür ederim.

Çalışmam süresince yöneticim Büşra Erdemir'e ve birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum ekip arkadaşlarıma destekleri için teşekkür ederim.

Hande KEMER

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ **vii**

KISALTMA LİSTESİ **viii**

ŞEKİL LİSTESİ **x**

TABLO LİSTESİ **xi**

ÖZET **xii**

ABSTRACT **xiv**

1 GİRİŞ **1**

1.1 Literatür Özeti 2

1.1.1 Palm Yağı 2

1.1.2. Ayçiçek Yağı 6

1.1.3. Jeller 7

1.1.4 Emülsiyon Sistemleri ve Pickering Emülsiyonlarının Gıda Uygulamalarındaki Rolü 27

1.2 Tezin Amacı 28

1.3 Hipotez 29

2 MATERYAL VE YÖNTEM **31**

2.1 Materyaller 31

2.2 Yöntem 31

2.2.1 Hidrojel, Emüljel ve Oleojellerin Hazırlanması 31

2.2.2 Reolojik Analizler 32

2.2.3 FTIR 33

2.2.4 Kremanın Hazırlanması 33

2.2.5 Kremanın Reolojik Analizi 33

2.2.6 Kremanın Tekstür Profili Analizi 33

2.2.7 Kremaların Renk Özellikleri 34

2.2.8 Krema Örneklerinin Duyusal Değerlendirmesi 34

2.2.9 Görsel İnceleme 34

2.2.10 İstatistiksel Analiz 35

3 BULGULAR VE TARTIŞMA 36

3.1. FTIR Analizi 36

3.2. Reolojik Analizler 37

3.2.1 Hidrojellerin Reolojik Özellikleri 37

3.2.2 Oleojellerin Reolojik Özellikleri 41

3.2.3 Bisküvi Kremalarının Reolojik Özellikleri 44

3.3 Tekstür Profil Analizi (TPA) 48

3.4 Duyusal Analiz 51

3.5 Renk Parametreleri 52

3.6 Görüntü 54

4 SONUÇ 55

KAYNAKÇA 57

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 68

SİMGE LİSTESİ

ω	Açısal Hız
n	Akış Davranış İndeksi
rpm	Devir/dk
G'	Depolama Modülü
g	Gram
Hz	Hertz
G_0	İlk Depolama Modülü
J	Joule
G''	Kayıp Modülü
K	Kıvam Katsayısı
mL	Mililitre
mm	Milimetre
Pa	Paskal
s	Saniye
°C	Santigrat Derece
cm	Santimetre

KISALTMA LİSTESİ

3-ITT	Üç Aralıklı Tiksotropi Testi
BM	Bal Mumu
BSP	Bambu Filizi Proteini
CDF	Narenciye Posa Lifi
CMC	Karboksimetilselüloz
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GG	Guar gam
HDL	Yüksek Yoğunluklu Lipoprotein
HIPE-Jel	Yüksek İç Fazlı Emülsiyon Jeli
HMWOG	Yüksek Molekül Ağırlıklı Oleojelatörler
HPMC	Hidroksipropil Metilselüloz
KK	Kolloidal Kompleks
LDL	Düşük Yoğunluklu Lipoprotein
LL	Limon Lifi
LMWOG	Düşük Molekül Ağırlıklı Oleojelatörler
LVR	Doğrusal Viskoelastik Bölge
MAG	Monoasilgliseroller
MC	Metilselüloz
MCC	Mikrokristalin Selüloz
MCPD 3	Monokloroprondiol
PUFA	Çoklu Doymamış Yağ Asitleri

QS	Quillaja Saponin
RBW	Pirinç Kepeği Mumu
SPI	Soya Proteini Izolatı
SSL	Sodyum Stearil Laktat
TG	Triasil gliserol
TSP	Hint Hurması Tohumu Polisakkaridi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Hidrojellerin şematik gösterimi (Saraçoğlu, 2024) **9**

Şekil 3.1 Guar gum, %5LL ve %5LL-%1GG içeren kurutulmuş örneklerin FTIR spektrumları **36**

Şekil 3.2 Hidrojellerin Dinamik Reolojik Davranışları **38**

Şekil 3.3 %3 LL içeren hidrojellerin sıcaklığa bağlı G' değişimleri **40**

Şekil 3.4 %5 LL içeren hidrojellerin sıcaklığa bağlı G' değişimleri **40**

Şekil 3.5 %7,5 LL içeren hidrojellerin sıcaklığa bağlı G' değişimleri **41**

Şekil 3.6 Oleojel numunelerinin dinamik reolojik davranışları **43**

Şekil 3.7 Oleojellerin sıcaklığa bağlı G' değişimleri **44**

Şekil 3.8 Krema numunelerinin dinamik reolojik davranışları **46**

Şekil 3.9 Bisküvi kremalarının sıcaklığa bağlı G' değişimleri **48**

Şekil 3.10 %5 LL-%1GG içeren hidrojel ve emüljel örneklerinin görselleri **54**

Şekil 3.11 %5 LL-%1GG içeren kurutulduktan sonra oleojel ve karıştırılmış oleojel örneklerinin görseller **54**

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Yağlardaki doymuş ve doymamış yağ asitleri (Greenly, 2002) **.....3**
Tablo 1.2 Palm yağının % asit kompozisyonu (Sundram, 2003**).....4**
Tablo 3.1 Hidrojel numunelerinin dinamik reolojik özellik parametreleri **.....37**
Tablo 3.2 Oleojel numunelerinin dinamik reolojik özellik parametreleri**.....42**
Tablo 3.3 Krema numunelerinin dinamik reolojik özellik parametreleri **.....46**
Tablo 3.4 Bisküvi kreması örneklerinin tekstürel özellikleri**.....50**
Tablo 3.5 Bisküvi kreması örneklerinin duyusal analiz değerlendirmeleri **.....52**
Tablo 3.6 Bisküvi kreması örneklerinin renk parametreleri **.....53**

ÖZET

Emülsiyon Şablon Yöntemiyle Elde Edilen Oleojeller ile Krema Formülasyonu Geliştirilmesi

Hande KEMER
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK
Eş-Danışman: Prof. Dr. Salih KARASU

Oleojeller, oleojelatörlerin (balmumu, monogliserit ve etil selüloz vb.) doğrudan sıvı yağa eklenmesiyle oluşturulurken dağılmış oleojeller daha sonra kararlı ağlar halinde kendiliğinden birleşerek katı benzeri bir jel yapısı oluşturabilir. Ancak, yağda çözünmeleri gerektiğinden oleojelatörleri seçme seçenekleri sınırlıdır olduğu için özellikle organize ağları ve trans yağları değiştirme kapasiteleri nedeniyle ilgi çekici olan emülsiyonlardan üretilen oleojeller tercih edilebilirler. Gıda sınıfı polimerler kullanan emülsiyonlar aracılığıyla oleojeller oluşturmak, doymuş ve trans yağların yerine geçmek için uygulanabilir bir seçenektir. Limon lifi tozu taze hasat edilen limon ve lime meyvelerinin suyu ve kabuklarındaki yağı alındıktan sonra arta kalan posanın kurutulup öğütülmesiyle elde edilmektedir. Bu çalışma, doymuş yağ bazlı krema özelliklerine sahip doymamış yağ bazlı krema geliştirilmesi için bir stabilizatör olarak limon lifinin (LL) potansiyel kullanımını araştırmaktadır. Bu çalışmada, limon lifi (LL) ile guar gam (GG) kullanarak hidrojel oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında farklı oranlardaki LL ile GG interaksiyonunu görmek için içeriğinde %5LL-%1GG, %5LL-%0,5GG, %3LL-%1GG, %3LL-%0,5GG ve %5LL ve %3LL bulunan 6 farklı hidrojel üretilmiştir. Hidrojellere yağ ilavesiyle Pickering emülsiyon şablonu yöntemi ile oleojeller

üretilmiştir. Daha sonra %55 hidrojel ve %45 yağ içeren emüljeller liyofilize edilerek oleojeller üretilmiştir. Araştırma, reolojik özelliklerini değerlendirmek için bisküvi kreması örneklerinin reolojik parametrelerini, viskoelastik özelliklerini ve termal (10-90 °C) özelliklerini analiz etmeye odaklanmıştır. Tüm hidrojel ve oleojel numunelerinde kayma incelmesi reolojik davranışı gözlenmiştir. Numunelerin G' değerleri, G" değerlerinden büyük bulunarak, tüm hidrojel ve oleojel numunelerinde katı benzeri davranış göstermiştir. Bu durum Tüm oleojel numuneleri %90'ın üzerinde yağ tutma kapasitesi göstermiştir. Bu çalışma kapsamında reolojik özellikleri en uygun olan %5LL-%1GG hidrojeli, GG ve LL için FTIR spektrumları kullanılarak moleküllerin etkileşimleri hakkında bilgi sağlanmıştır. FTIR spektrumları GG'nin varlığı LL'nin yapısal sırasının azalabileceğini göstermiştir. Bu sonuç LL'nin GG ile etkileşime girebileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, doymuş yağ bazlı krema özelliklerine sahip doymamış yağ bazlı krema geliştirilmesi için üretilen oleojeller palm yağı ikamesi olarak bisküvi kremalarında kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Oleojel, bisküvi kreması, limon lifi, palm yağı ikamesi

ABSTRACT

Development of Cream Formulation with Oleogels Obtained by Emulsion Template Method

Hande KEMER
Department of Food Engineering
Master of Science

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK
Co-supervisor: Prof. Dr. Salih KARASU

Oleogels are typically formed by directly incorporating oleogelators (e.g., waxes, monoglycerides, ethyl cellulose) into liquid oils, where they self-assemble into structured networks, resulting in semi-solid gel-like systems. However, due to the requirement for oil solubility, the choice of oleogelators is limited. Consequently, oleogels derived from emulsions have gained increasing attention owing to their capacity to form organized networks and replace trans fats. The formation of oleogels through emulsions prepared with food-grade polymers presents a promising approach to substitute saturated and trans fats in food products.

Lemon fiber powder is obtained by drying and grinding the residual pulp remaining after extracting juice and essential oils from freshly harvested lemon and lime fruits. This study investigates the potential use of lemon fiber (LF) as a stabilizer in developing an unsaturated fat-based cream with physical properties similar to those of saturated fat-based creams. Hydrogels were prepared using lemon fiber (LF) in combination with guar gum (GG) at varying ratios, including 5%LF-1%GG, 5%LF-

0.5%GG, 3%LF-1%GG, 3%LF-0.5%GG, as well as hydrogels containing only 5%LF or 3%LF. Oleogels were produced from these hydrogels by incorporating oil through a Pickering emulsion template method. Subsequently, emulgels containing 55% hydrogel and 45% oil were lyophilized to obtain the final oleogel formulations.

The study focused on evaluating the rheological behavior, viscoelastic properties, and thermal characteristics (10–90 °C) of biscuit cream samples produced using the oleogels. All hydrogel and oleogel samples exhibited shear-thinning flow behavior. The storage modulus (G') values were found to be higher than the loss modulus (G''), indicating solid-like behavior across all samples. Additionally, all oleogel samples demonstrated oil-holding capacities above 90%.

Among the formulations, the 5%LF–1%GG hydrogel exhibited the most favorable rheological properties and was further characterized using FTIR spectroscopy to investigate molecular interactions. The FTIR spectra revealed that the presence of GG may reduce the structural order of LF, suggesting potential interactions between the two biopolymers. In conclusion, the oleogels developed in this study show potential for use as palm oil alternatives in biscuit cream formulations, offering a functional replacement for saturated fat-based products through the use of unsaturated oils.

Keywords: Oleogel, biscuit cream, lemon fiber, palm oil substitute

1

GİRİŞ

Yağlar, gıda ürünlerinde yalnızca enerji kaynağı olmakla kalmaz; aynı zamanda yapı oluşturma, kıvam kazandırma, aroma ve tat taşımada kritik roller üstlenir. Özellikle bisküvi, kek ve dolgu krema gibi fırıncılık ürünlerinde gevreklik, yayılabilirlik ve kremsi ağız hissi elde etmek için palm yağı, margarin ve shortening gibi yüksek doymuş yağ içeriğine sahip katı yağlar tercih edilmektedir. Bu yağlar, trigliseritlerin erime davranışı sayesinde ürünlere arzu edilen tekstürel nitelikleri kazandırırken; düşük yağ fazlı alternatifsiz formülasyonlarda temel işlevi görmektedir.

Bununla birlikte, palm yağının beslenme kaynaklı yüksek doymuş yağ içeriği, obezite, diyabet, hipertansiyon ve kardiyovasküler hastalık risklerini artırma potansiyeli taşımaktadır (Fattore vd., 2014). Aynı zamanda, palm yağı üretimi başta Endonezya ve Malezya'daki tropik ormanların tahribatına neden olmakta, biyoçeşitlilik ve ekosistem bütünlüğü üzerinde geri dönüşü zor olumsuz etkiler yaratmaktadır (Fitzherbert vd., 2008). Bu iki boyut (sağlık ve çevresel sürdürülebilirlik) gıda endüstrisinde düşük doymuş yağ içeriğine sahip, aynı fonksiyonel ve duyusal performansı koruyacak alternatif stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Ayçiçek yağı, yüksek oranda çoklu doymamış linoleik asit içeriğiyle kalp sağlığını destekleyici etkileri sayesinde yaygın olarak kullanılan bir bitkisel yağdır. Ancak yapısal olarak sıvı formda olması, doğrudan fırıncılık ürünlerine katıldığında katı yağların sunduğu sürülebilirlik ve plastisiteyi sağlayamaz. Bu noktada yağların yapılandırılması, özellikle oleogelasyon gibi yaklaşımlar, sıvı bitkisel yağlara katı yağ benzeri fonksiyonel nitelikler kazandırma potansiyeliyle öne çıkmaktadır.

Oleogelasyon, düşük moleküler veya polimerik yapıdaki oleojelatörlerin sıvı yağı üç boyutlu ağ yapıları içinde hapsedecek şekilde jelleştirmesini sağlayan bir stratejidir. Emülsiyon-şablonlama gibi dolaylı yöntemler, hidrofilik polimerlerin önce su–yağ emülsiyonu içinde ağ kurmasına, ardından suyun uzaklaştırılmasıyla bu ağların yağı hapsedip stabil oleojellere dönüştürülmesine imkân tanır (Espert vd., 2020). Bu sayede geliştirilen oleojeller, bitkisel yağların oksidatif stabilitesini korurken aynı zamanda palm yağının sağladığı viskoelastik ve duyusal özellikleri taklit edecek şekilde fırıncılık ürünlerine entegre edilebilmektedir.

1.1 Literatür Özeti

1.1.1 Palm Yağı

Yağ palmiyesi (*Elaeis* cinsi), tek çenekliler (monokotiledonlar) sınıfına ait, çok yıllık bir ağaç türüdür. Diğer bitkisel yağların üretimine göre, bu bitkinin yağ verimi çok daha yüksektir. Hektar başına yıllık ortalama 4-5 ton yağ üretilebilmektedir. Bununla birlikte diğer bitkisel yağlardan farklı olarak, tek palm ağacı meyvesinden iki farklı bitkisel yağ üretilebilmektedir. Bunlardan biri, palm ağacı meyvesinin taze kısmı olan mezokarptan elde edilen ham palm yağı, diğeri ise çekirdeğinden elde edilen palm çekirdek yağıdır. Her ikisinin de ticari olarak değeri bulunmaktadır (Duman & Keser, 2018).

Palmiye yağı, doymuş ve doymamış yağ asitlerini yaklaşık eşit oranlarda içermektedir. Yağ asitlerinin büyük çoğunluğu triasilgliserol (TG) formunda bulunur. Gliserol molekülü üzerindeki farklı yağ asidi yerleşimleri, çeşitli TG türlerinin oluşmasına neden olur. Palm yağı, neredeyse hayvansal yağlar kadar fazla oranda (yaklaşık %50) doymuş yağ asidi barındırmaktadır. Çeşitli yağlardaki doymuş ve doymamış yağ asitleri oranı Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

Palm yağındaki yağ asitleri, palmitik (16:0), stearik (18:0) ve oleik (18:1) asitler gibi hem hayvansal hem de bitkisel yağlarda yaygın olarak bulunan alifatik asitler sınıfına aittir. Palmiye yağının başlıca yağ asitleri Tablo 1.2'de gösterilmiştir.

Dünyadaki palm yağı üretiminin neredeyse %90'ı gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Bunun başlıca nedenlerinden biri palm yağının oda sıcaklığında yarı-sıvı formda olup, erime aralığı sayesinde hidrojenasyona gerek duyulmadan margarin ve shortening gibi ürünlerde temel bileşen olarak kullanılabilmesidir.

Özellikle palm stearin, tamamen hidrojenize yağların gerekli olduğu bazı gıda ve endüstriyel uygulamalar için ekonomik ve uygun bir ham madde olarak öne çıkmaktadır. Bununla beraber diğer işlenmiş yağlara kıyasla yüksek oksidatif stabilite göstermesi ve bu sayede uzun raf ömrüne sahip olması başlıca avantajlarındandır (Sulaiman vd., 2022).

Tablo 1.1 Yağlardaki doymuş ve doymamış yağ asitleri (Greenly, 2002)

Yağ Türü	% Tekli Doymamış Yağ	% Çoklu Doymamış Yağ	% Doymuş Yağ
Fındık yağı	78	10	7,4
Zeytinyağı	74	9	14
Kanola yağı	58	36	6
Yer fıstığı yağı	46	32	17
Tavuk yağı	45	21	30
Sığır yağı	42	4	50
Pirinç yağı	42	38	19
Palmiye yağı	37	10	50
Tereyağı yağı	29	4	62
Mısır yağı	25	59	13
Soya yağı	24	58	15
Ayçiçek yağı	20	66	11
Pamuk tohumu yağı	18	52	26
Buğday tohumu yağı	15	63	19
Aspir yağı	12	75	9
Palm çekirdeği yağı	11	2	81

Tablo 1.2 Palm yağının % asit kompozisyonu (Sundram, 2003)

Yağ asidi zincir uzunluğu	Ortalama (%)	Gözlemlenen aralık (%)	Standart sapma
0,50	0,3	0 – 1	0,12
0,58	1,1	0,9 – 1,5	0,08
0,67	43,5	39,2 – 45,8	0,95
0,67	0,2	0 – 0,4	0,05
0,75	4,3	3,7 – 5,1	0,18
18:1 (n-9)	39,8	37,4 – 44,1	0,94
18:2 (n-6)	10,2	8,7 – 12,5	0,56
0,75	0,3	0 – 0,6	0,07
0,83	0,2	0 – 0,4	0,16

Ancak bununla beraber ormansızlaşma ve zengin toprağın ayrışmasıyla karbon emisyonlarında artışa neden olmaktadır. Günümüzde en büyük palm yağı tedarikçisi olan Endonezya palm yağının %58 ini üretmektedir (U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service [FAS], 2025). Endonezya'da ormansızlaşmanın %24 'üne yakıın kısmı doğrudan yeni yağ palmiyesi plantasyonları için yok edilen ormanlardan oluşmaktadır. Bu durum, yağ palmiyesi tarımının uzun vadede orman alanlarını sürekli olarak azalttığını göstermektedir (Austin vd., 2019).

Palm yağı üretimi, doğal yaşam alanlarının kaybına yol açarak birçok türü yok olma tehlikesiyle karşı karşıya bırakmakta ve biyolojik çeşitliliğe ciddi zarar vermektedir. Örneğin, Orta Sumatra'daki Riau Eyaleti'nde orman örtüsü son 25 yılda %65 oranında azalmış ve 1982'de %78 olan orman alanı, 2007'de %27'ye düşmüştür. Bu ormansızlaşmanın %29'unun endüstriyel yağ palmiyesi plantasyonları için yapılan arazi temizleme çalışmalarıyla bağlantılı olduğu tespit edilmiştir. Habitat kaybı nedeniyle Sumatra orangutanları, kaplanları ve filleri ciddi tehdit altına girmiştir. Özellikle Sumatra kaplanlarının sayısı 1982'de 640 iken

2007’de 192’ye düşerek %70 azalmış, Sumatra fillerinin popülasyonu ise 1984’te 1067-1617 birey arasında tahmin edilirken 2007’de yaklaşık 210 bireye kadar gerilemiş ve %84 oranında azalmıştır (Uryu vd., 2008).

1.1.1.1 Gıda Endüstrisinde Palm Yağının Kullanımı ve Sağlık Etkileri

Palmiye yağı, içerdiği yüksek düzeyde doymuş yağ asitleri nedeniyle, sağlık açısından da endişe verici bileşenler içermektedir. Araştırmalar, palmitik asit tüketiminin kardiyovasküler hastalık riskini artırabileceğini ortaya koymuştur (World Health Organization [WHO], 2003). Doymuş yağların kardiyovasküler sağlık üzerindeki olumsuz etkisi ‘kötü kolesterol’ olarak da bilinen düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) düzeylerini arttırması sonucunda oluşmaktadır. Palm yağının özellikle yüksek miktarda doymuş yağ asidi içeriğine bağlı olarak dislipidemi ve kardiyovasküler hastalık gelişme riski ile ilişkili olabileceği ifade edilmektedir.

Palm yağından aşırı doymuş yağ asidi tüketiminin aşırı kilolu kişilerde önemli derecede karaciğer yağ oluşumuna neden olduğu bulunmuştur. Dolaşımdaki karaciğer enzimleri ve seramidlerin aynı anda arttığı gözlemlenmiş ve bu da hepatosellüler hasarı göstermektedir (Rosqvist vd., 2019).

Palm yağı üretimi sırasında büyük miktarda MCPD (monokloropropandiol) ve glisidil esterler olarak iki bileşik oluşmaktadır. Bu bileşikler de kanser gelişimi ile ilişkilendirilmektedir (U.S. Food and Drug Administration [FDA], 2024).

Gıda endüstrisi, günümüzde oda sıcaklığında katı veya yarı katı formda bulunan, trans yağ içermeyen, daha stabil ve uzun raf ömrüne sahip alternatif yağ çözümlerine olan ihtiyacı artırmaktadır. Palmiye yağı, yüksek doymuş yağ içeriği nedeniyle oda sıcaklığında yarı katı formda bulunan az sayıdaki bitkisel yağlardan biridir. Gıda sektöründe yaygın olarak kullanılmasının başlıca nedenleri; düşük maliyeti, rafine formunun kızartma işlemi sırasında yüksek oksidatif stabiliteye sahip olması, uzun raf ömrü sunması ve hidrojene bitkisel yağlardaki trans yağların yerine ikame edilebilmesidir (Abrante-Pascual, Nieva-Echevarría & Goicoechea-Oses, 2024).

Sonuç olarak, palmiye yağı üretiminin ekolojik etkileri ve sağlık üzerindeki potansiyel riskleri göz önünde bulundurularak, sürdürülebilir ve insan sağlığına daha uygun alternatif yağ kaynaklarının araştırılması büyük önem arz etmektedir.

1.1.2. Ayçiçek Yağı

Ayçiçek yağı (Helianthus annuus L.), tohumların mekanik soğuk pres veya solvent ekstraksiyon yöntemleriyle elde edilen, çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) bakımından zengin bir bitkisel yağdır. Standart linoleik tip ayçiçek yağında linoleik asit (C18:2, ω-6) oranı %44–75, oleik asit (C18:1, ω-9) oranı %14–43, doymuş yağ asitleri (palmitik C16:0 ve stearik C18:0) ise toplamda yaklaşık %11–12'dir (Akkaya, 2018). Bunlara ek olarak, ayçiçek yağı α-tokoferol (%200–650 mg/kg) ve γ-tokoferol (%50–150 mg/kg) gibi güçlü antioksidan vitamin E bileşikleri; fitosteroller (β-sitosterol, kampesterol, stigmasterol toplamı ~700–1 000 mg/kg); ve küçük miktarlarda fosfolipit, karotenoid ve fenolik bileşikler içerir. Bu profil, ayçiçek yağının hem besin değerini hem de oksidatif kararlılığını artırır: Tokoferoller peroksidasyon induksiyon süresini uzatırken, fitosteroller kolesterol emilimini baskılayarak kalp-damar korumasına katkıda bulunur (Piironen, Toivo & Lampi, 2002).

1.1.2.1 Ayçiçek Yağının Sağlık Etkileri

Birçok kontrollü klinik çalışma ve meta-analiz, linoleik asit-zengin yağların serum lipit profili üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koymuştur. Mensink ve arkadaşlarının 60 kontrollü denemeyi içeren meta-analizinde, diyet yağında doymuş yağların PUFA ile yer değiştirmesinin LDL-kolesterolü %10–15 oranında düşürdüğü ve toplam/HDL kolesterol oranını iyileştirdiği saptanmıştır (Mensink vd., 2003). Ayçiçek yağının düzenli tüketimi, özellikle yüksek linoleik varyantlarda, koroner kalp hastalığı insidansını %20–25'e varan oranlarda azaltabilir (Kris-Etherton vd., 1999). Öte yandan, yüksek linoleik asit içerikli yağların omega-6/omega-3 dengesini bozma riski nedeniyle, son yıllarda geliştirilen yüksek oleik asitli ayçiçek yağı genotiplerinde oleik asit oranı %87'ye kadar yükseltilmiş; bu varyantlar hem depolama ve kızartma koşullarında peroksit değerlerindeki artışı önemli ölçüde yavaşlatarak oksidatif stabiliteyi artırmıştır (Smith, King & Min, 2007). Klinik çalışmalarda palm yağının, kolesterol düzeylerine etkisi doymuş yağların ortalamasıyla benzer olup, diğer bitkisel yağlarla karşılaştırıldığında LDL-artış oranı ortadadır (Sun vd., 2015). Bununla birlikte palm yağının içindeki doğal antioksidanlar (tokoferoller, karotenoidler) oksidatif hasarı ve inflamasyonu kısmen azaltabilir (Ajuwon, Marnewick,

Oguntibeju & Davids, 2022). Ancak, ayçiçek yağının yüksek linoleik içeriği, inflamatuar biyobelirteçler üzerinde daha olumlu etki gösterirken; palm yağları bu oranlarda yarar sunamamaktadır (Wu vd., 2014).

1.1.2.2 Ayçiçek Yağının Endüstriyel Uygulamaları ve Teknolojik Özellikleri

Ayçiçek yağı, nötr duyusal profilinin yanı sıra farklı rafinasyon düzeylerine göre optimal kullanım imkânı sunar. Soğuk sıkım ayçiçek yağı, yüksek fenolik bileşik ve tokoferol içeriği nedeniyle salata sosları ve çiğ tüketilen gıdalar için tercih edilir. Rafine ve özellikle yüksek oleik varyantlar ise 180–200 °C aralığındaki kızartma ve yüksek sıcaklık işlemlerinde oksidatif stabilitesini korur**,** çünkü oleik-asit açısından zengin kompozisyon, linoleik asit bakımından düşük içeriğe kıyasla daha dirençli oksidasyon profili sergiler (Romano vd., 2021). Fenolik ve tokoferol içeriğinin yanı sıra, fosfolipitler emülsiyon stabilitesini artırarak mayonez, sos, kremalı ürünler ve ilaç-kozmetik formülasyonlarında taşıyıcı faz olarak işlev görür (Samdani vd., 2018).

Palm ve palm yağından türevler, margarin, çikolata yağı, çerez kaplamaları, unlu mamuller ve biyo-yakıt hammaddesi olarak yaygın kullanılır. Maliyet-verimlilik analizleri, palm yağı üretiminin ayçiçek yağına kıyasla %40–60 daha düşük arazi ve işgücü maliyeti gerektirdiğini göstermektedir (Corley ve Tinker, 2003). Ayçiçek yağının sağlık açısından sunduğu en önemli avantaj, yüksek PUFA içeriğiyle LDL-kolesterol düşürücü etkisi ve zengin antioksidan profili; teknoloji açısından ise nötr duyusal karakter ve farklı rafinasyon seçenekleriyle formülasyon esnekliğidir. Palm yağı ise yüksek verim, düşük maliyet ve endüstriyel stabilite avantajı sunar.

1.1.3. Jeller

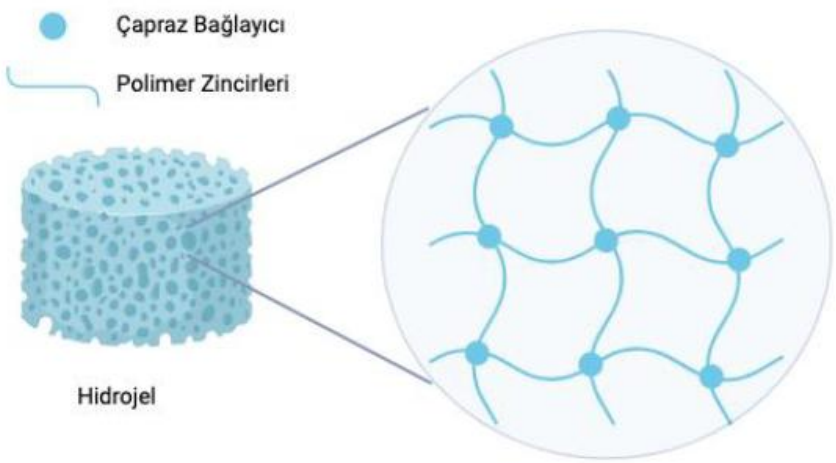
Polimerik jeller, katı benzeri elastisite ve sıvı benzeri akış özellikleri gösteren yarı katı maddelerdir. Başka bir değişle jeller, basınç varlığında akmaya karşı direnç gösteren, yapısal şeklini belirli miktarda koruyan, yüksek nem içeriğine sahip üç boyutlu polimerik bir ağlardır. Jel yapısı depolama modülü (G'), kayıp modülünden (G'') daha büyük olan viskoelastik bir sistemdir (Banerjee ve Bhattacharya, 2012).

Jellerin, makro ölçekte moleküllerin veya kolloidal parçacıkların birbirine bağlanarak oluşturduğu yapılar olduğu bilinmektedir. Ağ yapısına göre sınıflandırılan jeller, eğer çapraz bağlı polimer moleküllerinden meydana geliyorsa

"polimer jeller" olarak adlandırılırken, kolloidal parçacıkların bir araya gelmesiyle oluşuyorsa "parçacık jelleri" olarak tanımlanmaktadır (Behera vd., 2015). Gıda sektöründe yaygın olarak kullanılan jeller, viskoelastik özellik gösteren malzemelerdir. Jelleştirici maddeler (jelatörler) genellikle polisakkarit veya protein yapısında olup, bulundukları ortamın fazını fiziksel olarak hapsederek jel yapısını oluştururlar. Literatürde oleojel ve hidrojel, emülsiyon gibi farklı polimerik jel türleri üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Bollom vd., 2020).

1.1.3.1 Hidrojeller

Hidrojeller, çapraz bağlı polimer ağlarının suyu kendi kuru ağırlıklarının 10–1 000 katına kadar hapsedebildiği yarı katı yapılar olarak tanımlanır (Peppas vd., 2000; Ahmed, 2015). Bu ağlar, kovalent çapraz bağlanma veya hidrojen bağı, iyonik köprü ve van der Waals etkileşimleri gibi fiziksel kuvvetlerle oluşturulur ve su moleküllerini gözenekli bir matriks içinde tutar (Caló ve Khutoryanskiy, 2015). Gıda teknolojisinde uygulanan hidrojellerde, polimer zincirlerindeki karboksil, hidroksil ve amin grupları sayesinde yüksek su tutma kapasitesi sağlanır; bu sayede %90'ın üzerinde su içeren ultra-şişkin yapılar elde edilebilir (Peppas vd., 2006). Aynı zamanda, doğal polisakkarit veya protein bazlı hidrojeller, ısıtma-soğutma çevrimlerine ve pH dalgalanmalarına dayanacak biçimde formüle edilerek sos, mayonez ve jöle gibi ürünlerin termal ve kimyasal kararlılığını artırır (Hoare ve Kohane, 2008; Lee ve Mooney, 2012). Gözenek boyutları ve polimer–su etkileşimleri, çapraz bağ yoğunluğu ve monomer seçimiyle kontrol edilerek vitamin, aroma ve fonksiyonel bileşenlerin hem tutulması hem de kontrollü salımı mümkün kılınır (Qiu ve Park, 2001; Dragan, 2014). Ayrıca hidrojeller, düşük yağlı veya yağ ikame formülasyonlarında yayılma, ağızda kayganlık ve "dolgunluk" hissi gibi duyusal nitelikleri iyileştirerek kremsi bir doku sunar; bu etki, partikül boyutu dağılımı ve ağ esnekliğinin optimize edilmesiyle elde edilir (Karim ve Bhat, 2009).



Şekil 1.1 Hidrojellerin şematik gösterimi (Saraçoğlu, 2024)

Hidrojellerin gıda uygulamalarında sunduğu çoklu işlevler—su tutma, tekstür iyileştirme ve kontrollü bileşen salımı—özünde polimer ağlarının etkileşim biçimine dayanır. Polimer zincirlerindeki karboksil, hidroksil veya amin grupları su molekülleriyle hidrojen bağı kurarak ağın şişmesini ve dolayısıyla yüksek su tutma kapasitesini sağlar; bu şişme oranı, çapraz bağ yoğunluğu ve polimer–su etkileşim dengesine bağlıdır (Ahmed, 2015). Ağ yapısının kimyasal bağlanma şekli de performansı doğrudan etkiler: Kovalent çapraz bağlanma, mekanik mukavemeti artırmak için ağ dayanımını güçlendirirken şişme oranını sınırlar; buna karşılık hidrojen bağları ve iyonik etkileşimler gibi fiziksel çapraz bağlanma mekanizmaları, ağın tersinir şekilde çözülmesine ve pH veya iyonik güç değişimlerine duyarlı davranış sergilemesine olanak tanır (Hoare **ve** Kohane, 2008). Tüm bu etkileşimler, hidrojellerin reolojik karakterini—çoğunlukla shear-thinning (pseudoplastik) davranışı belirler; ağ konformasyonu ve çapraz bağ yoğunluğu, sos veya jöle gibi gıda ürünlerinin akışkanlığı ve kıvamı üzerinde doğrudan etkilidir (Nath vd., 2022). Bu temel prensipler ister polisakkarit ister protein ister hibrit hidrojeller kullanılsın, formülasyon stratejilerinin ve işlevsellik hedeflerinin tasarlanmasında yol gösterici kritik faktörlerdir (Peppas vd., 2000).

1.1.3.2. Gıda Kullanımlı Hidrojelatör Türleri

- **Polisakkarit Bazlı Hidrojeller**

Polisakkarit bazlı hidrojeller, doğal veya modifiye bitkisel makromoleküllerin çapraz bağlanmasıyla oluşur ve suyun %90'a varan kısmını tutarak yüksek şişme kapasitesi sağlar (Peppas vd., 2000). Biyouyumlu ve toksik olmayan yapıları, düşük kalorili gıda formülasyonlarında tekstür modifikasyonu, su tutma ve stabilite sağlamak için idealdir (Ahmed, 2015). Başlıca örnekler şunlardır:

- **Aljinat:** Kalsiyum iyonlarıyla hızlı "jel çekirdeği" oluşturur. Mayonez ve soslarda yağ-su kararlılığını artırır, düşük sıcaklıkta da stabil kalır (Lee ve Mooney, 2012).
- **Pektin:** Düşük metoksil pektin, kalsiyum köprüleriyle reçel-jöle sistemlerinde kıvam belirler ve su aktivitesini düşürerek mikrobiyal bozulmayı geciktirir (Voragen vd., 2009).
- **Karragenan:** κ- ve ι-tipleri sütlü tatlı ve et işlenmiş ürünlerde termal geriye dönüşümlü jeller; λ-tipleri ise sadece koyulaştırıcı olarak kullanılır (Campo vd., 2009).
- **Zamk**: Galaktomannan, arabinogalaktan veya benzeri yapıdaki doğal polisakkaritler (ör. guar gam, karnauba zamkı), düşük konsantrasyonlarda bile yüksek viskozite ve jel oluşumu sağlayarak su tutma ve stabilizasyon işlevi görür (Mudgil vd., 2014).

Guar zamkı, galaktomannan yapısında doğal bir polisakkarittir ve gıda sistemlerinde yaygın olarak kıvam artırıcı, stabilizatör ve emülgatör olarak kullanılır (Mollakhalili-Meybodi vd., 2023). Su fazında çözünerek viskoziteyi artıran bu yapı, emülsiyon sistemlerinde damlacıkların çökelmesini ve birleşmesini fiziksel olarak engelleyerek stabilite sağlar (Ribeiro vd., 2024). Guar gamın bu fonksiyonel özellikleri, onu özellikle yağ ikame ürünlerinde ve düşük yağ içerikli emülsiyonlarda önemli bir bileşen hâline getirmektedir (Quintana-Martinez vd., 2018). Ayrıca, Pickering tipi emülsiyonlarda da stabilizatör veya yardımcı stabilizatör olarak kullanılabilir; burada partikül temelli yapılarla birlikte çalışarak sistemin dayanıklılığını artırabilir (Yang vd., 2022). Bazı çalışmalar, guar gamın protein veya lipofilik bileşenlerle etkileşerek oksidatif stabiliteyi geliştirdiğini de

göstermektedir (Fan vd., 2024). Benzer şekilde, guar gam varlığında lif benzeri materyallerle kombine edildiğinde, yapının reolojik özelliklerinde ve sindirilebilirlikte önemli değişimler gözlemlenmiştir (Tangsrianugul vd., 2022).

- **Lif**: Çözünür veya çözünmez diyet lifi kaynakları (ör. limon lifi, inülin), partikül-temelli veya ağ yapısı oluşturarak gıda ürünlerinde yapısal destek ve Pickering stabilizasyonu sunar, özellikle dolgu jöleleri ve düşük yağlı tatlılarda kullanılır (Yang vd., 2023).

Limon posa lifi (Citrus limon), endüstriyel ölçekte üretilen toz formunda, yüksek oranda selüloz, hemiselüloz ve pektin içeren doğal bir diyet lifidir. Magalhães ve arkadaşları (2025) tarafından analiz edilen limon posa lifinin bileşimi; yaklaşık %85,8 toplam diyet lifi (İnsoluble Dietary Fiber %52,6; Soluble Dietary Fiber %33,2), %9,6 selüloz ve %6,8 hemiselüloz olarak raporlanmıştır; kalan karbonhidratlar ise pektin ve ligninden oluşmaktadır (Magalhães vd., 2025).

Bu lif, su tutma kapasitesinde (WHC) 8,49 g su/g lif ve yağ bağlama kapasitesinde (OHC) 1,55 g yağ/g lif değerleri göstermiştir; kısmi pektin ekstraksiyonu sonrası yapılan çalışmada WHC 15,81 g/g, OHC 3,33 g/g'ye kadar yükselmiştir (Xiao vd., 2024). Bu yüksek su ve yağ bağlama kabiliyeti, formülasyonlarda sineresisin azaltılması, nemli doku korunması ve yağ kayıplarının önlenmesi gibi avantajlar sağlar.

Limon posa lifi, partikül stabilizasyonu yoluyla Pickering emülsiyonlarını etkili biçimde oluşturur. Qi vd. (2021) limon posa lifi kullanarak hazırladıkları O/W emülsiyonlarda liflerin damlacık yüzeyine adsorbe olarak ince bir örtü oluşturduğunu ve üç boyutlu ağ yapısı kazandırdığını göstermiştir; bu sayede mikrodamlasal yapılar, geniş pH (2–10), yüksek iyonik güç (0–1 M NaCl) ve geniş sıcaklık aralıklarında kararlılık sağlanmıştır (Qi vd., 2021).

Oleojel üretiminde limon posa lifi kullanımı üzerine yapılan çalışmalarda, lif morfolojisinin oleojel sertliği ve yağ tutma kapasitesi üzerinde belirleyici olduğu bulunmuştur. Phoon ve Henry (2020), lif yapısının oleojel sertliğini artırdığını; Genc ve arkadaşları (2024) ise peynir altı suyu proteini ile komplekslenen limon posa lifinin %90'ın üzerinde yağ tutma kapasitesine sahip Pickering oleojeller

oluşturduğunu raporlamıştır (Phoon ve Henry, 2020; Genc vd., 2024). Ayrıca bu posalı oleojeller, palm yağı kontrol grubuna kıyasla oksidatif stabilitede anlamlı bir fark yaratmamıştır (Genc vd., 2024).

Gıda ürünlerinde doku, kıvam ve raf ömrü üzerine yapılan uygulamalarda limon posa lifi, su tutma ve şişme kapasitesi sayesinde sineresisin azalmasını, homojen nem dağılımı ve istenen sertlik-kıvam profilini elde etmeyi sağlamıştır. Et ürünlerinde limon posa lifinin nitrat düzeylerini düşürdüğü, lipid oksidasyonunu ise çok düşük oranda artırdığı ancak ürün stabilitesini bozacak seviyeye ulaşmadığı gösterilmiştir (Magalhães vd., 2025). Aynı şekilde posalı oleojel içeren kurabiyelerde palm yağına kıyasla oksidatif kararlılık benzer bulunmuştur (Genc vd., 2024).

Son olarak, limon posa lifi "temiz etiket" trendiyle uyumludur. Doğal ve minimal işlem görmüş olması ve katkı maddesi listesinde yer almaması avantaj sağlar.

- **Protein Bazlı Hidrojeller**

Protein bazlı hidrojeller, gıda kaynaklı proteinlerin su veya emülsiyon şablonunda ağ oluşturma yeteneğini kullanır ve özellikle doku yapısının taklit edilmesi, su tutma ve düşük yağlı ürünlerde ağız hissi sağlanmasında önemli rol oynar (Karim ve Bhat, 2009). Protein türüne ve hazırlanma yöntemine bağlı olarak mekanik dayanım ve şişme özellikleri farklılık gösterir.

- **Hibrit Hidrojeller**

Hibrit hidrojeller, polisakkarit ve protein gibi farklı polimerlerin birlikte çapraz bağlanmasıyla oluşur. Bu melez sistemler, her iki bileşiğin avantajlarını bir arada sunarak mekanik güç, şişme kinetiği ve duyusal profilde dengeli bir performans sağlar (Ahmed, 2015). Özellikle tek polimer sistemlerde görülen zayıf yönleri (düşük mekanik dayanım, yavaş şişme) giderir.

Polisakkarit–protein kombinasyonları, örneğin jelatin–pektin sistemleri, yağ-su emülsiyonlarında hem fiziksel kararlılığı hem de viskoelastik reolojik özellikleri geliştirerek özellikle puding, dolgu kremaları ve benzeri gıdalarda daha doğal, dengeli bir doku elde edilmesine olanak tanır (Huang vd., 2022).

Gıda endüstrisinde hidrojeller; düşük kalorili ürün formülasyonlarında yağ yerine su tutucu, tekstür geliştirici ve stabilizatör olarak kritik rol oynar. Tür seçimi, şişme kinetiği, mekanik dayanım ve gıda güvenliği gereksinimlerine göre yapılmalı; kombine hibrit sistemler, geniş uygulama yelpazesinde en etkin çözümleri sunar.

1.1.3.3 Oleojeller

Oleojeller, hayvansal ve tropikal yağlar ile margarin ve katı yağlara işlevsel bir alternatif sunmak amacıyla geliştirilmiş, üç boyutlu ve susuz viskoelastik sistemlerdir. Geleneksel katı yağlar yalnızca enerji kaynağı olmakla kalmayıp; yapı oluşturma, kıvam kazandırma, aroma taşıma ve emülsiyon stabilitesi gibi çok yönlü teknolojik roller üstlenir, bu da yağ ikamesi çözümlerini oldukça karmaşık hâle getirir (Puşcaş vd., 2020).

Bu sistemler, düşük moleküler ağırlıklı (ör. mono-/di-gliseridler) veya polimerik (ör. pektin, selüloz türevleri) yapıdaki oleogelatörlerin yenilebilir sıvı yağlarla birleşmesiyle oluşur. Yağ sürekli fazı oluştururken, matrisin mekanik stabilitesi iyonik ortam değişikliklerinden bağımsız olarak korunur (Puşcaş vd., 2020).

Jelleşme mekanizması; hidrojen bağları, π–π istiflenmesi, elektrostatik etkileşimler ve van der Waals kuvvetleri gibi zayıf fiziksel etkileşimlerin bir arada işlemesiyle sağlanır (Hu vd., 2023).

Oleojel sistemlerinin temel bileşenleri, genellikle bir organik çözücü (çoğunlukla yenilebilir yağ) ve bu çözücüyü immobilize eden bir oleojelatörden oluşur. Oleojelatör olarak kullanılabilecek gıda sınıfı bileşenler arasında proteinler, polisakkaritler, yağ asitleri ve fitosteroller yer almakta olup, bu seçim hedeflenen gıda matrisinin yapısal ve işlevsel gereksinimlerine bağlı olarak şekillendirilmelidir (Patel vd., 2014). Çünkü başarılı bir yağ ikamesi, yalnızca besin değeri açısından değil; aynı zamanda yağın sağladığı teknolojik ve duyusal işlevlerin taklit edilmesiyle mümkündür.

Oleojellerin sürülebilirlik, doku, ağız hissi ve emülsiyon stabilitesi gibi teknolojik özellikleri yeniden yapılandırma kapasitesi, et ürünleri (sosis, köfte), süt ürünleri (peynir, yoğurt) ve fırıncılık ürünleri (ekmek, hamur işleri) gibi çok çeşitli gıda

sistemlerinde katı yağ alternatifi olarak kullanımına olanak tanımaktadır (Okuro vd., 2021). Ancak, nihai ürünün arzu edilen fiziksel, kimyasal ve duyusal niteliklerini sürdürebilmesi için kullanılan oleojelatör tipi, konsantrasyonu ve seçilen yağ fazının visko-reolojik, oksidatif ve duyusal profiller üzerindeki etkileri ürün bazında dikkatle değerlendirilmelidir (Puşcaş vd., 2020). Bu doğrultuda, oleojel sistemlerinin rasyonel tasarımı, hedeflenen uygulama alanı (et ürünleri, süt ürünleri, fırıncılık) ve beklenen işlevsel özellikler (yayılabilirlik, doku, aroma taşıma, kararlılık) çerçevesinde; düşük moleküler ağırlıklı ya da yüksek moleküler ağırlıklı oleojelatörlerin özenle seçilmesini ve işleme koşullarının optimize edilmesini gerektirir (Hu vd., 2023).

1.1.3.4. Oleojelatörler

Oleojelatörler, yağ bazlı formülasyonlarda jeller veya yarı katı sistemler oluşturmak için kullanılan maddelerdir. Yağ fazının viskozitesini veya kalınlığını değiştirmede önemli bir rol oynarlar ve jel benzeri bir kıvam elde edilir.

Gıda uygulamaları için kullanılan oleojelatörler gıda sınıfı olmalı, oleojelin duyusal nitelikleri üzerinde herhangi bir olumsuz etkiye sahip olmamalı, kullanılan konsantrasyonlarda ekonomik olmalı ve elde edilen oleojel geleneksel katı yağlara benzer özellikler göstermelidir.

Oleojelatörlerin güçlü jelleşme kapasitesi, oleojelatörlerin seçiminde bir diğer önemli faktördür çünkü bu özellik, daha az miktarda jelatörle gıda ürünlerinin özelliklerine ulaşılmasını sağlayacak ve dolayısıyla elde edilen oleojellerin duyusal özellikleri üzerindeki etkilerini azaltacaktır (Abdollahi vd., 2020).

Moleküler ağırlıklarına göre oleojelatörler, düşük moleküler ağırlıklı oleojelatörler (moleküler ağırlığı <3000 Da) ve yüksek moleküler ağırlıklı oleojelatörler olarak kategorize edilebilir (Sivakanthan vd., 2022)

- **Düşük Molekül Ağırlıklı Oleojelatörler (LMWOG)**

Düşük molekül ağırlıklı oleojelatörler (LMWOG), kendi kendini düzenleyerek sıvı yağ içinde kararlı bir kristal ağı oluşturur ve böylece oleojelin yapısal stabilitesini sağlar. Bu ağ, Van der Waals, hidrofobik etkileşimler ve hidrojen bağlarının birlikte çalışmasıyla meydana gelir ve sıcaklık ile kayma kuvvetlerine duyarlıdır (Manzoor

vd., 2022). LMWOG sınıfında monogliseridler, mumlar, mum esterleri, seramidler, hidroksile yağ asitleri, lesitin, fitosteroller ve oligopeptitler yer alır.

- **Yüksek Molekül Ağırlıklı Oleojelatörler (HMWOG)**

Yüksek molekül ağırlıklı oleojelatörler, proteinler ve polisakkaritler gibi büyük yapılı biyopolimerlerden oluşur; bu bileşenler hidrojen bağları, elektrostatik ve hidrofobik etkileşimler yoluyla sıvı yağlar içinde üç boyutlu bir ağ kurarak jel yapısını sağlar (Sivakanthan vd., 2022). Polimerik yapılandırıcıların moleküler ağırlığı, konformasyonu ve konsantrasyonu, elde edilen oleojelin viskoelastik özelliklerini doğrudan belirler; yüksek molekül ağırlıklı polisakkaritler ve proteinler gıda sınıfı yan ürünlerinden temin edilebildiği için hem düşük maliyetli hem de sürdürülebilir bir çözümdür (Mattice & Marangoni, 2017).

1.1.3.5 Gıda Uygulamaları İçin Oleogel Hazırlama

Oleojeller, sıvı yağların fiziksel özelliklerini değiştirerek katı benzeri yapıların elde edilmesini sağlar ve böylece gıda endüstrisinde trans ve doymuş yağlara alternatif, sağlıklı yapılar geliştirmek için önemli bir araştırma alanı oluşturur (Puşcaş vd., 2020). Bu sistemler, geleneksel yağların fonksiyonel rollerini taklit etme kapasitesiyle yakından ilişkilidir. Oleojel üretimi, oleojelatörlerin yağ fazıyla etkileşimi yoluyla üç boyutlu ağ yapıların ortaya çıkmasını sağlayan doğrudan ve dolaylı dağılım stratejileriyle gerçekleştirilir (Patel vd., 2014).

Triasilgliserol (TAG) formunda bulunan yağ asitleri, yağın içinde kristalleşerek floklar halinde bir araya gelir ve böylece üç boyutlu kolloidal bir yağ kristal ağı oluşturur. Bu ağ yapısı, yağın sıvı bileşenlerinin sürüklenmesini ve istenmeyen eksüdatasyonların önlenmesini sağlar (Marangoni & Garti, 2018). Oleojelleşme süreci, yüksek miktarda doymuş veya trans yağa ihtiyaç duymadan sıvı yağlara katı yağın belirleyici özelliklerini kazandırmayı amaçlar. Bu yapılandırma, yağ kristal ağını taklit eden yenilebilir ürünlerin üretilmesine olanak tanır. Bu süreçte, kullanılan çözücünün seçimi ve yağın polaritesi, oleojelin mekanik ve duyusal özelliklerini belirleyen temel faktörler arasında yer alır (Martins vd., 2018). Dahası, yağ asidi profili, kullanılan oleojelatör tipleriyle birlikte, son ürünün performansını doğrudan etkiler (Martins vd., 2020).

Sonuç olarak, oleojellerin başarılı bir yağ ikamesi olarak kullanılabilmesi için hem doğrudan hem de dolaylı dağılım stratejileri, kullanılan oleojelatörlerin tipine ve yağ fazının özelliklerine göre dikkatlice optimize edilmelidir. Bu yaklaşımlar, gıda uygulamalarında istenen reolojik, dokusal ve duyusal özelliklere ulaşabilmek adına kritik öneme sahiptir (Tadros, 2016; Schramm, 2014).

- **Doğrudan Dağılım**

Doğrudan dispersiyon metodolojileri, oleojelatörün erime noktasının üzerindeki sıcaklıklarda sıvı yağ fazına doğrudan eklenmesiyle başlar ve bu süreç, yağ içinde jelleştirici ağın oluşumunu tetikler (Patel vd., 2014). İlk aşamada, oleojelatörler ısı etkisiyle erir ve soğuma sürecine girer; bu soğuma sırasında çekirdeklenme ve kristal büyümesi meydana gelir. Kristaller, belirli bir yön doğrultusunda büyüyerek floklar oluşturur ve bu floklar, kendiliğinden birleşen bir ağ yapısına dönüşür. Bu ağ, yağın sıvı bileşenlerini hapsetmeye yardımcı olarak, oleojelin karakteristik katı benzeri yapısını ortaya çıkarır. Ayrıca, doğrudan dağılım yönteminde, oleojelatörlerin yağ fazındaki organize yapıları, kristalit konformasyonlar ya da kendiliğinden birleşen ağlar şeklinde iki farklı jelleşme mekanizması oluşturabilir (Martins vd., 2020). Bu yöntem, geleneksel katı yağların yapılandırılmasına benzerlik göstermekle birlikte, oluşan kristallerin türü, tek yönlü büyüme eğilimi ve düşük kütle yoğunluğunun sağladığı ağ yapısı açısından belirgin farklılıklar içerir (Patel vd., 2014). Öte yandan, doğrudan dağılım yaklaşımı (direct dispersion), yapılandırıcıların yağ fazına yüksek sıcaklıkta doğrudan eklenip hızla eriyerek homojen dispersiyon oluşturması ve soğuma esnasında ağ yapılarının hızla kurulmasını teşvik eder, böylece üç boyutlu jelleşme sürecini hızlandırır (Marangoni & Co, 2012). Dolaylı metodolojiler (ör. hidrojel-templated veya emülsiyon-şablonlama yöntemleri) ise önce sulu fazda bir iskelet oluşturup, ardından suyun uzaklaştırılması veya yağın yer değiştirmesi ile kararlı ağ yapısını meydana getirir (Dassanayake vd., 2011). Bu iki strateji, oleojel üretiminde kullanılan oleogelatörlerin yağ fazıyla etkileşime girerek kararlı üç boyutlu ağ yapıları oluşturması için kritik öneme sahiptir. Elde edilen yapı, oleojelin reolojik ve mekanik performansını iyileştirirken; termal ve oksidatif stabilite üzerinde de olumlu etki sağlar (Dassanayake vd., 2011).

- **Kristalit Konformasyonları**

Oleojellerde kristalit konformasyonlarının oluşumu, monogliseridler ve mum esterleri gibi lipit bazlı jelatörlerin sıvı yağ fazına doğrudan dispersiyonu ve ardından kontrollü soğutma ile sağlanır. Yüksek sıcaklıkta eriyen jelatörler yağ içinde homojen dağıldıktan sonra soğuma sürecinin başlamasıyla çekirdeklenir ve β, β′ ya da α polisomorf kristaller şeklinde büyür. Bu kristaller, küçük iğne benzeri ya da büyük pulcuk-şeklinde morfolojiler göstererek floklar halinde bir araya gelir; böylece yağın viskoelastik özelliklerini belirleyen stabil bir kristal ağ oluşturur (Zhang vd., 2023).

Kristal ağ, yağın akışkan bileşenlerinin hareketini kısıtlayarak oleojelin mekanik dayanıklılığını ve termoreversibilitesini artırır. Örneğin, orta zincirli yağ asitli monogliserit (GMC) ile hazırlanan oleojeller, uzun zincirli gliseritlere kıyasla hem daha yüksek kristalin dizilim (β ve β′ formda) hem de daha sıkı ağ yapısı sergileyerek mekanik ve termal stabiliteyi iyileştirir (Zhang vd., 2023).

Mum bazlı oleojellerde ise kristalleşme davranışı büyük ölçüde ester zincir uzunluğu ve doygunluk derecesiyle belirlenir. Saf mum esterleri monomoleküler katmanlar halinde ortogonal ya da eğik konformasyonlarda paketlenir; farklı soğutma hızları ise aynı WE bileşiğinde bile benzer kristal habitini tetikleyebilir. Kristal morfolojisini etkileyen safsızlıklar ve soğutma profilleri, jelin son mekanik ve duyusal özelliklerinin hassas ayarını mümkün kılar (Brykczynski vd., 2022).

- **Kendiliğinden Birleşen Ağlar**

Sıvı yağ sistemlerinde, oleogelatörlerin kendiliğinden organize olarak üç boyutlu ağ yapıları oluşturduğu ve "kendiliğinden birleşen ağlar" olarak tanımlanan bu yapılar, fiziksel etkileşimlerin bir araya gelmesiyle stabilize edilir. Bu ağlar, özellikle hidrojen bağları, van der Waals kuvvetleri, elektrostatik etkileşimler ve π–π istiflenmesi gibi zayıf, kovalent olmayan bağlarla oluşur (Singh vd., 2017). Bu yapılaşma, yağın akışkanlığının sınırlandırılmasını sağlayarak oleojelin viskoelastik özelliklerini belirler. Ayrıca, ağ yapısının homojen bir şekilde dağılması, ürünün depolama süresi ile termal ve oksidatif stabilitesine katkı sağlar. Mikroyapının ince ayarlanması ise yalnızca oleojelin mekanik dayanıklılığını artırmakla kalmaz, aynı zamanda ürünün görsel ve duyusal kalitesini optimize eder

(Perța-Crișan vd., 2023). Bu nedenle, kendiliğinden birleşen ağların etkin bir şekilde kontrolü, oleojellerin fonksiyonel performansını iyileştirmede kritik bir rol oynamaktadır.

Farklı jelatör tipleri, bu kendiliğinden birleşen ağ yapılarının oluşturulmasında farklı kristalit konformasyonlar sağlayabilir. Lipit bazlı jelatörler, örneğin mumlar, mum esterleri, monoasilgliseroller (MAG'ler), yağ asitleri ve yağ alkolleri gibi bileşikler, genellikle doğrudan dispersiyon stratejisiyle yağ fazına eklenerek kristal bir ağ oluştururlar (Patel vd., 2014). Bu yöntem, oleojelatörlerin erime noktasının üzerindeki sıcaklıklarda sıvı yağ içine doğrudan dispersiyonunu ve ardından soğuma süreciyle çekirdeklenme ve kristal büyümesinin tetiklenmesini içerir. Oluşan kristal yapılar, floklar halinde bir araya gelerek yağın sıvı bileşenlerini hapsetmekte ve böylece oleojelin istenen viskoelastik yapısının ortaya çıkmasına olanak tanımaktadır. Özellikle sterol bazlı oleojeller, LMOG (düşük moleküler ağırlıklı organik jelatör) sistemleri arasında en çok incelenen gruplardan biridir; bu bileşikler, yüksek kararlılıkları ve LDL kolesterolü düşürücü sağlık faydaları sayesinde tercih edilmektedir (Patel & Dewettinck, 2015; Pehlivanoğlu vd., 2017; Bot vd., 2008; European Food Safety Authority, 2012). Ayrıca, lipit bazlı jelatörler (mumlar, mum esterleri, monoasilgliseroller) genellikle yalnızca küçük bir saflaştırma veya konsantrasyon adımı gerektirir; bu da üretim maliyetleri açısından önemli bir avantaj sağlar (Silva vd., 2022).

Mum bileşiminin alkil ester zincir uzunluğu ve doygunluk derecesi, kristal çekirdeklenme ve büyüme sırasında ortaya çıkan polisomorf konformasyonları yönlendirir; böylece moleküler organizasyon doğrudan kontrol edilebilir (Marangoni & Co, 2012).

Ayrıca, jel oluşturma sırasında uygulanan kesme ve soğutma hızları, kristal morfolojisini değiştirerek oleojelin termal geri dönüşümlülüğü ve viskoelastik mekanik özellikleri üzerinde kritik etki yapar; bu parametreler ağ yapısının fonksiyonel performansını istenen standartlara ulaştırmak için optimize edilmelidir (Silva vd., 2022; Marangoni & Co, 2012). Bu nedenle, jelatör tiplerinin seçimi ve işlenme koşullarının optimizasyonu, ürünün son kalitesini belirleyen önemli parametrelerdendir. Buna ek olarak, lesitin gibi amfifilik moleküller de doğrudan dispersiyon yöntemlerinde ko-jelatör olarak kullanılabilir; lesitin, ters küresel misel oluşturduktan sonra polar çözücünün eklenmesiyle uzunlamasına tübüler yapılara

dönüşür ve bu yapılar, yağ fazını hapseden stabil ağlar oluşturur (Kumar & Katare, 2005). Çok bileşenli oleojel sistemlerinde, mumlar, fitosteroller ve diğer yapılandırıcılar arasındaki sinerjik etkileşimler, tek bileşenli sistemlere göre iyileştirilmiş reolojik özellikler sağlayabilmektedir Okuro vd. (2018). Sonuç olarak, doğrudan dispersiyon yoluyla gerçekleştirilen bu yapılandırma sistemi, oleojelin hem fonksiyonel hem de duyusal özelliklerinin optimize edilmesi açısından önemli bir yöntem olarak kabul edilmektedir.

- **Dolaylı Dağılım**

Dolaylı dağılım stratejileri, oleojelatörlerin önce sulu veya alternatif bir fazda çözündürülerek daha sonra yağ fazına aktarılmasıyla jelleşme sürecinin başlatılmasını içerir (Patel vd., 2014). Bu yöntem, doğrudan dağılımdan farklı olarak ara faz geçiş mekanizmalarını kullanır ve bu sayede kullanılabilecek oleojelatör tiplerinin yelpazesini önemli ölçüde genişletir. Son yıllarda, yağ yapılandırmasına yönelik dolaylı yaklaşımlar giderek daha fazla ilgi görmüş olup, yalnızca EC tipi oleojelatörler değil, proteinler, polisakkaritler ve polimerler de bu yöntemle yağ jelatörleri olarak kullanılabilmektedir (Okuro vd., 2020). Dolaylı yöntemler, iki fazlı emülsiyon bazlı stratejiler ve çözücü değişim metodolojilerini kapsar; bu stratejilerle oluşturulan mikro yapı, uzun süreli depolama sırasında yağın sızmasını engelleyerek, büyük miktarda sıvı yağın yumuşak, katı benzeri bir yapı içinde etkili biçimde hapsedilmesini sağlar (Davidovich-Pinhas vd., 2016). Bu yöntem, ara fazın değiştirilmesiyle elde edilen yapı sayesinde hem ürün stabilitesini artırmakta hem de son ürünün duyusal özelliklerinin optimize edilmesine olanak tanımaktadır. Sonuç olarak, dolaylı dağılım stratejileri, oleojel üretiminde yapılandırıcı malzemelerin seçimini ve uygulama koşullarını esnek hale getirerek, geniş bir ürün yelpazesinde istenen özelliklerin elde edilmesine zemin hazırlar.

  - **Çözücü Değişim Metodolojileri**

Çözücü Değişim Metodolojileri (solvent exchange) dolaylı bir yağ yapılandırma stratejisidir; özellikle suda çözünmeyen veya düşük çözünürlüklü protein bazlı oleojelatörler için kullanılabilir. De Vries ve arkadaşları (2015) yaptıkları çalışmada, ısıtılarak jelleştirilmiş whey protein hidrojellerini önce asetonda veya tetrahidrofuranda işlemden geçirip kademeli olarak ayçiçek yağı içinde solvent değiştirerek tamamen yağ fazına geçiş sağladılar. Bu süreç sonunda elde edilen

oleojellerin yağ bağlama kapasitesi hidrojel haline göre %91'e kadar çıkarken, Young modüllerinin iki kat arttığı ve mekanik olarak daha dayanıklı hale geldiği gözlemlendi. Bu bulgular, özellikle protein hidrojel yapıtaşlarının yağ fazına etkin bir şekilde taşınarak yüksek mekanik performanslı ve yapısal kararlılığa sahip oleojeller elde etmek için çözücü değişim yönteminin etkili ve uygulanabilir olduğunu göstermektedir (de Vries vd., 2015).

Bu yöntem, özellikle suda çözünmeyen veya düşük çözünürlüklü oleojelatörler için tercih edilen bir stratejidir. Çözücü değişimi sürecinde, oleojelatör molekülleri yağ fazında organize olarak ağ yapıları oluşturur ve bu ağın yoğunluğu ile homojenliği, kullanılan çözücüye ve sürecin kinetiğine bağlı olarak değişir. Uygun çözücü seçimi, oleojelin mikroyapısının ve dolayısıyla fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesinde kritik bir rol oynar (Martins vd., 2018). Ayrıca bu metodoloji, birden fazla oleojelatörün aynı sistemde kullanılmasına olanak tanıyarak, termal ve mekanik özelliklerin optimize edilmesini sağlar (Martins vd., 2018; Scholten, 2019).

- **Emülsiyon-Şablon Metodolojileri**

Emülsiyon-Şablonlama Metodolojisi, oleojel üretiminde yaygın olarak kullanılan dolaylı bir yöntemdir ve özellikle biyopolimerlerin (proteinler ve polisakkaritler) oleojelatör olarak kullanımındaki sınırlamaları aşmak adına önemli bir yaklaşım sunar. Bu yöntemde ilk olarak, proteinler veya polisakkaritler yardımıyla su ve yağ fazlarının karıştırılmasıyla stabil emülsiyonlar oluşturulur. Ardından, suyun uzaklaştırılması ile birlikte yağ fazında, arayüzde organize olan oleojelatörlerin oluşturduğu üç boyutlu ağ yapısı oluşur. Böylece sıvı yağ, biyopolimer bazlı ağ içerisinde fiziksel olarak hapsolur ve kararlı bir oleojel meydana gelir (Patel vd., 2014).

Bu yaklaşım, çoğunluğu hidrofilik özellik gösteren gıda sınıfı polimerlerin oleojel üretiminde kullanılmasına olanak tanıyarak, uygulama alanlarını genişletmektedir. Özellikle amfifilik özellik gösteren polisakkaritler, yağ fazı ile daha etkin etkileşim kurarak arayüz tabakasının organizasyonuna katkı sağlamaktadır. Ayrıca, emülsiyon-şablonlama yöntemi, yağ damlacıklarının boyutunu ve dağılımını

kontrol ederek ürünün mikroyapısının ve dolayısıyla reolojik özelliklerinin iyileştirilmesini mümkün kılar (Hu vd., 2023).

Gıda endüstrisi açısından bakıldığında, bu yöntemle geliştirilen oleojellerin düşük trans yağ içeriği, termal geri dönüşümlülük, oksidatif stabilite gibi avantajlar sunduğu bildirilmiştir (Patel vd., 2014). Ayrıca bu oleojellerin mekanik ve duyusal özellikleri, hedef uygulamaya göre ayarlanabilir niteliktedir. Sonuç olarak, emülsiyon-şablonlama, yüksek performanslı, stabil ve fonksiyonel oleojel sistemlerinin geliştirilmesinde kritik rol oynamaktadır.

Bu bağlamda, literatürde emülsiyon-şablonlama yöntemiyle geliştirilen oleojel sistemlerine yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Söz konusu çalışmalar, farklı protein ve polisakkarit bileşenlerin kullanımıyla elde edilen oleojellerin yapısal, fonksiyonel, duyusal ve uygulama bazlı özelliklerini detaylı bir şekilde inceleyerek bu yöntemin çok yönlü potansiyelini ortaya koymaktadır. Aşağıda, bu yaklaşım temelinde gerçekleştirilen güncel araştırmalara dair öne çıkan örneklere yer verilmiştir.

Chen vd. (2023) yaptığı bir çalışmada, tamamen doğal iki bileşen olan Quillaja saponin (QS) ve narenciye posa lifi (CDF) bir araya getirilerek önce yüksek iç fazlı emülsiyon jelleri (HIPE-Gel), ardından bu jellerden oleojellerin hazırlanması amaçlanmıştır. QS, yağ-su ara yüzeyinde yüzey aktif madde olarak görev yaparken, CDF hem damlacık çevresinde hem de sürekli fazda hidrojen bağları oluşturarak jel yapısını stabilize eder. Çalışma kapsamında yalnızca %0,045 QS ve %0,3 CDF ile oldukça küçük damlacıklı, yüksek viskoelastik özellikli ve uzun süre kararlı HIPE-Geller elde edilmiş, ardından bu yapıların suyunun uzaklaştırılmasıyla QS ve CDF oranlarına bağlı olarak mekanik dayanımı ve ısıya karşı direnci ayarlanabilen oleojeller geliştirilmiştir. Sonuç olarak, bu doğal bileşenler kullanılarak geliştirilen sistem, geleneksel doymuş ve trans yağların yerine daha sağlıklı alternatifler sunma potansiyeli taşımaktadır (Chen vd., 2023).

Li vd. (2023) yaptığı bir çalışmada, bambu filizi proteini (BSP) ile soya proteini izolatı (SPI) kullanılarak emülsiyon şablon yöntemiyle hazırlanan oleojellerin yapısal, mekanik ve sindirim özellikleri incelenmiştir. Çeşitli BSP:SPI oranlarında oluşturulan emülsiyonlardan elde edilen jeller, mekanik testlerde özellikle %50:50

formülasyonunda yüksek sertlik ve termal kararlılık göstermiş; mikroyapı analizleri protein karmasının yağ damlacıklarını sıkıca sararak gözenekli bir üç boyutlu ağ oluşturduğunu ortaya koymuştur. İn vitro lipaz sindirim deneylerinde SPI bakımından zengin jeller daha hızlı yağ salımı gerçekleştirirken, BSP içeriğinin yüksek olduğu jellerde daha yavaş ve düzenli bir serbest bırakma profili gözlenmiştir. Elde edilen bulgular, BSP-SPI karışımlarının hem dayanıklı jel yapılar hem de ayarlanabilir sindirim kinetiği sunan sağlıklı yağ taşıyıcı sistemler geliştirmede umut vaat ettiğini göstermektedir (Li vd., 2023).

Ma vd. (2023) yaptığı bir çalışmada, yüksek rakımlı arpa β-glukanı ve soya proteini izolatı (SPI) kullanılarak keten tohumu yağı bazlı oleojellerin mikro yapısı, jel özellikleri ve bu jellerin şarküteri ürünü (lunjın eti) formülasyonuna uygulanabilirliği araştırılmıştır. Öncelikle farklı β-glukan:SPI oranlarında hazırlanan oleojeller, mikroskopik analizlerde düzenli ve sıkı bir ağ matriksi oluşturmuş; dinamik mekanik testlerde ise özellikle %3 β-glukan ve %7 SPI içeren formülasyonun en yüksek depolama modülünü (G′) ve düşük kayma ilişkisini gösterdiği saptanmıştır. Isıl analizler, bu formülasyonun ısıya karşı dayanıklı jel yapısı sunduğunu ortaya koyarken, duyusal denemelerde oleojel katkılı lunjın etinin kesim özellikleri, yayılma kolaylığı ve ağızda bıraktığı yağlılık hissi bakımından kontrollü ürünlere benzer performans gösterdiği bulunmuştur. Bulgular, yüksek rakımlı arpa β-glukanı ile desteklenen SPI-bazlı oleojellerin, keten tohumu yağı kullanılarak geliştirilen alternatif yağ matrisi olarak işlenmiş et ürünlerinde başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir (Ma vd., 2023).

Xie vd. (2023) yaptığı bir çalışmada, hint hurması (Tamarindus indica) tohumu polisakkaridi (TSP) ve jelatin kullanılarak emülsiyon-temelli oleojellerin hazırlanması, bileşenler arası etkileşim mekanizmaları, karakterizasyonu ve gıda uygulamalarındaki potansiyeli araştırılmıştır. Araştırmacılar, TSP'nin yüzey aktif ve jel oluşturma özellikleri ile jelatin'in film formasyonu yeteneğini birleştirerek, stabil bir oleojel matriksi geliştirmeyi hedeflemiştir. Farklı TSP:jelatin oranlarında hazırlanan emülsiyonlardan elde edilen oleojeller, dinamik mekanik analizlerde ideal viskoelastik özellikler sergilemiş; Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopi ve termogravimetrik analiz, polisakkarid ile jelatin arasında hidrojen bağı ve hidrofobik etkileşimler olduğunu doğrulamıştır. Mikroyapı incelemeleri, TSP

kapsüllerinin ve jelatin ağının birlikte oluşturduğu sıkı bir üç boyutlu yapı sayesinde oleojellerin uzun süreli stabilite ve düşük yağ ayırması sunduğunu göstermiştir. Uygulama çalışmalarında bu oleojel, düşük yağlı kremalı sos ve işlenmiş et ürünlerinde %30–50 oranında yağ ikamesi olarak başarıyla kullanılarak, sensör analizi ve reolojik testlerde geleneksel formülasyonlarla benzer duyusal ve kıvam özellikleri yakalamıştır. Çalışma, TSP ve jelatinin sinerjik etkileşimiyle geliştirilen emülsiyon-temelli oleojellerin gıda endüstrisinde hem sağlık hem de fonksiyonellik açısından umut vadettiğini göstermektedir (Xie vd., 2023).

Xu vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, metilselüloz (MC) bazlı oleojellerde farklı polisakkarit kıvamlaştırıcıların — özellikle karragenan, ksantan zamkı ve sodyum karboksimetilselülozun (CMC) — ceviz yağı oleojellerinin hazırlanması, yapısal özellikleri ve kurkumin salım performansına etkisi araştırılmıştır. Araştırmada, karragenan içeren oleojellerin en yüksek depolama modülüne (G′) ve yoğun yağ hapseden ağ yapısına sahip olduğu belirlenmiştir. Ksantan zamkı katkılı formülasyonlar ise daha homojen gözenek dağılımı ve hızlı şişme kinetiği sunarken, CMC içeren oleojeller orta düzey mekanik dayanım ve kontrollü kurkumin salım profili göstermiştir. İn vitro sindirim simülasyonları, karragenanlı oleojellerde kurkumin biyoyararlanımında yaklaşık %60 artış olduğunu ortaya koyarken, ksantan zamkı ve CMC içeren formülasyonlarda daha yavaş ve sürekli bir salım profili gözlenmiştir. Bu sonuçlar, polisakkarit kıvamlaştırıcı seçiminin MC bazlı oleojellerde jel yapısı ve fonksiyonel katkı maddelerinin kontrollü salımı üzerinde önemli etkileri olduğunu ve karragenanlı sistemlerin kurkumin taşıyıcıları için en uygun performansı sunduğunu göstermektedir (Xu vd., 2023).

Brito vd. (2022) yaptığı bir çalışmanın amacı, vanilin ile çapraz bağlanarak kitosan bazlı oleojeller geliştirmek ve emülsiyon-şablon yöntemiyle elde edilen bu jelleri yağ ikamesi olarak gıda formülasyonlarında test etmektir. Araştırmacılar, kitosanın amino grupları ile vanilinin aldehit grupları arasında Schiff bazı oluşumuna dayalı kovalent çapraz bağlar kurarak, sıvı yağ damlacıklarının etrafında ve sürekli fazda sağlam üç boyutlu ağ yapılarını hedeflemişlerdir. Farklı kitosan:vanilin oranlarında hazırlanan oleojeller, FTIR ve NMR analizleriyle çapraz bağ oluşumunun doğrulandığı; SEM görüntüleriyle ise sıkı ve homojen gözenekli mikro yapının elde edildiği saptanmıştır. Mekanik testlerde, orta düzeyde vanilin içeren formülasyonlar

en yüksek depolama modülü (G′) ve uygun yayılma dirençleri sunarken, reolojik ölçümler shear-thinning karakterini korumuştur. Uygulamada, bu oleojeller beyaz peynir ve krema içeren soslarda yağın %30–50'sini ikame ederek, sensör analizinde doyurucu bir dudak hissi ve stabil emülsiyon yapısı sağlamıştır. Çalışma, vanilin çapraz bağlı kitosan oleojellerinin hem yapısal dayanıklılık hem de duyusal performans açısından yağ ikamesi olarak potansiyel taşıdığını göstermektedir (Brito vd., 2022).

Espert vd. (2022) yaptığı bir çalışma, ksantan zamkı temel alınarak çeşitli yapılandırıcı ajanlarla (örneğin karboksimetilselüloz, guar gam ve jelatin) emülsiyon-şablon yöntemiyle oluşturulan oleojellerin reolojik özelliklerini karşılaştırmayı amaçlamıştır. Farklı zamk/jelleştirici ajan oranlarında hazırlanan oleojellerde dinamik mekanik analizler, özellikle %1,5 ksantan–%0,5 jelatin kombinasyonunun en yüksek depolama modülü (G′) ve düşük kayma değerleriyle en güçlü jel ağını ortaya koyduğunu göstermiştir. Karboksimetilselüloz katkılı formülasyonlarda Newtonyen akışa daha yakın davranış gözlenirken, guar gam içeren jeller "pseudo-plastik" karakterini belirgin biçimde korumuş ve daha yüksek viskoziteler sunmuştur. Tüm sistemler, uygulanan kayma hızlarına karşı shear-thinning özellik sergileyerek gıda formülasyonlarında yayılma ve dilimlenme performansı için uygun akış davranışı sağlamıştır; ayrıca jel sertliği ve elastisite şiddeti, yapılandırıcı ajan seçimine bağlı olarak geniş bir aralıkta ayarlanabileceğini ortaya koymuştur (Espert vd., 2022).

Bascuas vd. (2021) yaptığı bir çalışmada, hidroksipropil metilselüloz (HPMC), ksantan zamkı ve pektin gibi hidroklorid bazlı oleojellerin çikolata kreması formülasyonlarında yağ alternatifi olarak kullanılabilirliği yapısal ve duyusal açıdan değerlendirilmiştir. Araştırmacılar, geleneksel kakao yağı içeren formülasyonlarla karşılaştırmak üzere her bir hidroklorid-oleojelden %30 yağ ikamesi yaparak reçeteler hazırlamış; viskozimetrik ölçümler, diferansiyel taramalı kalorimetri ve hızla sertleşme (hardness) testleri ile yapısal özellikleri incelemişlerdir. Sonuçlar, HPMC-bazlı oleojel formülasyonunun en yüksek depolama modülü (G′) ve erime profili bakımından geleneksel ürüne en yakın davranışı sergilediğini; ksantan ve pektin içeren jellerin ise sırasıyla daha yumuşak dokular ve hafif gecikmiş erime sunarak farklı duyusal tercihlere hitap ettiğini

göstermiştir. Duyusal panel testlerinde, HPMC-oleojel destekli çikolata kreması, ağızda "ağırlıklı" ve "kaygan" his açısından kontrollere yakın puan alırken; ksantan-ve pektin-ileşmeli formülasyonlar "hafif" ve "ferah" algısı yaratarak yenilikçi alternatifler olduğunu kanıtlamıştır. Bu bulgular, hidroklorid bazlı oleojellerin farklı dokusal ve erime özellikleri ile çikolata kremalarında doymuş yağ oranını düşürürken duyusal kabulü koruyabileceğini ortaya koymaktadır (Bascuas vd., 2021).

Huang vd. (2021) yaptığı bir çalışmanın amacı, narenciye kabuklarından elde edilen pektin zengini diyet liflerinin yapısal ve fizikokimyasal özelliklerini karakterize etmektir. Araştırmada, farklı ekstraksiyon koşulları (asit konsantrasyonu, sıcaklık ve süre) kullanılarak izole edilen pektinli lif örnekleri, FT-IR spektroskopisiyle yapısındaki esterleşme derecesi ve galakturonik asit içeriği bakımından değerlendirilmiş; termogravimetrik analiz, liflerin ısıya dayanıklılığını ortaya koymuş; ayrıca X-ışını difraksiyonu ölçümleri, amorf ve kısmen kristalin bölgelerin dağılımını göstermiştir. Su ve yağ bağlama kapasitesi testleri, en yüksek darbe mukavemeti ve jel oluşum yeteneğinin, orta düzey esterleşme derecesi (%70–75 DE) ve yüksek galakturonik asit içeriğine (≥65 %) sahip lif örneklerinde gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Ayrıca reolojik incelemeler, bu liflerin düşük konsantrasyonlarda (%1–2) bile viskoziteyi anlamlı artırarak emülsiyon ve jel stabilizasyonuna katkı sağladığını göstermiştir. Sonuçlar, pektin zengini diyet liflerinin gıda formülasyonlarında kıvam verici, su-yağ bağlayıcı ve yapısal güçlendirici ajan olarak kullanılmaya uygun olduğunu ve ekstraksiyon parametrelerinin bu fonksiyonel özellikleri hassas şekilde ayarlamaya imkân tanıdığını ortaya koymaktadır (Huang vd., 2021).

Li vd. (2021) yaptığı bir çalışmanın amacı, beş farklı jelatör—hidroksipropil metilselüloz (HPMC), monoasilgliserol (MAG), sodyum stearil laktat (SSL), pirinç kepeği mumu (RBW) ve balmumu (BW)—ile hazırlanan oleojellerin kurabiye yapımındaki performansını karşılaştırmaktır. Araştırmada elde edilen oleojeller, HPMC bazlı sistem hariç tüm formülasyonlarda MAG, RBW ve geleneksel shortening'e benzer yüksek depolama modülü (G′), düşük kayma direnci ve gözenekli mikro yapı göstermiştir. Özellikle MAG ve RBW formülasyonları, hem mekanik dayanım hem de renk değerleri (L*, a*, b*) açısından shortening ile yakın

sonuçlar vermiş; duyusal değerlendirmede de RBW (%3,9), MAG (%4,3) ve shortening (%4,1) arasında benzer puanlar elde edilmiştir. Balmumu ve RBW gibi mum bazlı oleojellerde ise β' kristal içeriği ve katı yağ içeriğinin artması, kurabiye sertliğini düşürürken; emülgatör bazlı oleojellerde bu ilişki β' kristal içeriğine ve SFC'ye bağlı bulunmamıştır. Bu bulgular, MAG ve RBW'nin kurabiye yapımında en uygun jelatörler olduğunu ve oleojellerin shortening kalitesini yakalamak için umut veren bir yaklaşım sunduğunu göstermektedir (Li vd., 2021).

Pan vd. (2021) tarafından yürütülen bir çalışmada, kamelya yağı (Camellia oleifera oil) bazlı oleojeller ve bu oleojellerden elde edilen oleojel emülsiyonlarının fiziksel özellikleri ile oksidatif stabiliteleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmada oleojel yapıcı madde olarak gliserol monolaurat (GML) kullanılmış ve farklı GML konsantrasyonlarının jel özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, GML oranı arttıkça oleojellerin sertliğinin, depolama modülünün (G′) ve yayılma direncinin önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Mikroyapısal analizlerde, yüksek GML içeriğinin daha sıkı ve homojen kristal ağ yapılarının oluşumunu teşvik ettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, oleojel emülsiyonlarının bu yapılar içinde yağ damlacıklarını etkili bir şekilde stabilize ettiği ve geleneksel emülsiyonlara kıyasla daha düşük kırılma modülü ve daha iyi mekanik esneklik sunduğu belirlenmiştir. Oksidatif stabilite testlerinde ise, özellikle oleojel emülsiyonlarının, serbest kamelya yağına kıyasla peroksit değeri ve p-anisidin sayısındaki artışı önemli ölçüde yavaşlattığı tespit edilmiştir. Bu durum, GML kristal yapısının oksijen difüzyonunu kısıtlaması ve emülsiyon sisteminde bulunan antioksidan bileşenlerin damlacık arayüzlerinde birikerek oksidatif bozulmayı geciktirmesiyle açıklanmıştır. Çalışma, kamelya yağı bazlı oleojel sistemlerinin gıda ürünlerinde hem yapısal dayanıklılığı artırabileceğini hem de raf ömrünü uzatabileceğini ortaya koymaktadır (Pan vd., 2021).

Abdolmaleki vd. (2020) yaptığı bir çalışmada, sodyum kazeinat (CN), ksantan zamkı (XG) ve guar zamkı (GG) içeren ikili ve üçlü hidrojel sistemlerinden oleojellerin üretimi ve bu sistemlerin farklı kurutma yöntemleriyle stabilize edilmesi araştırılmıştır. Araştırmada, %0,5–1,5 aralığında değişen hidrojel oranlarında hazırlanan karışımlar hem dondurarak kurutma hem de sprey kurutma ile işlenmiştir. Sonuçlar, özellikle %1 CN, %0.43 XG ve %0.98 GG içeren üçlü

formülasyonun dondurarak kurutmada en yüksek jel mukavemetini, sprey kurutmada ise en hızlı rehidrasyon kapasitesini sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca, CN–XG ikilisinin yüksek depo modülü (G′) ve ezilme direnci sunduğu; GG ilavesinin ise jelin yayılma direncini ve viskoelastik davranışını artırdığı belirlenmiştir. Dondurarak kurutma yöntemi, daha gözenekli mikro yapı ve yüksek su tutma kapasitesi sağlarken, sprey kurutma yöntemi daha ince partikül yapısı ve hızlı yeniden yapılandırma avantajı sunmuştur. Bu bulgular, oleojel üretiminde hem tekstürel hem de fonksiyonel performans açısından hidrojel oranlarının ve kurutma tekniklerinin dikkatle optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir (Abdolmaleki vd., 2020).

Jiang ve çalışma arkadaşları (2018), emülsiyon şablon yöntemi kullanarak selüloz temelli oleojellerin üretimini ve karakterizasyonunu gerçekleştirmiştir. Çalışmada, mikrokristalin selüloz (MCC) ve karboksimetil selüloz (CMC) içeren emülsiyonlar hazırlanarak, suyun uzaklaştırılmasıyla üç boyutlu ağ yapıları oluşturulmuş ve bu yapıların oleojel formuna dönüştürülebileceği gösterilmiştir. Hazırlanan yapıların reolojik analizleri sonucunda yüksek depolama modülü (G′) ve shear-thinning davranışı sergilendiği belirlenmiştir. Aynı zamanda, bu selüloz bazlı sistemlerin mikroyapı analizlerinde MCC liflerinin yağ fazı içinde homojen olarak dağıldığı ve sürekli bir ağ matrisi oluşturduğu gözlemlenmiştir. Isıl özellikleri değerlendirmek amacıyla yapılan diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizleri, bu oleojellerin termal olarak kararlı yapılar sunduğunu ortaya koymuştur. Tüm bu bulgular, MCC ve CMC gibi selüloz türevlerinin emülsiyon şablon yöntemiyle geliştirilen oleojel sistemlerinde başarılı birer yapılandırıcı ajan olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Jiang vd., 2018).

1.1.4 Emülsiyon Sistemleri ve Pickering Emülsiyonlarının Gıda Uygulamalarındaki Rolü

Emülsiyonlar, birbirine karışmayan iki sıvının, emülsifiye edici ajanlar yardımıyla homojen görünümlü heterojen sistemler oluşturmasıdır ve temel olarak yağ-su (O/W) veya su-yağ (W/O) tiplerinde sınıflandırılır. Bu sistemlerde stabilizasyon genellikle yüzey aktif moleküller aracılığıyla sağlanır; emülgatörler, yağ damlacıklarının yüzeyine adsorbe olarak hidrofobik kuyruklarını yağ fazına,

hidrofilik uçlarını ise sürekli faza yönlendirir, böylece ara yüzey gerilimini azaltarak tek katmanlı bir film oluşturur ve damlacıkların koalesansını engeller. Ayrıca, elektrostatik itme ve sterik bariyer mekanizmaları da emülsiyon kararlılığını destekler (Chevalier & Bolzinger, 2013). Emülsiyonların üretimi yüksek kesme, ultrasonik homojenizasyon veya yüksek basınçlı pompalama gibi tekniklerle gerçekleştirilir; bu işlemler küçük damlacıkların oluşturulmasını sağlayarak süspansiyonu stabilize eder (McClements, 2011). Ancak konvansiyonel emülsiyonlar termodinamik olarak kararsız olup zamanla flokülasyon, koalesans, kremleşme ve Ostwald olgunlaşması gibi süreçlerle bozunabilir. Bu noktada Pickering emülsiyonları, yüzey aktif maddeler yerine ince katı parçacıkların ara yüzeyde adsorbe olmasıyla damlacıklar arasında güçlü bir bariyer oluşturarak üstün kinetik stabilite sağlar (Chevalier & Bolzinger, 2013). Katı partiküller sayesinde, Pickering sistemleri hem toksisite riskini azaltır hem de biyouyumluluğu artırarak gıda uygulamalarında maliyet etkin ve sağlıklı bir alternatif oluşturur (Dinsmore vd., 2002). Bu özellikler, Pickering emülsiyonlarını, geleneksel sistemlere kıyasla daha dayanıklı ve uzun ömürlü kılarak modern gıda teknolojilerinde yaygın kullanım potansiyeline sahip kılmaktadır (McClements, 2011).

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışması, endüstriyel fırıncılık ürünlerindeki kremalarda geleneksel olarak yüksek doymuş yağ içeriğine sahip palm yağı ve shortening yerine, emülsiyon-şablonlama metodolojisiyle optimize edilmiş ayçiçek yağı bazlı oleojellerin kullanılabilirliğini araştırmayı amaçlamaktadır. Artan tüketimle birlikte palm yağının, beslenme alışkanlıklarına getirdiği yüksek doymuş yağ ve kolesterol yükü; obezite, diyabet, hipertansiyon ve kardiyovasküler hastalık riskini artırmaktadır. Bu nedenle, bitkisel yağların yapılandırılarak formülasyona doğrudan dahil edilmesi stratejileri arasında yer alan oleojeller, fırıncılık ürünlerinin besin profilini iyileştirirken teknolojik işlevlerini de koruma potansiyeli taşımaktadır. Tezde, önce farklı emülsiyon şablon parametreleri (oleojelatör türü, konsantrasyon, yağ-su oranı ve işlem koşulları) optimize edilerek ayçiçek yağı bazlı oleojeller hazırlanacak, sonraki aşamada bu jellerin mikroyapı, reolojik davranış, termal ve oksidatif kararlılık özellikleri detaylı olarak karakterize edilecektir.

Elde edilen oleojellerin palm yağı içeren referans kremaların viskoelastik, duyusal ve yayılma özelliklerini ne ölçüde taklit edebileceği değerlendirildikten sonra, başarılı formülasyonlar krema üretiminde yağ ikamesi olarak uygulanacaktır. Böylece hem doymuş yağ oranı düşürülecek hem de fırıncılık ürünlerinin istenen yapı ve ağız hissi korunacaktır. Ayrıca palm yağı üretiminin yol açtığı tropik orman tahribatının önüne geçilmesine de katkı sağlanması hedeflenmektedir; sürdürülebilir, ormansızlaşmayı engelleyen formülasyonlar geliştirerek hem sağlık hem de çevresel sorumluluk boyutunda yenilikçi çözümler sunulması amaçlanmaktadır.

1.3 Hipotez

Bu tez çalışmasının temel hipotezi, limon lifi ve guar zamkı karışımlarıyla elde edilen hidrojellerin ayçiçek yağı ile emülsiyon-şablonlama ve kurutma adımları sonucunda stabil oleojellere dönüştürülebileceği ve bu oleojellerin palm yağı yerine kullanılabilir kremamsı bir doku ve yayılma karakteristiği sunacağıdır.

Bu ana hipotezi desteklemek üzere şu alt hipotezler öne sürülmüştür:

1. Farklı limon lifi–guar zamkı oranlarıyla hazırlanan hidrojellerin, ayçiçek yağı eklendikten sonra homojenize edilip uygun kurutma koşullarında işlenmesiyle elde edilen oleojeller, mekanik mukavemet, viskoelastik özellik ve oksidatif kararlılık bakımından birbirinden farklı performanslar sergileyecek; optimum hidrojel bileşimi, palm yağı referans kremasının tekstürel profilini en yakın şekilde taklit edecektir.

2. Seçilen optimum oleojel formülasyonunun, bisküvi ve kremalı kek uygulamalarında palm yağı içerikli geleneksel formülasyonlarla karşılaştırıldığında doymuş yağ içeriğini anlamlı şekilde azaltırken—doku, renk, yayılma ve duyusal özellikler bakımından benzer veya üstün performans göstereceği varsayılmaktadır.

3. Bu çalışma kapsamında geliştirilen oleojel tabanlı kremaların, palm yağı üretiminden kaynaklanan ormansızlaşma ve çevresel baskıyı azaltıcı sürdürülebilir bir alternatif oluşturacağı ve sağlık açısından da daha düşük

doymuş yağ profiliyle tüketici beklentilerine yanıt vereceği öngörülmektedir.

2

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyaller

Ayçiçek yağı – yudum, palm yağı- Türkiye'deki yerel satışlardan temin edilmiştir. Limon lifi -plentia ve guar gum – alfasol markalarından temin edilmiştir. Bu çalışmada, yağ fazı olarak kullanılan ayçiçek yağı, palm yağı, yağsız süt tozu, mısır nişastası, pudra şekeri, ve tuz Türkiye'deki yerel pazarlardan temin edildi. Tüm kimyasal malzemeler ve standartlar Sigma Chem. Co. (St. Louis, MO, ABD) ve Merck'ten (Darmstadt, Almanya) satın alındı.

2.2 Yöntem

2.2.1 Hidrojel, Emüljel ve Oleojellerin Hazırlanması

Formülasyonda, %0,5-1 arasında değişen guar gam ve %3-5-7,5 arasında değişen oranlarda limon lifi suda çözündürülerek 9 hidrojel (HJ) oluşturulmuştur. Bunlar;

HJ1: %3 limon lif

HJ2: %0,5 guar gam + %3 limon lif

HJ3: %0,1 guar gam + %3 limon lif

HJ4: %5 limon lif

HJ5: %0,5 guar gam + %5 limon lif

HJ6: %1 guar gam + %5 limon lif

HJ7: %7,5 limon lif

HJ8: %0,5 guar gam + %7,5 limon lif

HJ9: %1 guar gam + %7,5 limon lif

Bu hidrojeller (%55 oranında) ve ayçiçek yağı (%45 oranında), ULTRA-TURRAX homojenizatör (IKA-Works Inc.) kullanılarak 10000 rpm'de 3 dakika boyunca homojenize edilmiştir. Elde edilen emülsiyonlar, -55 °C sıcaklık ve 1 hPa basınçta 72 saat boyunca bir dondurarak kurutucu (Martin Christ, Beta 1–8 LSC plus, Osterode am Harz, Almanya) ile kurutulmuştur. Kurutma işlemi tamamlandıktan

sonra, numuneler ev tipi bir kahve öğütücüsü (Kiwi-KSPG-4812) ile 60 saniye boyunca parçalanmış ve bu işlem sonucunda oleojeller elde edilmiştir. Hazırlanan oleojeller, analiz sürecine kadar +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

2.2.2 Reolojik Analizler

Oleojel, hidrojel ve bisküvi krema örneklerinin reolojik özellikleri, stres ve sıcaklık kontrollü Peltier sistemine sahip bir reometre (MCR 302; Anton Paar, Avusturya) ile belirlenmiştir. Reolojik analizler, 25 °C sabit sıcaklıkta ve üç tekrar olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin reolojik analizlerinde, paralel plaka konfigürasyonu kullanılmış olup, reometre probu (PP25) ile alt numune plakası arasındaki boşluk 1 mm olarak ayarlanmıştır.

Hidrojel, oleojel ve bisküvi kreması numunelerinin dinamik reolojik özellikleri, paralel plaka konfigürasyonu kullanılarak değerlendirilmiştir. İlk olarak, doğrusal viskoelastik bölgeyi (LVR) belirlemek amacıyla %0,1 gerinim seviyesinde bir genlik tarama testi uygulanmıştır. Bu testin ardından, 0,1–10 Hz aralığında bir frekans tarama analizi gerçekleştirilmiştir. Uygulanan açısal frekanslara bağlı olarak numunelerin depolama modülü (G′) ve kayıp modülü (G″) değerleri belirlenmiştir. Elde edilen dinamik reolojik parametreler, Kuvvet Yasası (Power Law) modeli ve doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanmıştır (Yoo & Rao, 1996).

$$G' = K' (\omega)n' \tag{2.1}$$

$$G'' = K'' (\omega)n'' \tag{2.2}$$

Formüllerde (2.2&2.3) belirtilen G' değeri depolama modülünü (Pa), G'' değeri kayıp modülünü (Pa), ω açısal hız değerini (s^{-1}), K', K'' tutarlılık katsayısı değerlerini (Pas^{-n}) ve n', n'' ise akış davranış indeksi değerlerini ifade eder.

Oleojel, hidrojel ve bisküvi kreması örneklerinin sıcaklığa bağlı reolojik davranışlarını belirlemek amacıyla sıcaklık tarama testi uygulanmıştır. Bu test kapsamında, numunelerin G′ değerindeki değişimler 10 °C ile 100 °C arasındaki

sıcaklık aralığında analiz edilmiştir. Sıcaklık, her bir artış arasında 1 dakika beklenerek 5 °C'lik kademelerle artırılmıştır.

2.2.3 FTIR

Bu çalışmada, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisi analizleri, elmas kristal modülüne sahip ATR (Attenuated Total Reflectance) aksesuarı ile donatılmış bir Bruker Tensor 27 spektrometresi (Bruker Optik GmbH, Bremen, Almanya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Spektrometrede, KBr ışın ayırıcı ile donatılmış bir DLaTGS dedektörü yer almaktadır. Cihazın kontrolü ve veri toplama işlemleri, Bruker GmbH tarafından geliştirilen OPUS yazılımının Windows tabanlı 7.2 sürümü ile gerçekleştirilmiştir. Kızılötesi spektrumlar, 4 cm^{-1} çözünürlükle ve 3800–600 cm^{-1} dalga sayısı aralığında kaydedilmiş olup, her spektrum için 64 tarama biriktirilmiştir. FTIR analizleri; sadece guar zamkı, sadece limon lifi tozu ve %1 guar gam ve %5 limon lifi tozundan oluşturulmuş hidrojel örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir (Ozulku et al., 2017).

2.2.4 Kremanın Hazırlanması

Kontrol olarak palm yağı ve ayçiçek yağı içeren 2 kontrol kreması üretilmiştir. Kontol kremaların bileşimi %32 yağ, %0,4 lesitin, %4,6 süt tozu, %5 mısır nişastası ve %58 şekerden oluşmaktadır. Oleojel içeren krema formülasyonu için %1 GG-%5 LL içeren oleojel ile yağ ikame edilmiştir.

2.2.5 Kremanın Reolojik Analizi

Krema örneklerine uygulanan reolojik analizler 2.2.2'de bahsedilmiştir.

2.2.6 Kremanın Tekstür Profili Analizi

Bisküvi kreması örneklerinin tekstürel özellikleri bir doku analiz cihazı (TA.XT2 Plus, Stable Micro Systems, Godalming, İngiltere) ile 2 farklı yöntemle değerlendirilmiştir.

Bisküvi kreması örneklerine silindirik prob ile penetrasyon testi uygulanmıştır. Numuneler, 25 mm çapındaki silindirik prob ile metal plaka arasına yerleştirilmiş ve 5 g tetikleme kuvveti ile 1 mm/s hızda, 10 mm penetrasyon derinliğine kadar test edilmiştir.

Bisküvi kreması örneklerinin sıkılık, kıvam, iç yapışkanlık ve değerleri Stable Micro Systems TA.XT2i tekstür profil analizatörü (TA.XT2 Plus, Stable Micro Systems, Godalming, İngiltere) ile geri ekstrüzyon prob kullanılarak belirlenmiştir.

2.2.7 Kremaların Renk Özellikleri

Krema örneklerinin renk özellikleri, renk ölçüm cihazı (Konica Minolta CR-400, Osaka, Japan) ile belirlenmiştir. Renk, ton açısı ve ΔE Aşağıdaki formüllere göre Excel paket programı kullanılarak a ve b değerleri hesaplandı:

$$Chroma = \sqrt{a^2 + b^2} \tag{2.2}$$

$$Hue\ (h^\circ) = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \text{ or} \tag{2.3}$$

$$Hue\ (h^\circ) = 180^\circ + \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \tag{2.4}$$

$$\Delta E = \sqrt{((L_0 - L_1)^2 + (a_0 - a_1)^2 + (b_0 - b_1)^2)} \tag{2.5}$$

2.2.8 Krema Örneklerinin Duyusal Değerlendirmesi

Krema örneklerinin duyusal özellikleri, 20–30 yaş aralığında yer alan ve eğitim almış on panelistten oluşan bir değerlendirme grubu tarafından analiz edilmiştir. Panelistlere, değerlendirme öncesinde ürünlerin görünüm, aroma, doku, renk ve genel kabul kriterleri hakkında detaylı bir bilgilendirme yapılmıştır. Duyusal değerlendirme, 1 (son derece kötü) ile 5 (çok iyi) arasında değişen beşli sayısal derecelendirme ölçeği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Katılımcılara, örnekler üzerinde tarafsızlığı sağlamak amacıyla rastgele kodlarla tanımlanmış ürünler sunulmuştur. Panelistler, her bir örnek arasında tat duyularını nötralize etmek amacıyla ağızlarını su ile çalkalamışlardır (Li et al., 2021).

2.2.9 Görsel İnceleme

Emülsiyon, dondurularak kurutulmuş ürün, oleojel ve krema örneklerinin makroskobik görünümleri bir akıllı telefon kamerası (iPhone 15 pro max, Apple Inc., ABD) kullanılarak belgelenmiştir.

2.2.10 İstatistiksel Analiz

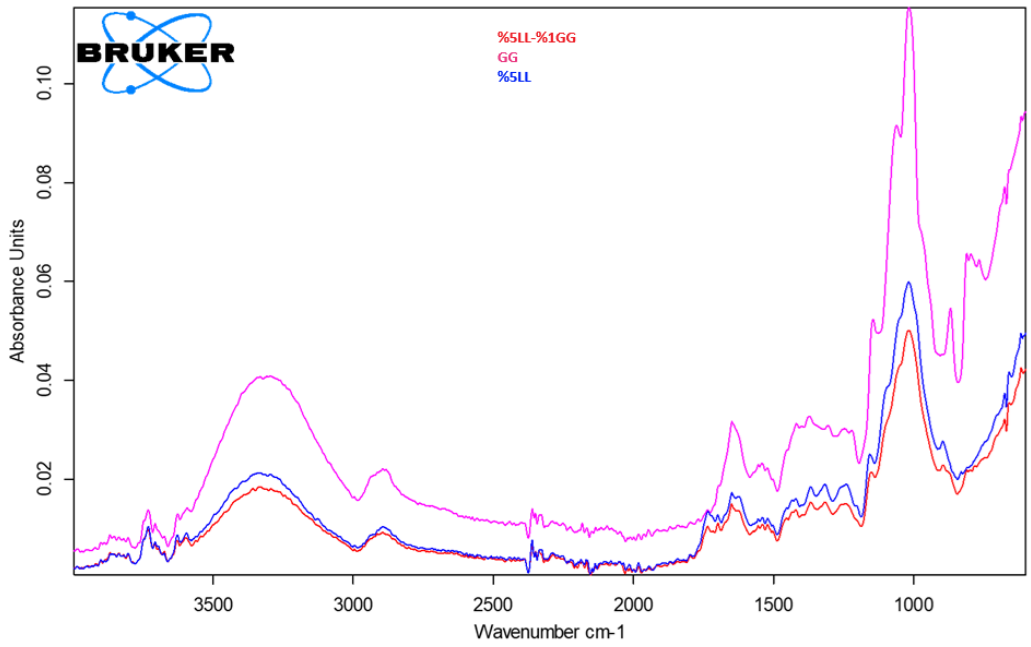
Deneysel verilerin istatistiksel değerlendirmesi SPSS 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Farklı örnek grupları arasındaki anlamlı farklılıklar tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiş ve anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir. Elde edilen anlamlı farklılıklar, TUKEY çoklu karşılaştırma testi kullanılarak detaylandırılmıştır.

3

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. FTIR Analizi

Hidrojel örneklerinin moleküler karakterizasyonunu gözlemlemek için FTIR analizinden yararlanılmıştır. Elde edilen FTIR spektrumları Şekil 3.1' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Guar gum, %5LL ve %5LL-%1GG içeren kurutulmuş örneklerin FTIR spektrumları

FTIR analizinde 3600–3200 cm^{-1} aralığındaki O–H gerilme bandı, saf guar gamda en güçlü, limon lifinde daha zayıf ve hidrojelde, iki polimerin H-bağ etkileşimi sonucu hem düşük şiddetli hem de sağa kaymış bir bant olarak görülür; bu, yeni hidrojen bağı ağlarının oluştuğunu göstermektedir (Shuai vd., 2023). 1 640 cm^{-1}'deki su bükülme/karboksilat gerilme pikinin yalnızca hibrittte

belirginleşmesi, karışımın su tutma kapasitesinin arttığının kanıtıdır (Xu vd., 2018; Brito vd., 2022). 2920 cm^{-1} ve 2850 cm^{-1}'deki $–CH_2–$ C–H asimetrik ve simetrik gerilmeleri, polisakkarit yoğunluğu yüksek olan saf guar gamda keskin zirveler verirken, hidrojelde ve limon lifinde daha geniş ve düşük yoğunluktadır; bu da karbon omurgasındaki yapı farklılıklarını yansıtmaktadır (Nazari vd., 2024). Son olarak 1 150–1 000 cm^{-1} aralığındaki C–O–C ve C–O titreşimleri, limon lifinde en baskın, saf guar gamda ikinci ve hidrojelde her iki bileşenin birleşimi kadar güçlü görülerek her iki polimer omurgasının hem korunduğunu hem de karşılıklı etkileştiğini doğrulamaktadır (Ahmed, 2015).

3.2. Reolojik Analizler

3.2.1 Hidrojellerin Reolojik Özellikleri

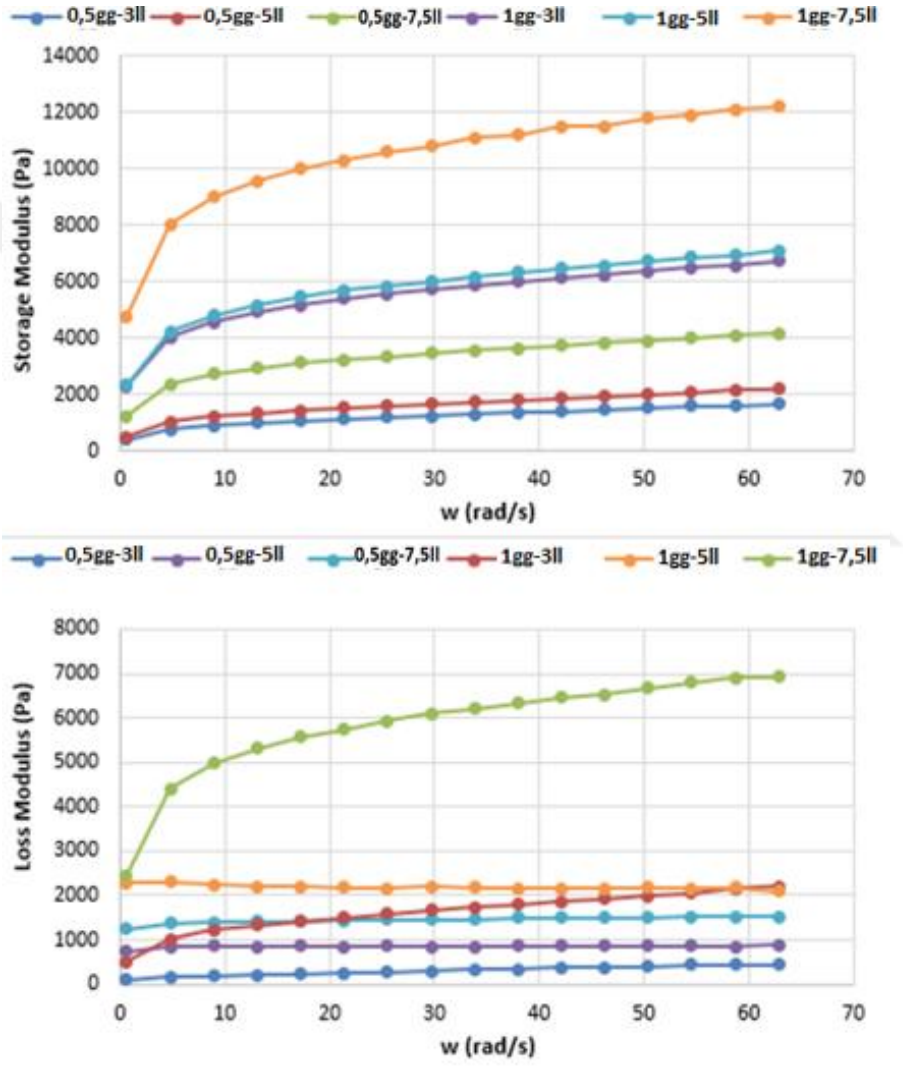
3.2.1.1 Dinamik Reolojik Özellikler

Hidrojel numunelerinin dinamik reolojik özellik parametreleri Tablo 3.1' de gösterilmiştir. K' (elastik modül), K" (kayıp modül), n' ve n" değerleri Power-Law modeli kullanılarak modellenmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, R^2 değerlerinin oldukça yüksek (R^2 >0,97) oluşu modelin örneklerin dinamik reolojik özelliklerini başarılı bir şekilde açıklayabildiğini ifade etmektedir.

Tablo 3.1 Hidrojel numunelerinin dinamik reolojik özellik parametreleri

	K'	**n'**	**R^2**	**K''**	**n''**	**R^2**
hg-1%GG&3%CF	543,19	0,280	0,997	148,48	0,100	0,974
hg-0,5%GG&3%CF	369,3	0,235	0,999	100,7	0,158	0,995
hg-3%CF	271,87	0,128	0,976	35,12	0,216	0,985
hg-1%GG&5%CF	5719,5	0,171	0,987	1590,8	0,106	0,998
hg-0,5%GG&5%CF	4872,1	0,156	0,997	1290,3	0,1	0,999
hg-5%CF	4108,3	0,127	0,994	844,0	0,122	0,996
hg-1%GG&7,5%CF	13275,3	0,158	1,000	3558,3	0,127	0,978
hg-0,5%GG&7,5%CF	12602,9	0,147	0,999	2283,6	0,183	0,984
hg-7,5%CF	12038,5	0,131	0,996	1876,2	0,258	0,977

Hidrojel numunelerinin K' ve K" değerleri 271,87- 13275,3 Pa.s^n ve 35,12 – 3558,3 Pa.s^n aralığında değişmektedir. LL ve GG miktarındaki artışa paralel olarak K' ve K" değerleri belirgin bir artış göstermiştir. Tüm hidrojel numunelerinin K' değeri K" değerinden daha büyüktür. Bu durum hidrojel numunelerinin viskoelastik katı davranış sergilediğini göstermektedir. n' ve n" değerinin sıfıra yakın olması da örneklerin katı karakterinin daha güçlü olduğunu ortaya koyan başka bir göstergedir.



Şekil 3.2 Hidrojellerin Dinamik Reolojik Davranışları

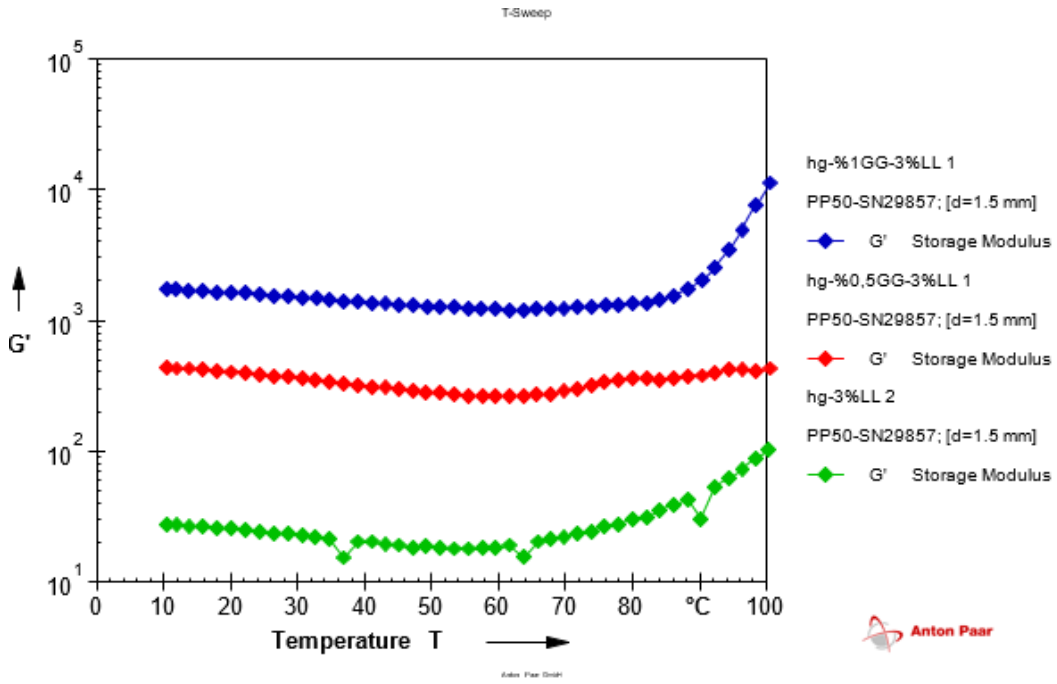
Hidrojel numunelerinin dinamik reolojik davranışları Şekil 3.2' de gösterilmiştir. Tüm hidrojel numunelerinin G' değerlerinin G" değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Hidrojel numunelerinin her birinin G' değerinin G"

değerinden yüksek olması katı karakterinin baskın olduğunu göstermektedir. Ayrıca örneklerin G' ve G" değeri artan açısal hızla birlikte azalan bir artış göstermiştir. Bu durum viskoelastik katı karakter akış davranışının bir diğer göstergesidir. Hidrojel numunelerinde LL ve GG miktarının artışına paralel olarak G' değerinin de arttığı görülmüştür ve %7,5 LL-%1 GG içeren hidrojel en yüksek G' değerine sahiptir. Bu sonuç, emülsiyonların viskoelastik özellikleri üzerinde LL miktarının ve GG varlığının önemli bir etkisinin olduğuna işaret etmektedir.

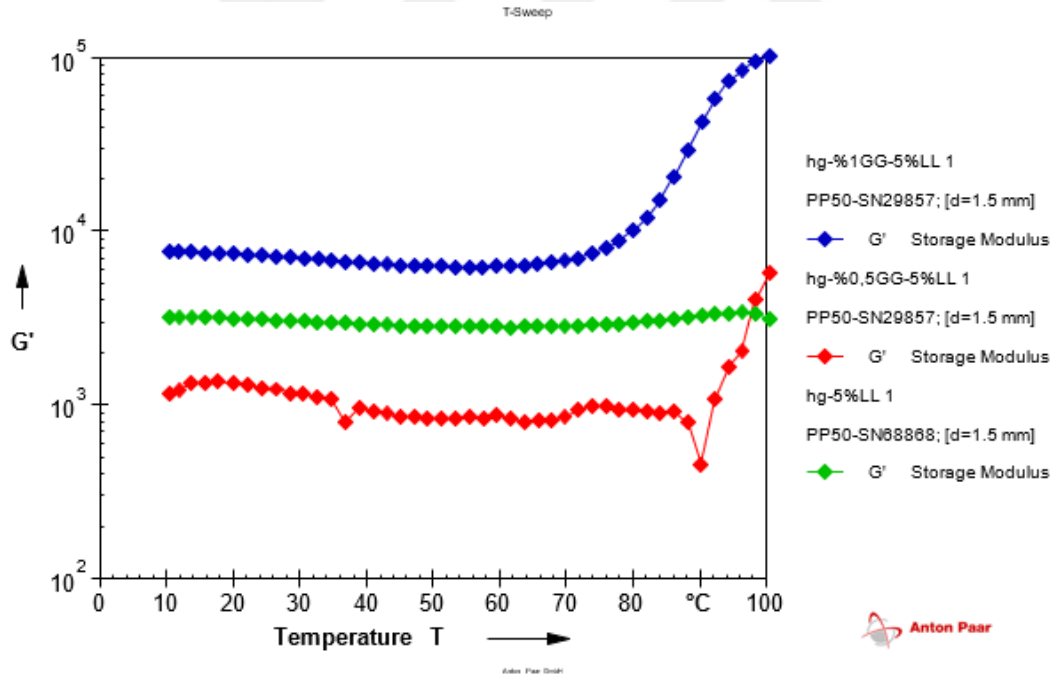
Çeşitli araştırmalar, lif ve gam bazlı gıda hidrojellerinin dinamik reolojik davranışlarında tutarlı özellikler sergilediğini ortaya koymuştur. Örneğin Bruno ve arkadaşları (2022), portakal lifi içeren emuljel hidrojellerinde 0,1–10 Hz aralığında yapılan frekans tarama testlerinde hem depolama modülü (G′) hem de kayıp modülü (G″) değerlerinin frekansla doğrusal oranda arttığını; ancak G′'nin her zaman G″'den yaklaşık bir büyüklük mertebesi yüksek kalarak katımsı bir viskoelastik yapı sunduğunu rapor etmişlerdir (R^2> 0,99) (Bruno vd., 2022). Lei ve arkadaşları (2022) ise κ-karrajenan ve guar gam içeren fikosiyanin jellerinde benzer frekans süreçlerinde G′> G″ davranışı gözlemiş; karrajenan ve gam konsantrasyonlarının artışıyla K′ ve K″ katsayılarının yükseldiğini, ancak çok yüksek gam oranlarında zincir dolaşmalarına bağlı olarak sınırlı bir düşüş meydana geldiğini belirtmişlerdir (Lei vd., 2022). Bu bulgular, limon lifi–guar gam bazlı hidrojellerde gözlenen yüksek G′/G″ oranlarının ve Power–Law modeline uygun K′–K″ parametrelerinin, geniş bir gıda hidrojeli yelpazesinde de genellenebilir olduğunu doğrulamaktadır.

3.2.1.2 Sıcaklık Tarama Testi

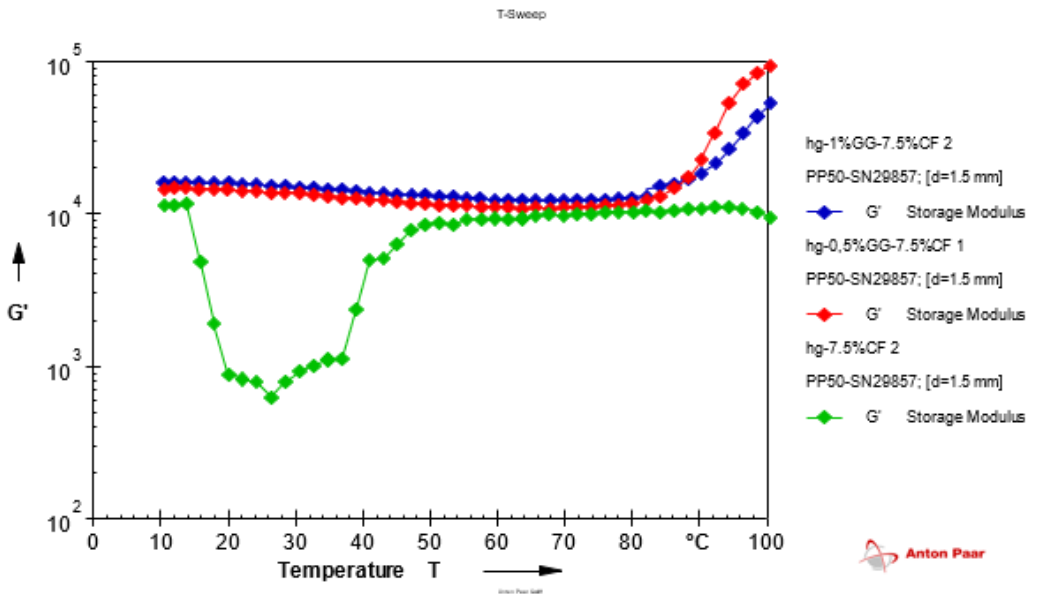
Hidrojel numunelerinin sıcaklığa bağlı özelliklerini analiz etmek amacıyla sıcaklık tarama testi 10-100 °C aralığında gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığa bağlı G' grafikleri Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5' te gösterilmişir. Şekilde görüldüğü üzere, artan sıcaklığa karşılık LL ve GG içeren hidrojel numunelerinin G' değerinde belirgin bir değişim meydana gelmemiştir. Limon lifinin tek başına kullanıldığı hidrojellerde berligin değişimler gözlenmiştir. Bu durum LL ve GG içeren hidrojel numunelerinin katı benzeri jel yapısının yüksek sıcaklıklardan etkilenmediğine işaret etmektedir.



Şekil 3.3 %3 LL içeren hidrojellerin sıcaklığa bağlı G' değişimleri



Şekil 3.4 %5 LL içeren hidrojellerin sıcaklığa bağlı G' değişimleri



Şekil 3.5 %7,5 LL içeren hidrojellerin sıcaklığa bağlı G' değişimleri

Benzer bir biçimde konjac glucomannan (KGM)/oat β-glukan kompozit hidrojeller, sıcaklık tarama deneylerinde 90 °C'den 50 °C'ye soğutma esnasında depolama modülü (G′) değerlerini sabit tutarak güçlü bir termal stabilite sergilemiştir (Geng vd., 2022). KGM hidrojellerinin yüksek ısıl kararlılığı, ısı değişimleri sırasında G′ değerlerini korumasıyla derleme niteliğindeki çalışmalarda da doğrulanmıştır (Yang vd., 2017). Buna ek olarak, polisakkarit lifler, örneğin guar gum, geniş bir sıcaklık aralığında viskoelastik yapısını ve shear-thinning karakterini koruyabilmektedir; geleneksel emülsiyon ve hidrojel sistem analizlerinde 80 °C'ye kadar viskozite kaybı belirtisiz olduğu bildirilmiştir (Mudgil vd., 2014). Bu veriler, LL ve GG içeren sistemlerin 20–100 °C aralığında G′ stabilitesi bulgusunu desteklemektedir.

3.2.2 Oleojellerin Reolojik Özellikleri

3.2.2.1 Dinamik Reolojik Özellikler

Oleojel numunelerinin dinamik reolojik özellik parametreleri Tablo 3.2' de gösterilmiştir. K' (elastik modül), K" (kayıp modül), n' ve n" değerleri Power-Law modeli kullanılarak modellenmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, R^2 değerlerinin

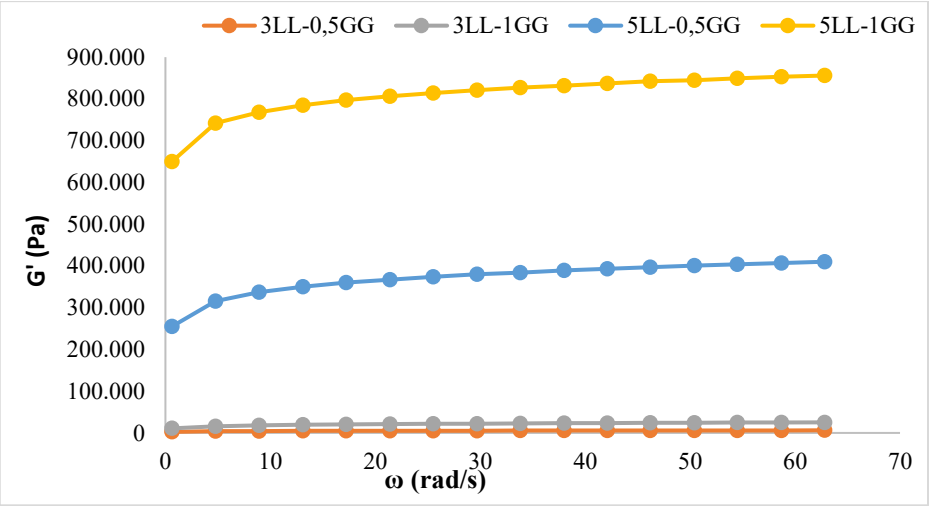
oldukça yüksek (R^2 >0,97) oluşu modelin örneklerin dinamik reolojik özelliklerini başarılı bir şekilde açıklayabildiğini ifade etmektedir.

Oleojel numunelerinin K' ve K" değerleri 701,551- 3539,523 Pa.sn ve 496,020-2865,933 Pa.sn aralığında değişmektedir. LL ve GG miktarındaki artışa paralel olarak K' ve K" değerleri belirgin bir yükseliş göstermiştir. Tüm oleojel numunelerinin K' değeri K" değerinden daha büyüktür. Bu durum oleojel numunelerinin viskoelastik katı davranış sergilediğini göstermektedir. n' ve n" değerinin sıfıra yakın olması da örneklerin katı karakterinin daha güçlü olduğunu ortaya koyan başka bir göstergedir.

Tablo 3.2 Oleojel numunelerinin dinamik reolojik özellik parametreleri

	K'	**n'**	**R^2**	**K''**	**n''**	**R^2**
og-1%GG&3%LL	2929,847 ±36,412^{b}	0,188 ±0,001^{b}	0,997 ±0,000	1086,708 ±13,489^{b}	0,033 ±0,000^{d}	0,947 ±0,000
og-0,5%GG&3%LL	701,551 ±19,383^{d}	0,202 ±0,001^{a}	0,998 ±0,001	496,020 ±7,576^{d}	0,045 ±0,001^{c}	0,982 ±0,009
og-1%GG&5%LL	3539,523 ±179,938^{a}	0,152 ±0,012^{d}	0,997 ±0,003	2865,933 ±188,498^{a}	0,137 ±0,009^{b}	0,980 ±0,003
og-0,5%GG&5%LL	1208,573 ±14,848^{c}	0,178 ±0,001^{c}	0,999 ±0,000	636,138 ±8,053^{c}	0,150 ±0,001^{a}	0,985 ±0,001

Oleojel numunelerinin dinamik reolojik davranışları Şekil 3.6’ de gösterilmiştir. Açısal hızın artışına bağlı olarak G' ve G" artış göstermiştir. Tüm oleojel örneklerinin G' değerlerinin G" değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



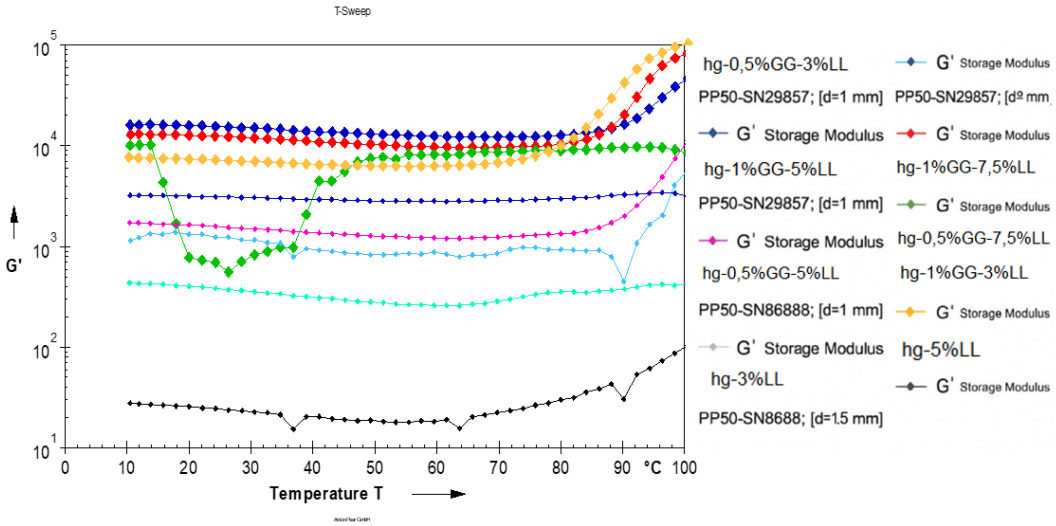
Şekil 3.6 Oleojel numunelerinin dinamik reolojik davranışları

Oleojel numunelerinin her birinin G' değerinin G" değerinden yüksek olması katı karakterinin baskın olduğunu göstermektedir. Ayrıca örneklerin G' ve G" değeri artan açısal hızla birlikte azalan bir artış göstermiştir. Bu durum viskoelastik katı karakter akış davranışının bir diğer göstergesidir. Ayrıca oleojel numunelerinin K' değerlerinin G' ve G" değerlerine paralel olarak K" değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Oleojel numunelerinin LL ve GG miktarının artışına paralel olarak G' değerinin de arttığı görülmüştür. %3 LL-%0,5 GG içeren oleojel en düşük G' değerine sahip olmakla beraber açısal hızla gösterdiği artış da diğer numunelere göre daha düşüktür. %5 LL-%1 GG içeren oleojel en yüksek G' değerine sahiptir. Özellikle og-1%GG&5%LL örneği hem K' hem de K" açısından en yüksek ortalamaları vermiştir, og-1%GG&3%LL ve og-0,5%GG&5%LL bu değerin altında sıralanmıştır (Tukey, $p < 0,05$). Bu sonuç, oleojellerin viskoelastik özellikleri üzerinde LL miktarının ve GG varlığının önemli bir etkisinin olduğuna işaret etmektedir. Genç vd. tarafından yapılan bir çalışmada farklı konsantrasyonlarda (%1-%5) narenciye lifi (NL) ile peynir altı suyu proteini izolatı kullanılarak emülsiyon şablonu yöntemiyle oleojel hazırlamak üzere emülsiyonlar oluşturulmuştur. Emülsiyonların G' değerinin G" değerinden daha yüksek olduğu bildirilmiş ve bu sonuç sağlam bir jel benzeri ağ yapısının varlığına atfedilmiştir. Ayrıca, benzer biçimde NL konsantrasyonun artışına bağlı olarak G' değerinin arttığı bildirilmiştir (Genc vd., 2024). Zou vd. tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise farklı konsantrasyonlarda (%1-%5) zein- tannik asit kompleks

partikülleri ve (%5-%60) ayçiçek yağı kullanılarak emülsiyonlar oluşturulmuştur. Frekans tarama verileri G' değerinin G" değerinden yüksek olmasından dolayı elastik davranışın baskın olduğu bildirilmiştir. Yağ miktarından bağımsız olarak zein- tannik asit kompleks partiküllerinin artışıyla G' değerinin artış gösterdiği ve buna bağlı olarak daha güçlü jel yapının elde edildiği bildirilmiştir (Zou vd., 2018).

3.2.2.2 Sıcaklık Tarama Testi

Emülsiyon numunelerinin sıcaklığa bağlı özelliklerini analiz etmek amacıyla sıcaklık tarama testi 20-100 °C aralığında gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığa bağlı G' grafikleri Şekil 3.7' te gösterilmişir. Şekilde görüldüğü üzere, artan sıcaklığa karşılık emülsiyon örneklerinin G' değerinde belirgin bir değişim meydana gelmemiştir. Bu durum LL ve GG içeren emülsiyonların katı benzeri jel yapısının yüksek sıcaklıklardan etkilenmediğine işaret etmektedir.



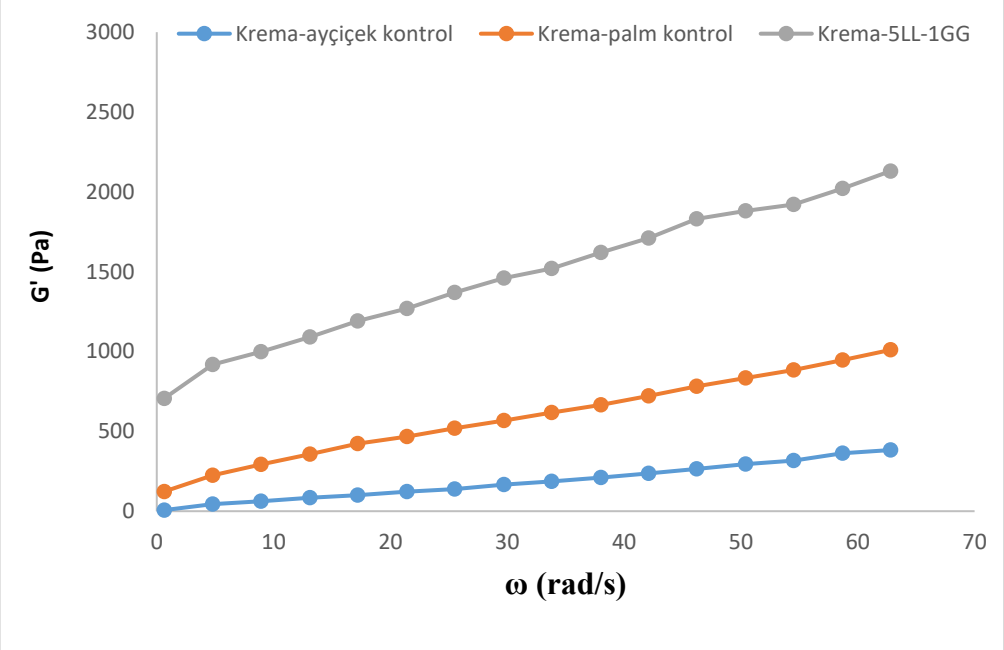
Şekil 3.7 Oleojellerin sıcaklığa bağlı G' değişimleri

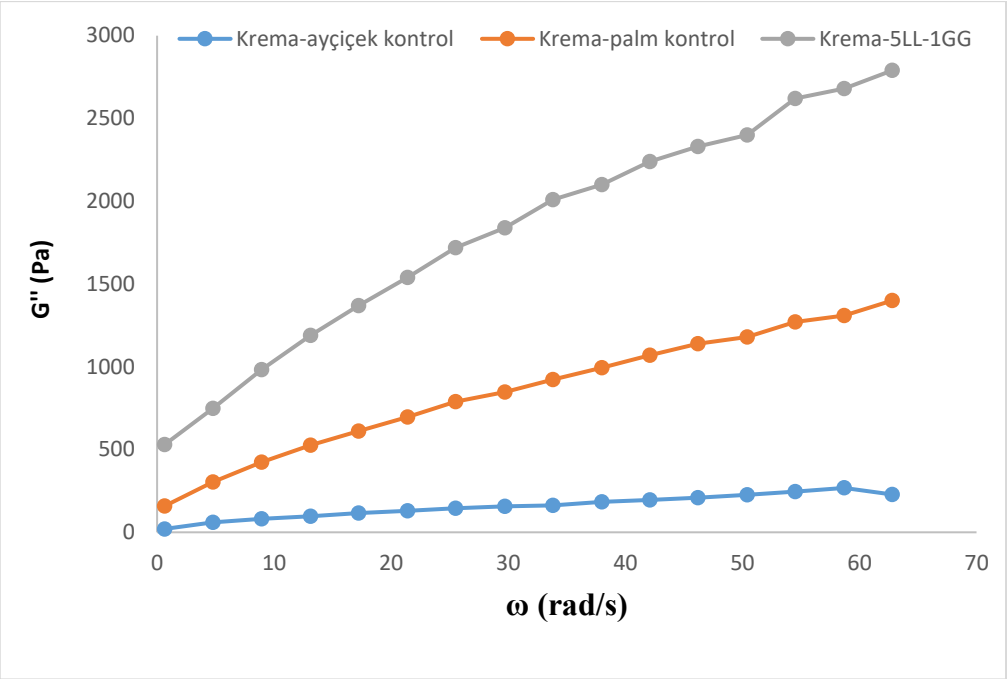
Benzer biçimde Bonacucina vd. tarafından yürütülen çalışmada farklı konsantrasyonlarda (%0,5-5) Sepineo P 600 ve badem yağı kullanılarak emülsiyon jeller elde edilmiştir. Emülsiyon jellerin sıcaklık taraması testi 10-60 °C aralığında gerçekleştirilmiş ve sıcaklık artışına bağlı olarak G' değerinde önemli bir değişim olmadığı bildirilmiştir (Bonacucina vd., 2009).

3.2.3 Bisküvi Kremalarının Reolojik Özellikleri

3.2.3.1 Dinamik Reolojik Özellikler

Bisküvi kreması örneklerinin dinamik reolojik özellikleri Şekil 3.8' te gösterilmiştir. Açısal hızın artışına bağlı olarak G' ve G" artış göstermiştir ve tüm bisküvi kreması örneklerinin G' değerlerinin G" değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Her bir bisküvi kreması örneğinin G' değerinin G" değerinden yüksek olması katı karakterinin baskın olduğuna işaret etmektedir. Bisküvi kremaları viskoelastik katı karaktere sahip ürünler olduğundan G' değerinin G" değerinden yüksek olması, ürünlerin beklenen özelliklere sahip olduğunun göstergesidir. Oleojel içeren bisküvi kreması örneklerinin tamamı palm ve ayçiçek yağlı kontrol sos örneklerine göre daha yüksek G' ve G" değerine sahiptir. Buna ek olarak yapısında %5 LL bulunan oleojelli krema örneklerinin yapısında %3 LL bulunan oleojelli sos örneklerine göre daha yüksek G' ve G" değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgu, LL-GG emülsiyonlarının dinamik reolojik özellikleri ile uyumludur. LL emülsiyonların viskoelastik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gibi jel mukavemetinde önemli bir etkiye sahiptir. Benzer biçimde oleojel yapısında artan LL miktarına bağlı olarak G' ve G" değerlerinin artış gösterdiği ve LL' nin jel mukavemetini arttırdığı Chen vd. tarafından bildirilmiştir (Chen vd., 2023).





Şekil 3.8 Krema numunelerinin dinamik reolojik davranışları

Tablo 3.3 Krema numunelerinin dinamik reolojik özellik parametreleri

	K'	**n'**	**R^2**	**K''**	**n''**	**R^2**
Kontrol-Ayçiçek yağı	5,68 ±1,22^{c}	1,010 ±0,057^{a}	0,996 ±0,01	21,49 ± 1,14^{c}	0,602 ±0,005^{a}	0,993 ±0,007
Kontrol palm yağı	2132,28 ±4,76^{b}	0,417 ±0,086^{b}	0,982 ±0,006	1625,72 ±44,47^{a}	0,472 ±0,049^{b}	0,995 ±0,003
Oleojelli krema-1%GG&5%LF	3196,57 ±94,14^{a}	0,338 ±0,003^{b}	0,976 ±0,010	1323,69 ±5,28^{b}	0,497 ±0,015^{b}	0,985 ±0,009

Bisküvi kreması numunelerinin dinamik reolojik özellik parametreleri Tablo 3.3'te verilmiştir. K' (elastik modül), K" (kayıp modül), n' ve n" değerleri Power-Law modeli kullanılarak modellenmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, R^2 değerlerinin oldukça yüksek (R^2 >0,97) oluşu modelin örneklerin dinamik reolojik özelliklerini başarılı bir şekilde açıklayabildiğini ifade etmektedir.

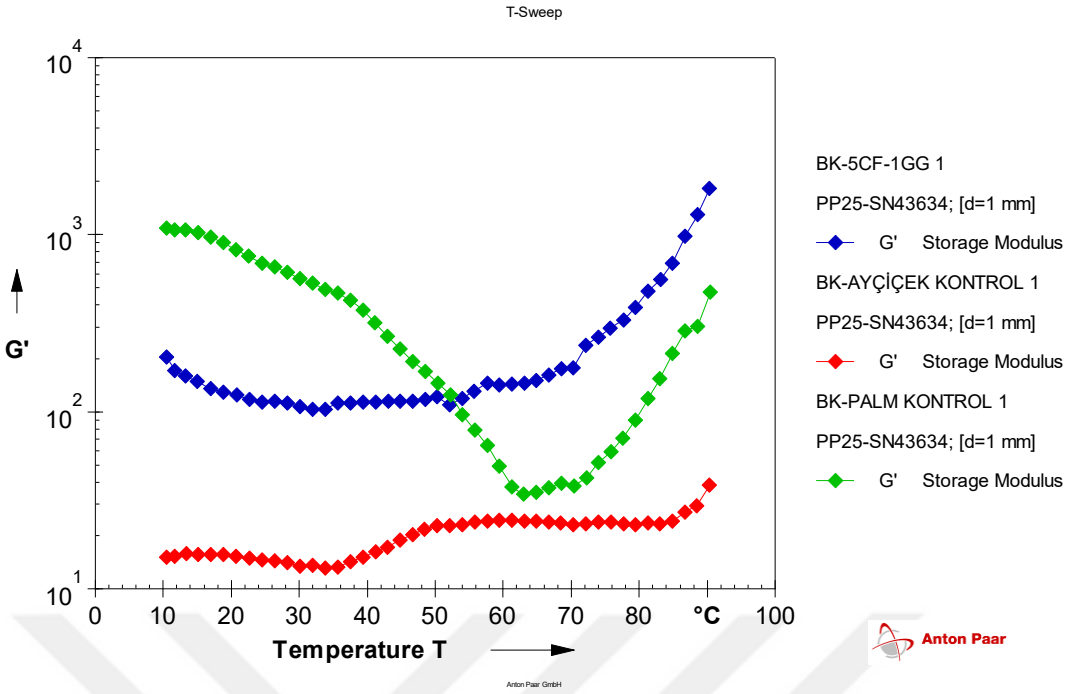
Bisküvi kreması örneklerinin K' ve K" değerleri 5,68-3196,57 Pa.s^{n} ve 21,49- 1625,72 Pa.s^{n} aralığında değişmektedir. Kontrol Ayçiçek yağıyla yapılan kremanın K' değeri K" değerinden küçükken, kontrol palm yağı ve oleojelle yapılan krema örneklerinin K' değeri K" değerinden daha büyüktür. Bu durum Ayçiçek yağıyla yapılan kremanın sıvı davranış sergilediğini, palm ve oleojelle yapılan krema

örneklerinin ise jel benzeri katı davranış sergilediğini göstermektedir. Yine aynı şekilde kontol palm ve oleojelle yapılan kremaların n' ve n" değerinin sıfıra yakın olması da örneklerin katı karakterinin daha güçlü olduğunu ortaya koyan bir diğer göstergedir.

Tablo 3.2 (Oleojel numunelerinin dinamik reolojik özellikleri) ve Tablo 3.3 (Krema numunelerinin dinamik reolojik özellikleri) sonuçları reolojik sertlik ve yapı gücünün (K' ve K") formülasyona bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini göstermiştir. Krema uygulamasında bk-1%GG&5%LF hibrit formülasyonu K' bakımından en yüksek değeri sunarken, palm kontrol orta düzeyde, ayçiçek kontrolü ise anlamlı biçimde daha düşük bulunmuştur.

3.2.3.2 Sıcaklık Tarama Testi

Bisküvi kreması numunelerinin sıcaklığa bağlı özelliklerini analiz etmek amacıyla sıcaklık tarama testi 20-100 ℃ aralığında gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığa bağlı G' grafikleri Şekil 3.9'de gösterilmişir. Şekilde görüldüğü üzere, artan sıcaklığa karşılık krema örneklerinin palm yağı içeren örneği dışında G' değerinde belirgin bir değişim meydana gelmemiştir. Bu durum 1%GG-5%LL bisküvi kreması örneklerinin katı benzeri jel yapısının yüksek sıcaklıklardan etkilenmediğine işaret etmektedir.



Şekil 3.9 Bisküvi kremalarının sıcaklığa bağlı G' değişimleri

3.3 Tekstür Profil Analizi (TPA)

Yapılan çalışmalar incelendiğinde oleojellerin dondurmaların kremsi dokusuna katkıda bulunduğu, cips ve kraker gibi atıştırmalık gıdaların sağlık profilini iyileştirdiği ve buna ek olarak çeşitli sosların tekstürel özelliklerini ve stabilitesini geliştirdiği bildirilmiştir (Sivakanthan vd., 2022). Sertlik ve sürülebilirlik, sürülebilir ve jelleşmiş gıda ürünleri için temel tektstürel parametrelerdir (Sinha vd., 2024). Bisküvi kreması örneklerinin tekstürel özellikleri Tablo 3.4' te gösterilmiştir. Bisküvi kreması formülasyonunda oleojel kullanıımının, ürünün sertlik ve yayılabilirlik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Buna ek olarak formülasyonda kullanılan oleojellerin yapısında bulunan LL ve GG miktarına bağlı olarak örneklerin hem sertlik hem de yayılabilirlik parametrelerinde artış tespit edilmiştir. Bu sonucun bisküvi kreması örneklerinin akış davranış özellikleri ve viskoelastik özellikleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Benzer biçimde, emülsiyonların tekstürel özelliklerinin reolojik performans ile yakından ilişkili olduğu ve sistemin viskoelastisitesi ne kadar yüksek olursa mekanik özelliklerinin de o kadar iyi olduğu Dong vd. tarafından bildirilmiştir

(Dong vd., 2023). Szafrańska ve Sołowiej tarafından yapılan bir çalışmada bambu, akasya, patates ve narenciye lifleri farklı miktarlarda kullanılmış ve peynir sosunun tekstürel özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırmacılar narenciye lifi kullanılarak hazırlanan peynir sosunun en yüksek sertlik ve yapışkanlık değerine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Buna ek olarak bambu, akasya ve patates liflerinin aksine narenciye lifi miktarı artışına paralel olarak sertlik ve yapışkanlık değerinde artış olduğunu bildirmişlerdir (Szafrańska ve Sołowiej, 2020).

Tablo 3.4 Bisküvi kreması örneklerinin tekstürel özellikleri

Yöntem-1	Hardness (N)	Fracturability (g)	Adhesiveness (g.sec)	Springness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness	Resillience
Ayçicek Kontrol Krema	2,518±0,095	115,266±0,427	-63,909±-7,199	0,955±0,048	0,881±0,045	101,549±5,585	97,091±10,178	0,042±0,005
Palm Kontrol Krema	4,966±0,09	382,713±0,738	-920,284±-10,862	0,954±0,012	0,775±0,046	297,997±2,448	286,283±22,356	0,013±0,001
Krema %5LL-%1GG	3,745±0,0021	357,85±0,532	-1334,179±-14,934	0,944±0,036	0,931±0,035	332,713±3,961	313,78±8,147	0,015±0,002

Yöntem-2	Firmness (g)	Consistency (g.sec)	Cohesiveness (g)	Work of Cohesion (g.sec)
ayçicek kontrol krema	16,12±0,04	53,86±0,68	-3,63±0,27	-1,98±0,21
palm kontrol krema	77,66±2,86	138,77±2,25	-39,27±1,21	-39,52±1,70
krema 5LL-1GG	93,37±2,40	192,55±2,57	-61,12±0,81	-76,22±2,87

Dolgu bisküvi kremalarında oleojel yapılandırıcılarının tekstürel özellikler üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar, bizim elde ettiğimiz sertlik (50,5–264,2 g) ve yayılabilirlik (28,2–246,7 g·s) aralıklarıyla yüksek oranda uyumludur. Kim ve arkadaşları (2022), kanola yağı bazlı oleojellerde kandelilla mumu (CDW) ile gliseril monostearat'ın (GMS) değişen oranlarını test etmiş; özellikle %60 CDW–%40 GMS içeren formülün, dolgu kremalarının sertlik profilini tam yağlı kontrole eşdeğer düzeye çıkardığını göstermiştir (Kim vd., 2022). Bu sonuç, bizim limon lifi–guar gam (LL–GG) ile yapılandırdığımız oleojellerde, LL ve GG miktarı arttıkça sertlik değerimizin tepe noktasına (≈264 g) ulaşmasıyla doğrudan örtüşmektedir. Tanti ve arkadaşları (2016) ise metilselüloz (HPMC) bazlı oleojelleri %50–100 oranlarında bisküvi kreması formülasyonunda kısmi yağ ikamesi olarak uygulamış; %50–75 ikame aralığında hem sertlik hem de yayılabilirlik değerlerinin ticari referansla paralellik gösterdiğini, ancak %100 ikamede aşırı sertlik nedeniyle sürülebilirliğin önemli ölçüde azaldığını bildirmiştir (Tanti vd., 2016). Bizim orta dozajlı LL–GG formüllerinin (~100–200 g·s) hem yeterli yayılabilirlik hem de istenen sertlik sunması, bu literatür verisiyle güçlü bir tutarlılık sergilemektedir.

3.4 Duyusal Analiz

Duyusal analiz kapsamında panelistler tarafından kremaların aroma, kıvam, koku, lezzet, parlaklık, renk, yağlılık ve genel beğenisi değerlendirilmiştir. Elde edilen değerlendirme sonuçları Tablo 3.5' da gösterilmiştir. 1%GG&5%LL formülasyonunun koku, tat, kıvam ve genel beğeni açısından istatistiksel olarak en yüksek puanları aldığını göstermiştir (genel beğeni: 8,41, "a"; Tukey, $p < 0,05$). Panelistler Bisküvi kreması-5LL-1GG (8,08±0,25) örneğinin en kabul edilebilir kokuya sahip olduğunu belirlemişlerdir. Panelistler tarafından yapılan değerlendirme sonucunda sosların renk, aroma, parlaklık ve yağlılık özelliklerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür (p<0,05). Panelistler tarafından kıvamı en çok beğenilen ürün Bisküvi kreması-5LL-1GG (8,33±0,43) olup kıvamı en az beğenilen ürün ayçiçek yağlı krema (4,82±0,83) örneğidir. Tüm duyusal parametreler göz önünde bulundurulduğunda, formülasyonunda oleojel

bulunan krema örneğinin kontrol örneklerine göre panelistler tarafından daha fazla beğenildiği görülmektedir.

Genel olarak, reolojik ve duyusal veriler 1%GG&5%LL bazlı formülasyonların hem yapısal hem de tüketici kabulü açısından en elverişli profili sunduğunu desteklemektedir (ANOVA; Tukey, $p < 0,05$).

Tablo 3.5 Bisküvi kreması örneklerinin duyusal analiz değerlendirmeleri

	Koku	**Tat**	**Kıvam**	**Renk**	**Parlaklık**	**Yağlılık**	**Genel Beğeni**
Ayçiçek Yağlı Bisküvi Kreması	7,75 ±0,61[a]	6,00 ±0,23[b]	4,82 ±0,83[b]	8,09 ±0,30[a]	6,27 ±0,74[a]	6,55 ±0,16[b]	5,82 ±0,72[c]
Palm Yağlı Bisküvi Kreması	7,66 ±0,86[a]	7,73 ±0,18[a]	7,91 ±0,92[a]	8,18 ±0,18[a]	7,18 ±0,71[a]	7,00 ±0,57[b]	7,27 ±0,56[b]
Bisküvi Kreması - 1%GG&5%LL	8,08 ±0,25[a]	8,25 ±0,70[a]	8,33 ±0,43[a]	8,39 ±0,17[a]	7,82 ±0,54[a]	7,45 ±0,44[a]	8,41 ±0,44[a]

3.5 Renk Parametreleri

Çalışmamızda 1 % guar gam–5 % limon lifi içeren ayçiçek yağlı bisküvi kremasının renk parametreleri; aydınlık derecesi (L*) 58,85 ± 0,56, kırmızı-yeşil ekseni (a*) 4,75 ± 0,30, sarı-mavi ekseni (b*) 23,82 ± 0,16, renk tonu (Hue) 76,83 ± 0,15 ve renk doygunluğu (chroma) 27,85 ± 0,34 olarak belirlenmiştir. Karşılaştırma amacıyla ölçülen kontrol örneklerinde ise ayçiçek yağı bazlı kremada L* = 65,21 ± 0,75, a* = 4,12 ± 0,08, b* = 23,16 ± 0,45; Hue = 80,10 ± 0,13, chroma = 23,74 ± 0,45; palm yağı bazlı kremada ise L* = 62,48 ± 0,69, a* = 5,30 ± 0,12, b* = 24,41 ± 0,31; Hue = 77,28 ± 0,62, chroma = 26,05 ± 0,18 değerleri tespit edilmiştir.

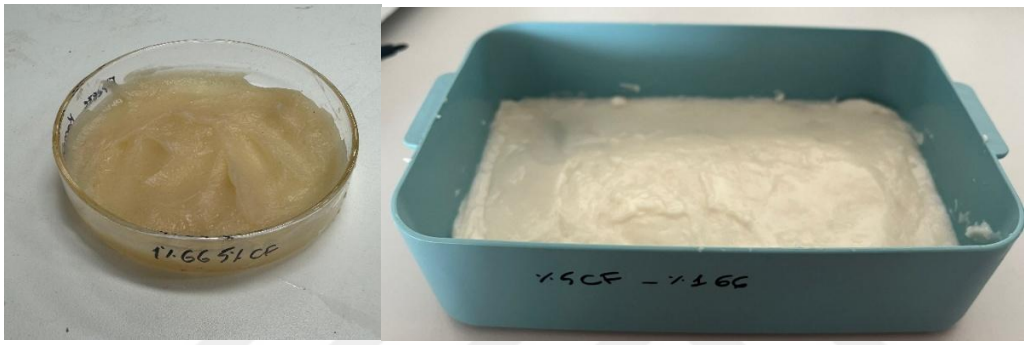
Çalışmamızdaki hafif L* düşüşü, guar gam ve limon lifinin kremanın koyu tonunu bir miktar etkilese de a* ve b* değerlerindeki sınırlı değişim, sarımsı-krem renk paletinin korunduğunu göstermektedir. Hue ve chroma parametrelerindeki yakınlık da, LL–GG bazlı oleojel kullanımının ürün renginin ton ve doygunluğunu geleneksel formülasyonlardan sapmadan muhafaza ettiğini doğrulamaktadır. Bu bulgular literatürde bildirilen oleojel içerikli sürülebilir ürünlerin renk stabilitesi ile büyük oranda örtüşmektedir. Benzer bir profil, Genc ve arkadaşlarının narenciye lifi-peynir altı suyu proteini kompleksli kurabiye formülasyonunda da gözlenmiş; burada da L* biraz düşerken a* ve b* değişimleri sınırlı kalmış ve chroma sabit kalmıştır (Genc vd., 2024). Barman ve arkadaşlarının (2021) meyve kabuğu çalışmalarında guar gam konsantrasyonunun artışıyla L* değerinin düştüğü, a* değerinin hafif yükseldiği ve b* değerinin korunduğu raporlanmıştır (Barman vd., 2021).

Tablo 3.6 Bisküvi kreması örneklerinin renk parametreleri

	L	**a**	**b**	**Hue**	**chroma**
Oleojel-1%GG&5%LL	72,60±1,28^{a}	2,97±0,35^{c}	12,71±0,62^{d}	74,21±1,11^{c}	29,30±0,74^{a}
Kontrol Ayçiçek Yağlı Bisküvi Kreması	65,21±0,75^{b}	4,82±0,08^{b}	23,16±0,45^{c}	80,10±0,13^{a}	23,74±0,45^{d}
Kontrol Palm Yağlı Bisküvi kreması	62,48±0,69^{b}	5,30±0,12^{a}	24,41±0,31^{a}	77,28±0,62^{b}	26,05±0,18^{c}
Bisküvi Kreması 1%GG&5%LL	58,85±0,56^{c}	4,75±0,30^{b}	23,82±0,16^{b}	76,83±0,15^{b}	27,85±0,34^{b}

3.6 Görüntü

Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'da hidrojel, emülsiyon ve oleojel basamaklarının görünümleri verilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı üzere hidrojel ve emülsiyon örneği ters çevrildiğinde akmayan bir yapıya sahiptir. Şekil 3.7' de %5LL-%1GG içeren hidrojel, emülsiyon ve emülsiyonların dondurularak kurutulmasıyla elde edilmiş olan oleojellerin toplu fotoğrafları gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, %5LL-%1GG içeren hidrojel, emülsiyon ve oleojellerin hiçbirinde yüzeyden yağ sızıntısı oluşmamıştır. Ürünler bütünlüklü bir yapıya sahiptir.



Şekil 3.10 %5 LL-%1GG içeren hidrojel ve emüljel örneklerinin görselleri



Şekil 3.11 %5 LL-%1GG içeren kurutulduktan sonra oleojel ve karıştırılmış oleojel örneklerinin görseller

4
SONUÇ

Bu çalışmada, limon lifi (LL) ve guar gam (GG) bazlı hidrojellerden türetilen oleojellerin, doymuş yağ içeriği yüksek geleneksel krema formülasyonlarına fonksiyonel alternatif olarak kullanılabilirliği detaylı olarak araştırılmıştır. Çalışmanın amacı, doymamış yağ bazlı, yapısal olarak stabil bir krema matrisi geliştirmek ve bu matrisi, konvansiyonel doymuş yağ içeren kremaların mekanik ve duyusal özelliklerini taklit edecek şekilde formüle etmektir.

Bu kapsamda farklı oranlardaki LL ve GG kullanılarak (%5LL–%1GG, %5LL–%0.5GG, %3LL–%1GG, %3LL–%0.5GG, yalnızca %5LL ve %3LL içeren) hidrojel örnekleri hazırlanmıştır. Bu hidrojeller, Pickering emülsiyon yöntemiyle yağ fazı yapılandırılarak oleojellere dönüştürülmüştür. Sonrasında %55 hidrojel ve %45 yağ içeren emüljeller liyofilize edilerek nihai oleojel formülasyonları elde edilmiştir.

Reolojik analizler, tüm hidrojel ve oleojel örneklerinin kayma incelmesi (shear-thinning) akış davranışı gösterdiğini ortaya koymuştur. Depolama modülü (G') değerleri, kayıp modülü (G'') değerlerinden yüksek bulunmuş ve bu durum numunelerin elastik özelliklerinin baskın olduğunu, yani katı benzeri bir yapı sergilediğini göstermiştir. Ayrıca tüm oleojel örneklerinde yağ tutma kapasitesi %90'ın üzerinde tespit edilmiştir, bu da emülsiyon şablon yönteminin yağ fazını hapsetmede oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

Çalışmada en uygun reolojik performans %5LL–%1GG oranına sahip hidrojel formülasyonunda gözlenmiştir. Bu örnek, FTIR spektroskopisi ile detaylı moleküler etkileşim analizine tabi tutulmuş ve GG'nin varlığının LL'nin yapısal düzenini bozabileceği gözlemlenmiştir. Bu durum, iki biyopolimer arasında fiziksel etkileşimlerin (hidrojen bağları gibi) meydana geldiğini ve bu etkileşimlerin jel ağının dayanıklılığını artırdığını göstermektedir.

Bu araştırmanın bulguları, limon lifi ve guar gam gibi doğal biyopolimerlerden yapılandırılan oleojellerin, geleneksel doymuş yağ bazlı krema ürünlerinin hem fonksiyonel hem de duyusal özelliklerini taklit edebilecek nitelikte olduğunu

göstermiştir. Ayrıca, bu formülasyonlar daha sağlıklı yağ profiline sahip ürünlerin geliştirilmesine imkan tanımakta ve gıda endüstrisindeki “temiz etiket” (clean label) trendleriyle de örtüşmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında geliştirilen oleojel sistemlerinin, bisküvi kremaları başta olmak üzere fırıncılık sektöründe palm yağına alternatif olarak kullanılabileceği görülmüştür. Yapısal stabiliteyi koruyarak doymuş yağ içeriğini azaltma potansiyeli sunan bu sistemler, fonksiyonel ürün geliştirme süreçlerinde önemli bir katkı sağlayabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalarla bu formülasyonların duyusal analizlerle optimize edilmesi, farklı bitkisel yağların kullanımıyla besinsel profilin iyileştirilmesi ve endüstriyel ölçekte üretim olanaklarının araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Abdollahi, M., Goli, S. A. H., & Soltanizadeh, N. (2020). Physicochemical properties of foam-templated oleogel based on gelatin and xanthan gum. European Journal of Lipid Science and Technology, 122(2), 1900196. https://doi.org/10.1002/ejlt.201900196

Abdolmaleki, K., Alizadeh, L., Nayebzadeh, K., Hosseini, S. M., & Shahin, R. (2020). Oleogel production based on binary and ternary mixtures of sodium caseinate, xanthan gum, and guar gum: Optimization of hydrocolloids concentration and drying method. Journal of Texture Studies, 51(2), 290–299

Abrante-Pascual, S., Nieva-Echevarría, B., & Goicoechea-Oses, E. (2024). Vegetable Oils and Their Use for Frying: A Review of Their Compositional Differences and Degradation. Foods, 13(24), 4186. https://doi.org/10.3390/foods13244186

Ahmed, E. M. (2015). Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. Journal of Advanced Research, 6(2), 105–121. https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006

Ajuwon, O. R., Marnewick, J. L., Oguntibeju, O. O., & Davids, L. M. (2022). Red palm oil ameliorates oxidative challenge and inflammatory responses associated with lipopolysaccharide-induced hepatic injury by modulating NF-κB and Nrf2/GCL/HO-1 signaling pathways in rats. Antioxidants, 11(8), Article 1629. https://doi.org/10.3390/antiox11081629

Akkaya MR. Prediction of fatty acid composition of sunflower seeds by near-infrared reflectance spectroscopy. J Food Sci Technol. 2018 Jun;55(6):2318-2325. doi: 10.1007/s13197-018-3150-x. Epub 2018 Apr 19. PMID: 29892132; PMCID: PMC5976617.

Barman, M., Das, A. B., & Badwaik, L. S. (2021). Effect of xanthan gum, guar gum and pectin on physicochemical, color, textural, sensory and drying characteristics of kiwi fruit leather. Journal of Food Processing and Preservation, 45(8), e15478. https://doi.org/10.1111/jfpp.15478

Banerjee, S., & Bhattacharya, S. (2012). Food gels: Gelling process and new applications. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 52(4), 334–346. https://doi.org/10.1080/10408398.2010.500234

Bascuas, S., Espert, M., Llorca, E., Quiles, A., Salvador, A., & Hernando, I. (2021). Structural and sensory studies on chocolate spreads with hydrocolloid-based oleogels as a fat alternative. LWT - Food Science and Technology, 135, 110228. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110228

Behera, B., Sagiri, S. S., Pal, K., Pramanik, K., Rana, U. A., Shakir, I., & Anis, A. (2015). Sunflower oil and protein-based novel bigels as matrices for drug delivery applications: Characterization and in vitro antimicrobial efficiency. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 54(8), 837–850. https://doi.org/10.1080/03602559.2014.974268

Bollom, M. A., Clark, S., & Acevedo, N. C. (2020). Development and characterization of a novel soy lecithin–stearic acid and whey protein concentrate bigel system for potential edible applications. Food Hydrocolloids, 101, 105570. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105570

Bonacucina, G., Cespi, M., & Palmieri, G. F. (2009). Characterization and stability of emulsion gels based on acrylamide/sodium acryloyldimethyl taurate copolymer. AAPS PharmSciTech, 10(2), 368–375. https://doi.org/10.1208/s12249-009-9218-1

Bot, A., Den, A. R., & Roijers, E. C. (2008). Fibrils of γ-oryzanol + β-sitosterol in edible oil organogels. Journal of the American Oil Chemists' Society, 85(12), 1127–1134. https://doi.org/10.1007/s11746-008-1298-7

Brito, G. B., Peixoto, V. O. D., Martins, M. T., Rosário, D. K. A., Ract, J. N., Conte, C. A., Torres, A. G., & Castelo-Branco, V. N. (2022). Development of chitosan-based oleogels via crosslinking with vanillin using an emulsion templated approach: Structural characterization and their application as fat-replacer. Food Structure, 32, 100264. https://doi.org/10.1016/j.foostr.2022.100264

Bruno, E., Lupi, F. R., Mammolenti, D., Mileti, O., Baldino, N., & Gabriele, D. (2022). Emulgels structured with dietary fiber for food uses: A rheological model. Foods, 11(23), 3866. https://doi.org/10.3390/foods11233866

Brykczynski, O., Sadowska, M., & Harasim, M. (2022). Revisiting pure component wax esters as basis of wax-based oleogels. Journal of the American Oil Chemists' Society. https://doi.org/10.1002/aocs.12589

Caló, E., & Khutoryanskiy, V. V. (2015). Biomedical applications of hydrogels: A review of patents and commercial products. European Polymer Journal, 65, 252–267. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.11.024

Chevalier, Y., & Bolzinger, M. A. (2013). Emulsions stabilized with solid nanoparticles: Pickering emulsions. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 439, 23–34. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.02.054

Campo, V. L., Kawano, D. F., Silva, D. B., & Carvalho, I. (2009). Carrageenans: Biological properties, chemical modifications and structural analysis – A review. Carbohydrate Polymers, 77(2), 167–180. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.01.020

Chen, X. W., Zhang, H., Li, X. X., & Sun, S. D. (2023). Edible HIPE-gels and oleogels formed by synergistically combining natural triterpenoid saponin and citrus dietary fiber. Carbohydrate Polymers, 305, 120499. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120499

Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2003). The Oil Palm. Blackwell Science. https://doi.org/10.1002/9780470750971

Dassanayake, L. S. K., Kodali, D. R., & Ueno, S. (2011). Formation of oleogels based on edible lipid materials. Current Opinion in Colloid and Interface Science, 16(5), 432–439. https://doi.org/10.1016/j.cocis.2011.05.005

Davidovich-Pinhas, M., Barbut, S., & Marangoni, A. G. (2016). Development, characterization, and utilization of food-grade polymer oleogels. Annual Review of Food Science and Technology, 7, 65–91. https://doi.org/10.1146/annurev-food-041715-033225

de Vries, A., Hendriks, J., van der Linden, E., & Scholten, E. (2015). Protein oleogels from protein hydrogels via a stepwise solvent exchange route. Langmuir, 31(51), 13850–13859. https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.5b03993

Dinsmore, A. D., Hsu, M. F., Nikolaides, M. G., Marquez, M., Bausch, A. R., & Weitz, D. A. (2002). Colloidosomes: Selectively permeable capsules composed of colloidal particles. Science, 298(5595), 1006–1009. https://doi.org/10.1126/science.1074868

Dong, Y., Wei, Z., & Xue, C. (2023). Effect of interaction between ovotransferrin fibrils and pectin on properties of oleogel-based Pickering emulsions. Food Hydrocolloids, 140, 108620. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108620

Dragan, E. S. (2014). Design and applications of interpenetrating polymer network hydrogels: A review. Chemical Engineering Journal, 243, 572–590. https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.01.065

Duman E, and Keser A. "Palm yağı ve sağlık üzerine etkileri." Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi 9.3 (2018): 54-58. https://doi.org/10.22312/sdusbed.381511

Espert, M., Hernández, M. J., Sanz, T., & Salvador, A. (2022). Rheological properties of emulsion templated oleogels based on xanthan gum and different structuring agents. Current Research in Food Science, 5, 564–570. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.03.001

Espert, M., Salvador, A., & Sanz, T. (2020). Cellulose ether oleogels obtained by emulsion-templated approach without additional thickeners. Food Hydrocolloids, 109, 106085. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106085

European Food Safety Authority. (2012). Scientific opinion on the substantiation of a health claim related to 3 g/day plant sterols/stanols and lowering blood LDL-cholesterol and reduced risk of (coronary) heart disease pursuant to Article 19 of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal, 10(3), 2693. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2693

Fan, X., Wang, W., Zhang, C., Wang, X., Liu, Z., Guo, X., & Xu, Y. (2024). Soy protein isolate–guar gum–goose liver oil O/W Pickering emulsions that remain stable under accelerated oxidation at high temperatures. Food Chemistry, 432, 137395. https://doi.org/10.1002/jsfa.12996

Fattore E, Bosetti C, Brighenti F, Agostoni C, Fattore G. Palm oil and blood lipid-related markers of cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis of dietary intervention trials. Am J Clin Nutr. 2014 Jun;99(6):1331-50. doi: 10.3945/ajcn.113.081190. Epub 2014 Apr 9. PMID: 24717342

Fitzherbert, E. B., Struebig, M. J., Morel, A., Danielsen, F., Brühl, C. A., Donald, P. F., & Edwards, D. P. (2008). How will oil palm expansion affect

biodiversity? Trends in Ecology & Evolution, 23(10), 538–545. https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.06.012

Genc, E., Karasu, S., Akçicek, A., & Toker, Ö. S. (2024). Fabrication and characterisation of Pickering emulsion-based oleogel stabilised by citrus fibre and whey protein isolate colloidal complex: Application in cookie formulation. International Journal of Food Science and Technology, 59(3), 1709–1723. https://doi.org/10.1111/ijfs.16925

Geng, X., Zhao, N., Song, X., Wu, J., Zhu, Q., Wu, T., Chen, H., & Zhang, M. (2022). Fabrication and characterization of konjac glucomannan/oat β-glucan composite hydrogel: Microstructure, physicochemical properties and gelation mechanism studies. Molecules, 27(23), 8494. https://doi.org/10.3390/molecules27238494

Giacintucci, V., Di Mattia, C.D., Sacchetti, G. et al. (2018). Ethylcellulose oleogels with extra virgin olive oil: the role of oil minör components on microstructure and mechanical strength. Food Hydrocolloids, 84, 508–514. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.030

Greenly, L. W. (2002). A nutrition primer: Fat and cholesterol. Journal of Chiropractic Medicine, 1(4), 201–206. https://doi.org/10.1016/S0899-3467(07)60040-8

Hoare, T. R., & Kohane, D. S. (2008). Hydrogels in drug delivery: Progress and challenges. Polymer, 49(8), 1993–2007. https://doi.org/10.1016/j.polymer.2008.01.027

Hu, X., Jiang, Q., Du, L., & Meng, Z. (2023). Edible polysaccharide-based oleogels and novel emulsion gels as fat analogues: A review. Carbohydrate Polymers, 322, 121328. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121328

Huang, J.-Y., Liao, J.-S., Qi, J.-R., Jiang, W.-X., & Yang, X.-Q. (2021). Structural and physicochemical properties of pectin-rich dietary fiber prepared from citrus peel. Food Hydrocolloids, 110, 106140. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106140

Huang, S., Wang, H., Wang, S., Sha, X., Chen, N., Hu, Y., & Tu, Z. (2022). Pectin stabilized fish gelatin emulsions: Physical stability, rheological, and interaction properties. Frontiers in Nutrition, 9, 961875. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.961875

116. Jiang, Y., Liu, L. L., Wang, B. J., Sui, X. F., Zhong, Y., Zhang, L. P., Mao, Z. P., & Xu, H. (2018). Cellulose-rich oleogels prepared with an emulsion-templated approach. Food Hydrocolloids, 77, 460–464. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.10.023

Kanelaki, A., Zampouni, K., Mourtzinos, I., & Katsanidis, E. (2022). Hydrogels, Oleogels and Bigels as Edible Coatings of Promising Fillets and Delivery Systems of Rosemary Extract. Gels, 8(10), 660. https://doi.org/10.3390/gels8100660

Karim, A. A., & Bhat, R. (2009). Gelatin alternatives for the food industry: Recent developments, challenges and prospects. Trends in Food Science & Technology, 20(12), 396–407. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.08.001

Kim, M., Hwang, H.-S., Jeong, S., & Lee, S. (2022). Utilization of oleogels with binary oleogelator blends for filling creams low in saturated fat. LWT – Food Science and Technology, 155, Article 112972. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112972

Kris-Etherton, P. M., Harris, W. S., & Appel, L. J. (1999). Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: New recommendations from the American Heart Association. Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology, 19(9), 1518–1522. https://doi.org/10.1161/01.atv.0000057393.97337.ae

Kumar, R., & Katare, O. P. (2005). Lecithin organogels as a potential phospholipid-structured system for topical drug delivery: A review. AAPS PharmSciTech, 6(3), E298–E310. https://doi.org/10.1208/pt060240

K.G. Austin, A. Schwantes, Y. Gu, P.S. Kasibhatla What causes deforestation in Indonesia? Environ. Res. Lett., 14 (2) (2019), Article 024007 DOI 10.1088/1748-9326/aaf6db (2015), pp. 1328-1333 http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1412514112

Lee, K. Y., & Mooney, D. J. (2012). Alginate: Properties and biomedical applications. Progress in Polymer Science, 37(1), 106–126. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.06.003

Lei, Y.-C., Zhao, X., Li, D., Wang, L.-J., & Wang, Y. (2022). Effects of κ-carrageenan and guar gum on the rheological properties and microstructure of phycocyanin gel. Foods, 11(5), 734. https://doi.org/10.3390/foods11050734

Li, J. W., Xi, Y. H., Wu, L. R., & Zhang, H. (2023). Preparation, characterization and in vitro digestion of bamboo shoot protein/soybean protein isolate based-oleogels by emulsion-templated approach. Food Hydrocolloids, 136, 108310. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108310

Li, S., Wu, G., Li, X., Jin, Q., Wang, X., & Zhang, H. (2021). Roles of gelator type and gelation technology on texture and sensory properties of cookies prepared with oleogels. Food Chemistry, 356, 129667. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129667

Ma, Y., Ye, F., Chen, J., Ming, J., Zhou, C., Zhao, G., & Lei, L. (2023). The microstructure and gel properties of linseed oil and soy protein isolate based-oleogel constructed with highland barley β-glucan and its application in luncheon meat. Food Hydrocolloids, 140, 108666. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108666

Magalhães, D., Rodrigues, C. V., Botella-Martinez, C., Muñoz-Tebar, N., Pérez-Álvarez, J. Á., Viuda-Martos, M., & Teixeira, P. (2025). Lemon dietary fibre-based powder as a promising ingredient for the food industry: Enhancing mortadella nutritional quality. Foods, 14(10), 1693. https://doi.org/10.3390/foods14101693

Manzoor, S., Masoodi, F. A., Naqash, F., & Rashid, R. (2022). Oleogels: Promising alternatives to solid fats for food applications. Food Hydrocolloids for Health, 2, 100058. https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2022.100058

Marangoni, A. G., & Co, E. D. (2012). Organogels: An alternative edible oil-structuring method. Journal of the American Oil Chemists' Society, 89(5), 749–780. https://doi.org/10.1007/s11746-012-2049-3

Marangoni, A. G., & Garti, N. (2018). Oleogels: An introduction. In A. G. Marangoni & N. Garti (Eds.), Edible oleogels: Structure and health implications (2nd ed., pp. 1–29). Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2017-0-00541-4

Martins, A. J., Pastrana, L. M., Vicente, A. A., & Cerqueira, M. A. (2018). Food grade polymers for the gelation of edible oils envisioning food applications. In T. J. Gutiérrez (Ed.), Polymers for food applications (1st ed., pp. 591–608). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94625-2_22

Martins, A. J., Vicente, A. A., Pastrana, L. M., & 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

Mattice, K. D., & Marangoni, A. G. (2017). New insights into wax crystal networks in oleogels. In A. R. Patel (Ed.), Edible oil structuring: Concepts, methods and applications (pp. 69–87). The Royal Society of Chemistry. https://doi.org/10.1039/9781788010184-00069

McClements, D. J. (2011). Edible nanoemulsions: Fabrication, properties, and functional performance. Soft Matter, 7(6), 2297–2316. https://doi.org/10.1039/C0SM00549E

Mensink, R. P., Zock, P. L., Kester, A. D. M., & Katan, M. B. (2003). Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: A meta-analysis of 60 controlled trials. The American Journal of Clinical Nutrition, 77(5), 1146–1155. https://doi.org/10.1093/ajcn/77.5.1146

Mollakhalili-Meybodi, N., & Hatami, T. (2023). Application of guar (Cyamopsis tetragonoloba L.) gum in food technologies: A review of properties and mechanisms of action. Food Science & Nutrition, 11(9), 4869–4897. https://doi.org/10.1002/fsn3.3383

Mudgil, D., Barak, S., & Khatkar, B. S. (2014). Guar gum: Processing, properties and food applications—A review. Journal of Food Science and Technology, 51(3), 409–418. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0522-x

Nath, P. C., Debnath, S., Sridhar, K., Inbaraj, B. S., Nayak, P. K., & Sharma, M. (2022). A comprehensive review of food hydrogels: Principles, formation mechanisms, microstructure, and its applications. Gels, 9(1), 1. https://doi.org/10.3390/gels9010001

Nazari, S., Hosseini, M., Talebi, M. R., Torshabi, M., & Khoobi, M. (2024). Antioxidant/anti-inflammatory xanthan-based hydrogel containing L-Carnosine/Berberine with the potential for periodontal applications. Polymer Bulletin, 82(2), 1385–1412. https://doi.org/10.1007/s00289-024-05578-2

Okuro, P. K., Martins, A. J., Vicente, A., & Cunha, R. L. (2020). Perspective on oleogelator mixtures, structure design and behaviour towards digestibility of

oleogels. Current Opinion in Food Science, 35, 27–35. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.001

Okuro, P. K., Santos, T. P., & Cunha, R. L. (2021). Compositional and structural aspects of hydro- and oleogels: Similarities and specificities from the perspective of digestibility. Trends in Food Science & Technology, 111, 55–67. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.053

Okuro, P. K., Tavernier, I., Bin Sintang, M. D., Skirtach, A. G., Vicente, A. A., Dewettinck, K., & Cunha, R. L. (2018). Synergistic interactions between lecithin and fruit wax in oleogel formation. Food Function, 9(3), 1755–1767. https://doi.org/10.1039/C7FO01775H

Ozulku, G., Yildirim, R.M., Toker, O.S., Karasu, S. & Durak, M.Z. (2017). Rapid detection of adulteration of cold pressed sesame oil adultered with hazelnut, canola, and sunflower oils using ATR-FTIR spectroscopy combined with chemometric. Food Control, 82, 212–216. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.034

Pan, J., Tang, L., Dong, Q., Li, Y., & Zhang, H. (2021). Effect of oleogelation on physical properties and oxidative stability of camellia oil-based oleogels and oleogel emulsions. Food Research International, 140, 110057. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110057

Patel, A. R., Cludts, N., Lewille, B., Lesaffer, A., & Dewettinck, K. (2014). Polysaccharide-based oleogels prepared with an emulsion-templated approach. ChemPhysChem, 15(16), 3435–3439. https://doi.org/10.1002/cphc.201402473

Patel, A. R., Cludts, N., Sintang, M. D. B., Lesaffer, A., & Dewettinck, K. (2014). Edible oleogels based on water soluble food polymers: Preparation, characterization and potential application. Food & Function, 5(11), 2833–2841. https://doi.org/10.1039/C4FO00624K

Patel, A. R., & Dewettinck, K. (2015). Edible oil structuring: An overview and recent updates. Food Function, 7(1), 20–29. https://doi.org/10.1039/C5FO01006C

Pehlivanoğlu, H., Demirci, M., Toker, Ö. S., Konar, N., Karasu, S., & Sağıdıcı, Ö. (2017). Oleogels, a promising structured oil for decreasing saturated fatty acid concentrations: Production and food-based applications. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 58(8), 1330–1341. https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1256866

Peppas, N. A., Bures, P., Leobandung, W., & Ichikawa, H. (2000). Hydrogels in pharmaceutical formulations. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 50(1), 27–46. https://doi.org/10.1016/S0939-6411(00)00090-4

Peppas, N. A., Hilt, J. Z., Khademhosseini, A., & Langer, R. (2006). Hydrogels in biology and medicine: From molecular principles to bionanotechnology. Advanced Materials, 18(11), 1345–1360. https://doi.org/10.1002/adma.200501612

Perța-Crișan, S., Ursachi, C.-Ș., Chereji, B.-D., Tolan, I., & Munteanu, F.-D. (2023). Food-grade oleogels: Trends in analysis, characterization, and applicability. Gels, 9(5), 386. https://doi.org/10.3390/gels9050386

Phoon, P. Y., & Henry, C. J. (2020). Fibre-based oleogels: Effect of the structure of insoluble fibre on its physical properties. Food & Function, 11(2), 1349–1361. https://doi.org/10.1039/c9fo02431j

Piironen, V., Toivo, J., & Lampi, A. M. (2002). Plant sterols in cereals and cereal products. Cereal Chemistry, 79(3), 476–484. https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.1.148

Pinto, TC, Martins, AJ, Pastrana, L., Pereira, MC ve Cerqueira, MA (2021). Oleogel-Based Systems for the Delivery of Bioactive Compounds in Foods. Gels , 7 (3), 86. https://doi.org/10.3390/gels7030086

Pușcaș, A., Mureșan, V., Socaciu, C., & Muste, S. (2020). Oleogels in food: A review of current and potential applications. Foods, 9(1), 70. https://doi.org/10.3390/foods9010070

Qi, J.-R., Song, L.-W., Zeng, W.-Q., & Liao, J.-S. (2021). Citrus fiber for the stabilization of O/W emulsion through combination of Pickering effect and fiber-based network. Food Chemistry, 343, 128523. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128523

Qiu, C., Huang, Y., Li, A., Ma, D. & Wang, Y. (2018). Fabrication and characterization of oleogel stabilized by gelatin-polyphenol-polysaccharides nanocomplexes. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 66, 13243–13252. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02039

Qiu, Y., & Park, K. (2001). Environment-sensitive hydrogels for drug delivery. Advanced Drug Delivery Reviews, 53(3), 321–339. https://doi.org/10.1016/S0169-409X(01)00203-4

Quintana-Martinez, S., Morales-Cano, A., & García-Zapateiro, L. (2018). Rheological behaviour in the interaction of lecithin and guar gum for oil-in-water emulsions. Czech Journal of Food Science, 36(1), 73–80. https://doi.org/10.17221/315/2017-CJFS

Ribeiro, S., Almeida, R., Batista, L., Lima, J., Sarinho, A., Nascimento, A., & Lisboa, H. (2024). Investigation of guar gum and xanthan gum influence on essential thyme oil emulsion properties and encapsulation release using modeling tools. Foods, 13(6), Article 816. https://doi.org/10.3390/foods13060816

Romano, R., Filosa, G., Pizzolongo, F., Durazzo, A., Lucarini, M., Severino, P., … Santini, A. (2021). Oxidative stability of high oleic sunflower oil during deep frying process of purple potato Purple Majesty. Heliyon, 7(3), e06294. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06294

Rosqvist, F., Kullberg, J., Ståhlman, M., Cedernaes, J., Heurling, K., Johansson, H.-E., Iggman, D., Wilking, H., Larsson, A., Eriksson, O., Johansson, L., Straniero, S., Rudling, M., Antoni, G., Lubberink, M., Orho-Melander, M., Borén, J., Ahlström, H., & Risérus, U. (2019). Overeating saturated fat promotes fatty liver and ceramides compared with polyunsaturated fat: A

randomized trial. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 104(12), 6207–6219. https://doi.org/10.1210/jc.2019-00160

Samdani, G. K., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2018). Impact of phospholipids and tocopherols on the oxidative stability of soybean oil-in-water emulsions. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 66(13), 3302–3310. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00677

Saraçoğlu, P. (2024). Su Bazlı Akıllı Polimerik Malzemeler: Hidrojeller. Biruni Health and Education Sciences Journal, 7(1), 58–70. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4460188#page=10

Scholten, E. (2019). Edible oleogels: How suitable are proteins as a structurant? Current Opinion in Food Science, 27, 36–42. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.05.001

Schramm, L. L. (2014). Introduction. In L. L. Schramm (Ed.), Emulsions, foams, suspensions and aerosols: Microscience and applications (2nd ed., pp. 1-22). Wiley-VCH Verlag. https://doi.org/10.1002/9783527679478

Shuai, X., McClements, D. J., Geng, Q., Dai, T., Ruan, R., Du, L., Liu, Y., & Chen, J. (2023). Macadamia oil-based oleogels as cocoa butter alternatives: Physical properties, oxidative stability, lipolysis, and application. Food Research International, 172, 113098. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113098

Silva, P. M., Cerqueira, M. A., Martins, A. J., Fasolin, L. H., Cunha, R. L., & Vicente, A. A. (2022). Oleogels and bigels as alternatives to saturated fats: A review on their application by the food industry. Journal of the American Oil Chemists' Society, 99(11), 911–923. https://doi.org/10.1002/aocs.12637

Singh, A., Auzanneau, F.-I., & Rogers, M. A. (2017). Advances in edible oleogel technologies – A decade in review. Food Hydrocolloids, 68, 92–104. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.022

Sinha, S. S., Upadhyay, A., & Singh, A. (2024). Investigating the impact of lecithin addition on rheological and textural properties of oleogels prepared from soy protein isolate-xanthan gum. International Journal of Food Science and Technology, 59(10), 7152–7158. https://doi.org/10.1111/ijfs.17432

Sivakanthan, S., Fawzia, S., Madhujith, T., & Karim, A. (2022). Synergistic effects of oleogelators in tailoring the properties of oleogels: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 21, 3507–3539. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12966

Smith, S., King, R., & Min, D. (2007). Oxidative and thermal stabilities of genetically modified high oleic sunflower oil. Food Chemistry, 102(4), 1208–1213. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.058

Sulaiman, N. S., Sintang, M. D., Mantihal, S., Zaini, H. M., Munsu, E., Mamat, H., Kanagaratnam, S., Jahurul, M. H. A., & Pindi, W. (2022). Balancing functional and health benefits of food products formulated with palm oil as oil sources. Heliyon, 8(10), e11041. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11041

Sun, Y., Neelakantan, N., Wu, Y., Lote-Oke, R., Pan, A., & van Dam, R. M. (2015). Palm oil consumption increases LDL cholesterol compared with vegetable oils

low in saturated fat in a meta-analysis of clinical trials. Journal of Nutrition, 145(7), 1549–1558. https://doi.org/10.3945/jn.115.210575

Sundram, K., Sambanthamurthi, R., & Tan, Y.-A. (2003). Palm fruit chemistry and nutrition. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition, 12(3), 355–362. Retrieved from https://apjcn.nhri.org.tw/server/apjcn/12/3/355.pdf

Szafrańska, J. O., & Sołowiej, B. G. (2020). Effect of different fibres on texture, rheological and sensory properties of acid casein processed cheese sauces. International Journal of Food Science & Technology, 55(5), 1971–1979. https://doi.org/10.1111/ijfs.14485

Tadros, T. F. (2016). Emulsions: Formation, stability, industrial applications (2nd ed.). De Gruyter. https://doi.org/10.1515/9783110452242-002

Tangsrianugul, P., Kasemsuk, S., & Leelaphiwat, P. (2022). Effect of hydrocolloids on physicochemical properties, stability, and digestibility of Pickering emulsions stabilized by nanofibrillated cellulose. LWT, 160, 113206. https://doi.org/10.1039/D1FO02933A

Tanti, R., Barbut, S., & Marangoni, A. G. (2016). Hydroxypropyl methylcellulose and methylcellulose structured oil as a replacement for shortening in sandwich cookie creams. Food Hydrocolloids, 61, 329–337. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.05.032

Uryu, J. (2008, February 27). Deforestation, forest degradation, biodiversity loss and CO_2 emissions in Riau, Sumatra, Indonesia [WWF-Indonesia report]. World Wildlife Fund–Indonesia. https://files.worldwildlife.org/wwfcmsprod/files/Publication/file/2i5fo6l9lz_WWF_Indo__27Feb08__Riau_Deforestation___English.pdf

U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. Production: Commodity 4243000. Foreign Agricultural Service. Retrieved July 15, 2025, from https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/4243000

U.S. Food and Drug Administration. (2024). 3-Monochloropropane-1,2-diol (MCPD) esters and glycidyl esters. U.S. Food and Drug Administration. Retrieved July 15, 2025, from https://www.fda.gov/food/process-contaminants-food/3-monochloropropane-12-diol-mcpd-esters-and-glycidyl-esters

Voragen, A. G. J., Coenen, G.-J., Verhoef, R. P., & Schols, H. A. (2009). Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls. Structural Chemistry, 20(2), 263–275. https://doi.org/10.1007/s11224-009-9442-z

World Health Organization. (2003). Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: Report of a joint WHO/FAO expert consultation (WHO Technical Report Series No. 916). https://www.who.int/publications/i/item/924120916X

Wu, Y., McNaughton, S. A., Pan, A., Sun, Q., van Dam, R. M., & Hu, F. B. (2014). Omega-6 fatty acid biomarkers and risk of type 2 diabetes: Pooled analysis of individual-level data in 39 740 adults from five prospective cohorts. The American Journal of Clinical Nutrition, 100(4), 741–748. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(17)30307-8

Xiao, R., Qi, J. R., Liao, J. S., Wei, H. Y., & Zhuo, T. (2024). Preparation of citrus fiber from lemon peel residue: Effects of structure and endogenous pectin components on emulsifying properties of citrus fiber. International Journal of Biological Macromolecules, 283(Pt 4), 137679. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137679

Xie, F., Ren, X. L., Zhu, Z. J., Luo, J. Y., Zhang, H., Xiong, Z. Q., Wu, Y., Song, Z. B., & Ai, L. Z. (2023). Tamarind seed polysaccharide-assisted fabrication of stable emulsion-based oleogel structured with gelatin: Preparation, interaction, characterization, and application. Food Hydrocolloids, 142, 108761. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108761

Xu, C., Zhan, W., Tang, X., Mo, F., Fu, L., & Lin, B. (2018). Self-healing chitosan/vanillin hydrogels based on Schiff-base bond/hydrogen bond hybrid linkages. Polymer Testing, 66, 155–163. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.01.016

Xu, Y., Sun, H., Lv, J., Wang, Y., Zhang, Y., & Wang, F. (2023). Effects of polysaccharide thickening agent on the preparation of walnut oil oleogels based on methylcellulose: Characterization and delivery of curcumin. International Journal of Biological Macromolecules, 232, 123291. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123291

Yang, D., Yuan, Y., Wang, L., Wang, X., Mu, R., Pang, J., Xiao, J., & Zheng, Y. (2017). A review on konjac glucomannan gels: Microstructure and application. International Journal of Molecular Sciences, 18(11), 2250. https://doi.org/10.3390/ijms18112250

Yang, J., Dong, M., Wang, Z., & Shi, Y. (2022). Chitosan/guar gum nanoparticles to stabilize Pickering emulsion for astaxanthin encapsulation. Carbohydrate Polymers, 282, 119093. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113727

Yang, X., Mao, K., Sang, Y., Liu, Z., & Jiang, Z. (2023). Citrus-derived Pickering emulsion stabilized by insoluble citrus dietary fiber modified by ultra-high pressure. LWT – Food Science and Technology, 184, 115112. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115112

Yoo, B. & Rao, M. (1996). Creep and dynamic rheological behavior of tomato concentrates: effect of concentration and finisher screen size. Journal of Texture Studies, 27, 451–459.

Zhang, Y., Xu, J., Tang, C., & Li, Y. (2023). Crystallization behavior and physical properties of monoglycerides-based oleogels as function of oleogelator concentration. Foods, 12(2), 345. https://doi.org/10.3390/foods12020345

Zou, Y., Yang, X., & Scholten, E. (2018). Rheological behavior of emulsion gels stabilized by zein/tannic acid complex particles. Food Hydrocolloids, 77, 363–371. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.10.013

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Hande Kemer, Zeynep Hazal Tekin Çakmak, Salih Karasu. Oleojeller Yardımıyla Doymuş Yağ Bazlı Krema Özelliklerine Sahip Doymamış Yağ Bazlı Krema Geliştirilmesi. 8. International Food, Agrıculture And Veterinary Sciences Congress. May 29-31, 2025 ss. 266-267