Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 14(3): 910-920, 2026
DOI: https://doi.org/10.24925/turjaf.v14i3.910-920.8370

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology

Available online, ISSN: 2148-127X | www.agrifoodscience.com | Turkish Science and Technology Publishing (TURSTEP)

Evaluation of the Structure, Functional Applications, and Future Perspectıves of Oleogels in the Food Industry

Aslıhan Tüğen[1,a,*], Salih Karasu[2,b], Harun Dıraman[3,c]

[1]*Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 03200, Afyonkarahisar, Türkiye*
[2]*Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul, Türkiye*
[3]*Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 03200, Afyonkarahisar, Türkiye*
[*]*Corresponding author*

ARTICLE INFO

Review Article

Received : 16.09.2025
Accepted : 27.11.2025

Keywords:

Oleogel
Food industry applications
Trans fat replacement
Rice bran wax
Candelilla wax

ABSTRACT

Oleogels are solidified fat systems with innovative and functional properties that can be used as a substitute for trans and saturated fats in the food industry. They are produced by combining oleogelators such as beeswax, rice bran wax, candelilla wax and ethyl cellulose with vegetable oils and are used in a wide range of industrial applications such as margarine, confectionery, pastry products, dairy and meat products due to their ability to successfully mimic the physical and sensory properties of traditional fats. The research aimed to evaluate the usage areas and advantages of oleogels in the food industry within the framework of the literature. The results show that oleogels are effective as a substitute for saturated and trans fats in bakery products (cookies, cakes, muffins), margarine and spreads. In particular, oleogels based on rice bran wax, candelilla wax and monoacylglycerols provide similar or superior results to conventional fats in terms of texture, sensory acceptance and stability of products. In addition, the use of oleogels reduces fat migration, extends shelf life and improves oxidative stability in pastry and dairy products. In meat products, the use of oleogel improves the lipid profile, while maintaining the textural and sensory quality of the products and increasing consumer acceptance. In conclusion, oleogel technology has a significant potential for reducing trans and saturated fats, transporting bioactive substances, increasing product stability and producing functional foods. However, in order to determine the ideal oleogel formulations for different product groups and to overcome the technological difficulties that may be encountered in large-scale production, it is thought that future research should focus on the determination of suitable oleogelator types for different products, sensory acceptability and long-term stability.

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 14(3): 910-920, 2026

Gıda Endüstrisinde Oleojellerin Yapısının, Fonksiyonel Uygulamalarının ve Gelecek Perspektiflerinin Değerlendirilmesi

MAKALE BİLGİSİ

Derleme Makalesi

Geliş : 16.09.2025
Kabul : 27.11.2025

Anahtar Kelimeler:

Oleojel
Gıda endüstrisi uygulamaları
Trans yağ ikamesi
Pirinç kepeği mumu
Candelilla mumu

ÖZ

Oleojeller, gıda endüstrisinde trans ve doymuş yağların yerine kullanılabilen, yenilikçi ve fonksiyonel özelliklere sahip katılaştırılmış yağ sistemleridir. Balmumu, pirinç kepeği mumu, candelilla mumu ve etil selüloz gibi oleojelatörlerin bitkisel yağlarla kombinasyonu sonucu üretilmekte ve geleneksel katı yağların fiziksel ve duyusal özelliklerini başarılı bir şekilde taklit edebilme özellikleri sayesinde margarin, şekerleme, pastacılık ürünleri, süt ve et ürünleri gibi geniş bir endüstriyel uygulama alanında kullanılmaktadırlar. Araştırma, gıda endüstrisinde oleojellerin kullanım alanlarını ve sağladığı avantajları literatür çerçevesinde değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bulgular, oleojellerin pastacılık ürünlerinde (kurabiye, kek, muffin), margarin ve sürülebilir ürünlerde, doymuş ve trans yağların ikamesi açısından etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle pirinç kepeği mumu, candelilla mumu ve monoaçilgliseroller bazlı oleojeller, ürünlerin tekstür, duyusal kabul ve stabilitesi açısından geleneksel yağlarla benzer ya da daha üstün sonuçlar sağlamaktadır. Ayrıca, oleojel kullanımı ile pastacılık ve süt ürünlerinde yağ migrasyonu azalmakta, ürünlerin raf ömrü uzamakta ve oksidatif stabilite artmaktadır. Et ürünlerinde de oleojel kullanımı, lipid profilini iyileştirirken, ürünlerin tekstürel ve duyusal kalitesini koruyarak tüketici kabulünü artırmaktadır. Sonuç olarak, oleojel teknolojisi, trans ve doymuş yağların azaltılması, biyoaktif maddelerin taşınması, ürün stabilitesinin artırılması ve fonksiyonel gıda üretimi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğu anlaşılmıştır. Ancak, farklı ürün grupları için ideal oleojel formülasyonlarının belirlenmesi ve geniş ölçekli üretimde karşılaşılabilecek teknolojik zorlukların aşılması için gelecekte farklı ürünlere yönelik uygun oleojelatör türlerinin belirlenmesi, duyusal kabul edilebilirlik ve uzun dönem stabilite konularına yoğunlaşması gerektiği düşünülmektedir.

[a] *asl.tugen@gmail.com* *https://orcid.org/0000-0001-5344-2804*
[b] *skarasu@yildiz.edu.tr* *https://orcid.org/0000-0002-2324-1865*
[c] *hdiraman@aku.edu.tr* *https://orcid.org/0000-0002-7431-7524*

This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Dünyanın dört bir yanındaki tüketicilerin ve sağlık kurumlarının daha sağlıklı gıdalara yönelik talebi, bazı gıdaların kronik hastalıklarla ilişkisinin anlaşılması ve bu konuda bilincin artması nedeniyle giderek daha belirgin hale gelmeye başlamıştır (Żarnowski ve ark., 2022). Kardiyovasküler hastalık (KVH), Tip II diyabet, çeşitli metabolizma bozuklukları ve obezitenin başlıca nedenlerinden biri olarak yüksek oranda trans ve doymuş yağ içeren gıdaların tüketilmesi olduğu belirtilmektedir. Bu yağlar, şekerleme, pastacılık, süt ve et ürünleri gibi pek çok ticari üründe bulunmaktadır. Günlük diyette yer alan yağın %5'lik bir kısmının bitkisel ve deniz kaynaklı (çoklu doymamış) yağlarla değiştirilmesi bile, KVH riskini %22–37 oranında azaltabileceği bildirilmektedir (Roche, 2005). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) trans yağların ortadan kaldırılmasını amacıyla çalışmalar yürütmekte olup endüstriyel trans yağların gıda sektöründen tamamen çıkarılması gerektiğini belirtmektedir (DSÖ, 2018).

Trans ve doymuş yağlar, gıdalara gevreklik, lezzet, uzun raf ömrü ve tokluk hissi gibi teknolojik ve fonksiyonel özellikler kazandırmakta olup, bu yağları ikame etmek zorluklar içermektedir. Gıda üzerine çalışmalar yürütenler açısından trans ve doymuş yağların yerine geçebilecek alternatifleri araştırılırken interesterifikasyon, fraksiyonlama ve yağ harmanlama gibi çeşitli yağ modifikasyon yöntemleri üzerinde durulmaktadır (Berry ve ark., 2019). Ancak bu yöntemlerin hiçbiri, ürün özelliklerini değiştirmeden trans ve doymuş yağ seviyelerini tatmin edici biçimde azaltmayı veya ortadan kaldırmayı tam anlamıyla başaramadığı belirtilmektedir (Menaa ve ark., 2013).

Gıdalarda yer alan yağlar ve yağlı bileşenler, büyük ölçüde tekli doymamış, çoklu doymamış ve doymuş yağ asitlerini içeren trigliseritlerden oluşmakla birlikte, eser miktarda farklı bileşenleri de içermektedir. Son yıllarda trans yağ asitleri ve doymuş yağ asitlerine dair sağlık risklerinin öne çıkmasıyla birlikte, gıda endüstrisinde düşük trans ve doymuş yağ içeriği hedeflenerek farklı teknolojiler ve ürün reformülasyon yaklaşımları geliştirilmeye başlanmıştır (Jeong ve ark., 2021; Pinto ve ark., 2021). Özellikle kısmi hidrojenasyonun yapay trans yağ oluşumuna sebep olması, buna bağlı KVH riskinin artması ve yasal düzenlemelerin de etkisiyle trans yağ kullanımı konusunda büyük kısıtlamalar getirilmiştir (DSÖ, 2018; Berry ve ark., 2019). Bunun yanı sıra, doymuş yağların aşırı tüketimi de kalp-damar sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu belirtildiğinden, gıda üreticileri bu tür yağların kullanımını sınırlandıran alternatif arayışlara girişmektedirler (Menaa ve ark., 2013; Alizadeh ve ark., 2019).

Mevcut uygulamalarda trans yağları azaltmak adına genellikle doğal doymuş yağlar (palmiye yağı vb.) tercih edilmekteyse de, bu yaklaşım hem çevresel (orman alanlarının tahribatı gibi) hem de sağlıkla ilgili endişeleri beraberinde getirmiştir (Brykczynski ve ark., 2022; Buitimea-Cantua ve ark., 2021). Doymuş yağların fazla tüketimi, kolesterol seviyelerini yükselterek obezite, diyabet ve KVH riskini de artırmaktadır (Pinto ve ark., 2021; DSÖ, 2018). Bu nedenle hem trans hem de doymuş yağ asitlerinden arınmış veya bu içerikleri mümkün olduğunca düşük seviyede tutacak, ancak gıdanın duyusal ve teknolojik özelliklerini koruyabilen alternatif yapılandırılmış yöntemlere gereksinim duyulmaktadır. Bu kapsamda oleogelasyon, sıvı haldeki bitkisel yağların katı veya yarı katı benzeri bir yapıya dönüştürülmesi için geliştirilen güncel ve gelişime açık bir yöntem olarak sunulmaktadır (Menaa ve ark., 2013; Brykczynski ve ark., 2022). Nitekim bu yöntemle, "organogelatör" veya "oleogelatör" olarak adlandırılan yapılandırıcı maddeler kullanılmaktadır. Bu sayede yağın fiziksel özellikleri değiştirilerek gıdada istenen doku, kıvam ve stabilite sağlanmaktadır (De Freitas ve ark., 2019).

Oleojeller, geleneksel doymuş yağ veya trans yağ içeriğini azaltırken, katı yağın sağladığı lezzet, ağız hissi ve raf ömrü gibi temel fonksiyonları koruma potansiyeline sahiptir (Holey ve ark., 2021; Mattice & Marangoni, 2017). Bununla birlikte, oleojel üretiminde kullanılabilecek çok sayıda farklı yapılandırıcı (düşük veya yüksek molekül ağırlıklı bileşikler, balmumu, yağ asitleri, yağ alkolleri, monogliseritler, fitosteroller vb.) ve çeşitli işlem parametreleri bulunmaktadır. Yapılandırıcıların birbirleriyle veya diğer gıda bileşenleriyle etkileşimi sonucu, ürünün mikroyapısı, reolojik özellikleri ve tekstürü büyük ölçüde değiştiği bildirilmiştir (Berry ve ark., 2019; Noonim ve ark., 2022). Bunun yanı sıra son dönemde, oleojellerin yalnızca katı yağ ikamesi olarak değil, aynı zamanda fonksiyonel gıda bileşeni olarak da kullanılabileceği belirlenmiştir. Sağlık açısından ise yararlı olabilecek bileşenlerin (biyoaktif maddeler vb.) taşınması ve kararlılığını artırılması gibi faydaları olabileceği belirtilmektedir (Zhang ve ark., 2021; Patel ve ark., 2014). Ancak bu teknolojinin ticari ölçekte yaygınlaşması için, maliyet, tat ve tekstür üzerindeki etkileri, olası sinerjik veya antagonistik etkileşimleri, raf ömrü ve depolama stabilitesi gibi faktörlerin ayrıntılı olarak araştırılması gerektiği belirtilmektedir (Piekarska ve ark., 2023; Chen ve ark., 2022).

Bu bağlamda, oleojellerin gıda endüstrisindeki potansiyelini ortaya koyulması ve sağlık ile fonksiyonellik açısından öneminin vurgulanması amacıyla hazırlanan çalışmada ilgili literatür kapsamlı şekilde incelenmiş ve oleojelasyon teknolojisinin mevcut durumu, temel uygulama alanları ve gelecekteki araştırma perspektifleri ele alınmıştır. Böylece hem bilim insanları hem de sektör profesyonelleri için oleojellerin gıdalarda kullanım potansiyelini özetleyen güncel bir bakış açısı sunulması hedeflenmiştir.

Oleojelatörler

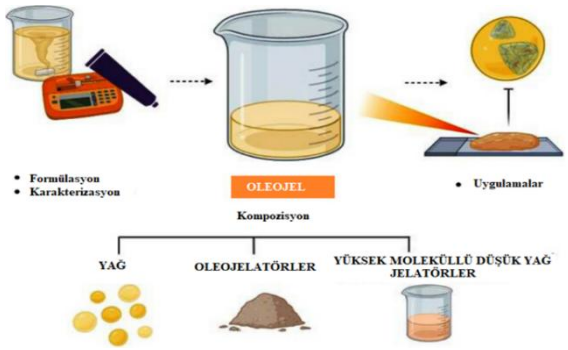
Oleojelatörler, yağ bazlı formülasyonlarda jel ya da yarı katı sistemler oluşturmak amacıyla kullanılan ve yağ fazının kıvamını veya viskozitesini değiştirerek jel benzeri bir doku sağlayan maddelerdir (Chen ve ark., 2022). Kimyasal yapı, konsantrasyon ve formülasyon koşulları gibi etkenlere bağlı olarak oleojelatörlerin özellikleri ve performansları farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle, uygulama gereksinimlerine göre uygun oleogelatör tipi seçilmesi önemli görülmektedir (Wang ve ark., 2021).

Yağ yapılandırmada yaygın olarak tercih edilen düşük molekül ağırlıklı oleojelatörlere; mumlar (arı mumu, karnauba mumu, ayçiçeği mumu, pirinç kepeği mumu vb.),

fitosteroller (β-sitosterol, γ-oryzanol vb.), serbest yağ asitleri ve monogliseritler örnek gösterilmektedir (Contreras-Ramirez ve ark., 2023; Contreras-Ramirez ve ark., 2022; Du ve ark., 2021). Bu maddeler, kendi kendine lifsi (fibriller) yapılar veya kristal ağlar oluşturarak sıvı yağı hapsetmekte ve katı bir yapısal ürün meydana getirmektedir. Özellikle ayçiçeği mumunun, düşük konsantrasyonlarda bile etkili jel oluşturabilmesi sebebiyle "altın standart" şeklinde değerlendirildiği belirtilmektedir (Du ve ark., 2021). Yüksek molekül ağırlıklı oleojelatörler ise proteinler ve polisakkaritler olup, üç boyutlu ağlarını hidrojen bağları, elektrostatik ve hidrofobik etkileşimler yoluyla kurarak sıvı yağları yapılandırmaktadır (Wang ve ark., 2022). Bu polimerik yapılandırıcıların kolay bulunabilirliklerinin yanı sıra genellikle maliyet açısından da avantaj sunmaları gıda endüstrisinde ilgi görmesine sebep olmaktadır (Alizadeh ve ark., 2019). Oleojelatörlerin gıdalarda kullanımı, trans ve doymuş yağ içeriklerinin azaltılması, ürünün istenen dokusal ve duyusal özelliklerinin korunması ve raf ömrünün uzatılması gibi pek çok avantaj sağladığı belirtilmektedir (Berry ve ark., 2019; Holey ve ark., 2021).

Oleojel Yapısı

Oleojellerin yapısı; kullanılacak bitkisel yağ türü, yapılandırıcı ajanların konsantrasyonu ve işleme koşulları gibi faktörlere göre tasarlanmakta ve böylece istenen yapısal ve fiziksel özelliklerin elde edilmesi mümkün kılınmaktadır (Silva ve ark., 2021; Doan ve ark., 2017). Bunun yanı sıra oleojel oluşturmakta kullanılan yapısal ajanlar ve yağ türü, jel kristal yapısını ve fiziksel özelliklerini temelden etkilemektedir. GRAS statüsündeki bazı oleojeller; hidrofobik biyoaktif bileşenleri hedef dokuya salmak üzere diyetsel takviye olarak kullanılabildiği gibi, likopen, fitosteroller veya E vitamini gibi etken maddelerin biyoyararlılığını artırabileceğinden, gelecekte fonksiyonel gıdalarda da önemli bir potansiyele sahip olduğu belirtilmektedir (Mandu ve ark., 2020; Yilmaz ve ark., 2021).



Şekil 1. Oleojel süreçleri ve kompozisyonu (Sivakanthan ve ark., 2022).

Figure 1. Oleogel processes and composition (Sivakanthan et al., 2022).

Oleojellerin sindirilebilirliği üzerine çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, Tan ve ark. (2017) etil selüloz ile yapılandırılan yağlarda insanlarda postprandiyal trigliserit düzeyinin düşüş gösterdiğini, dolayısıyla KVH riskini azaltabileceğini rapor etmiştir. Benzer şekilde, Limpimwong ve ark. (2017) pirinç kepeği mumu ile oluşturulan oleojellerin dört hafta boyunca yüksek yağlı diyet uygulanan sıçanlarda serum ve karaciğerdeki triasilgliserol düzeyini yaklaşık %30 düşürdüğünü, karaciğer kolesterol ve toplam yağ birikimini azalttığını gözlemlemiştir. Ayrıca dışkı yoluyla atılan triasilgliserol, toplam kolesterol ve safra asidi miktarlarının arttığı belirtilmiştir. Bu bulgular, jel ağ yapısının lipit sindirilebilirliğinde önemli bir rol oynadığına işaret etmektedir (Limpimwong ve ark., 2017).

Dong ve ark. (2020) fitosterol temelli oleojellerde, kristal yapı ve jel gücünün lipit sindirimi ve emülsifikasyon etkinliği üzerinde önemli etkileri olduğunu rapor etmiştir. Jel mikroyapısının, lipaz ile yağ substratı arasındaki etkileşimi kısmen engelleyerek lipit sindirimini azalttığı gösterilmiştir. Bu durum, gıda uygulamalarında oleojellerin beslenme açısından avantajlar sunabileceğini göstermiştir (Patel ve ark., 2020). Nitekim oleojellerin fizikokimyasal özellikleri üzerine yoğunlaşılan çalışmalar sonucu gıdalarda kullanım alanları da giderek artmakta olup son on yılda yaklaşık 50 patent alındığı belirtilmektedir (Pawar ve ark., 2024). Çalışmalarda trans ve/veya doymuş yağ yönünden zengin ve yağın dokusal/duyusal özellikleri belirlediği geleneksel gıdalar tercih edildiği belirlenmiş; ürünlerin besinsel kalitesini artırmak amacıyla klasik katı yağların oleojel ile ikamesine odaklanıldığı belirtilmektedir. Bunun yanında yağ stabilitesi, oksidasyonu geciktirme veya ürün maliyetini düşürme gibi hedefler yer almakta olup tüketici beğenisinin ürün geliştirme sürecindeki önemini dikkate alınarak duyusal analizlere özel önem verilmektedir (Pawar ve ark., 2024).

Gıda Endüstrisinde Oleojel Kullanımı

Oleojeller, trans ve doymuş yağ ikamesinin yanı sıra; yağda çözünmeyen biyoaktif maddelerin taşınması, emülsifiye edici madde içermeyen formülasyonlarda stabilizatör görevi görmesi, yağ bağlama veya ürünlere ısı direnci kazandırma gibi çoklu fonksiyonları sayesinde geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir (Tan ve ark., 2017). Oleojellerin üretiminde kullanılan yapılandırıcı ajanlar arasında balmumu, candelilla mumu, pirinç kepeği mumu, ayçiçek mumu, karnauba mumu, monoaçilgliseroller, etil selüloz, fitosteroller ve γ-oryzanol gibi çeşitli bileşenler bulunmaktadır. Bu ajanların seçimi ve kullanım oranları, elde edilen oleojelin fizikokimyasal, duyusal ve teknolojik özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Yapılan çalışmalar, özellikle kızartma yağı, et ürünleri (burger ve sosis çeşitleri), fırın ürünleri (kek, muffin ve kurabiye), süt ürünleri (dondurma, krem peynir ve işlenmiş peynirler) ve diğer gıdalar (margarin ve sürülebilir ürünler ile çikolata ve dolgu kremlerinde) gibi geniş bir ürün grubunda oleojellerin etkisini incelemiştir.

Kızartma Yağı Olarak Oleojellerin Kullanımı

Oleojellerin kullanım alanlarından biri kızartma süreçleri olup, farklı bitkisel yağ türlerinde çeşitli jel ajanlarının ve konsantrasyonlarının performansı kapsamlı biçimde değerlendirilmektedir. Nitekim derin yağda kızartma sırasında yağ emilimini en aza indirmek (Lim ve ark., 2017), yağ emilimini azaltma ve kızartılmış gıdaların besinsel ve enerjik içeriğini iyileştirme sorununa yönelik

kızartma ortamının oleojel ile değiştirilmesi değerlendirilmiştir (Matheson ve ark., 2018). Oleojeller, katı yağlara benzer viskoelastik özellikler gösterdiğinden birçok çalışmada derin yağda kızartılan gıdalarda yağ emilimini sınırlamak amacıyla modifiye edilmiş kızartma ortamı olarak kullanılmıştır. Bunun yanı sıra oleojeller, besinsel faydalar sunarken gıda ürünlerinin duyusal ve teknolojik özelliklerini de geliştirdiği belirtilmiştir (Zetzl ve ark., 2012; Oyom ve ark., 2024). Yağın viskozitesi ve polaritesi, oleojellerin jelleşme kinetiği ve kristalleşme davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ricinoleik asit bazlı oleojellerde, yağ polaritesi arttıkça jel oluşturucu molekül ile yağ arasındaki etkileşimin iyileştiği, bunun da jel gücünü azalttığı bulunmuştur (Wright ve Marangoni, 2006). Buna karşılık etil selüloz oleojelleri, polarite arttıkça etil selülozun ısıtma sırasında çözünürlüğünün artmasına bağlı olarak daha yüksek jel sertliği göstermiştir (Gravelle ve ark., 2016). De Vries ve ark. (2017), üç farklı yağ (sızma zeytinyağı, ayçiçek yağı ve hint yağı) ile yapılan oleojellerde protein agregalarının etkisini incelemiş ve daha yüksek polariteye sahip yağların daha zayıf jel ürettiğini, bunun ise jel oluşturucu ile çözücü arasındaki güçlü etkileşimlerden kaynaklandığını belirtmiştir.

Uzun karbon zincirleri ve artan viskozite, daha yüksek sertlikte jellerin oluşmasını sağlamaktadır. Bunun yanı sıra yağ fazında daha yüksek doymamışlık derecesi, daha kıvrımlı bir uzaysal düzen oluştururken etkileşim enerjisini azaltarak yağın hidrofobikliğini artırmaktadır. Hidrofobikliğin artması, apolar yapılandırıcıların çözünmesini kolaylaştırmakta, çok sayıda bağlantı bölgesi oluşumunu desteklemekte ve sonuç olarak daha güçlü jeller ortaya çıkarmaktadır (Valoppi ve ark., 2017). Zetzl ve ark. (2014), yağ türünün (kanola yağı, soya yağı ve keten tohumu yağı) oleojellerin reolojik ve mikroyapısal (gözenek çapı) özellikleri üzerindeki etkisini incelemiş ve kanola yağının daha geniş gözenek çapı (daha stabil jel) oluşturduğunu belirlemiştir. Ancak yağ bileşeninin doymamışlık seviyesi arttıkça gözenek çapının azaldığını bildirmiştir. Bu nedenle polaritesi düşük, doymamışlık derecesi yüksek ve viskozitesi fazla olan yağların daha sert oleojeller üretmek için daha uygun olduğu belirtilmektedir (Mahmud ve ark., 2023). Adrah ve ark (2022) kanola yağı ve karnauba mumu ile oleojel hazırlamış ve bunu derin yağda kızartılmış tavukta kızartma ortamı olarak kullanmış, yağ alımı ve lipid oksidasyonunun önemli ölçüde azaldığını bildirilmiştir. Kızartma ortamı olarak kullanılacak oleojeller için yüksek ısıl stabilite, termo-geri dönüşümlü ağ yapısı ve oksidatif dayanım kritik parametreler olduğundan, mumlar, monogliseritler, fitosteroller ve etil selüloz gibi LMWOG türleri daha uygun oleojelajatlar olarak öne çıktığı belirtilmektedir (Mahmud ve ark., 2023). Oleojel sistemlerinde yağın doymuşluk derecesi, zincir uzunluğu, viskozitesi ve polaritesi jelleşme davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Doymuşluk düzeyi daha yüksek olan yağlar, jel yapısının güçlenmesine katkı sağlamakta; artan viskozite ve düşük polarite, daha kompakt ve sağlam jel ağlarının oluşmasına olanak tanımaktadır (Patel ve ark., 2015). Zetzl ve ark. (2014) tarafından kanola yağının, soya ve keten tohumu yağlarına kıyasla daha büyük gözenek çapına sahip, daha stabil oleojeller oluşturduğunu rapor etmiştir. Doğal mumlar (kandelila, karnauba, balmumu, pirinç kepeği mumu) düşük konsantrasyonlarda (%1–4) dahi güçlü jel yapıları oluşturmaktadırlar (Ferdaus ve ark., 2022). β-Sitosterol ile γ-oryzanolün sinerjik etkileşimi, %2 gibi düşük seviyelerde bile güçlü kristal ağlar oluşturduğu belirtilmektedir (Bot ve ark., 2012; Bitencourt ve ark., 2016). Bu sistemler trans yağlara etkili bir alternatif olup, monogliserit ilavesi ile daha stabil kristal yapılar geliştirilmektedir (Davidovich-Pinhas ve ark., 2015; Chen ve ark., 2016). Etil selüloz oleojeller, yüksek sıcaklıklarda çözünürlüğü artan yapı sayesinde kızartma koşullarına en dayanıklı oleojel sistemlerinden biridir. Etil selüloz jel ağları ısı altında bozulmadan kalabildiğinden, kızartma uygulamalarında %15–40 arasında yağ emiliminin azaltılmasını mümkün kıldığı belirtilmektedir (Gravelle ve ark., 2016). Oleojellerin daha yüksek viskoziteye sahip olması ve gıda yüzeyindeki kapiler gözeneklere daha yavaş nüfuz etmesi, kızartma sonunda ürün içi yağ miktarının düşmesi nedeniyle patates kızartması, kaplamalı tavuk ürünleri ve hamur bazlı gıdalarda vb. gibi yüksek yağ çeken ürünlerde belirgin şekilde kullanılmış () ve mumlar, fitosteroller ve EC gibi yapılandırıcılar, yağın oksidasyona dirençli bir matris içinde tutulmasını sağlamıştır (Zetzl ve ark. 2012; Lim ve ark. 2017; Matheson ve ark., 2018). Bu sayede peroksit değeri, toplam polar bileşikler, malondialdehit (MDA), akrilamid ve 4-Hidroksi-2-Nonenal (HNE) oluşumu geleneksel yağlara kıyasla daha düşük bulunmuştur(Zetzl ve ark. 2012; Oyom ve ark., 2024). Oleojel kullanımı ile ürünlerde daha çıtır kabuk, daha düşük yağlı iç doku, daha iyi renk stabilitesi elde edilmekte; özellikle kandelila ve karnauba mumu içeren oleojeller, kızartılmış ürünlerde yüksek tüketici kabulü sağladığı belirtilmektedir (Hwang ve ark., 2013; Adrah ve ark., 2022). Oleojellerin oksidatif bozunmaya karşı daha dirençli olması, kızartma yağının tekrar kullanım sayısını da artırdığından endüstriyel işletmeler için maliyet avantajı sunduğu da bildirilmektedir (Park ve Maleky, 2020).

Et Teknolojisinde Oleojelasyonun Kullanımı

Et ürünlerinde (sosis, sucuk, hamburger köftesi, et pate gibi ürünlerde) geleneksel olarak yüksek düzeyde doymuş yağ içeren hayvansal yağlar, çeşitli oleojellerle kısmen veya tamamen ikame edilerek hem besleyici özelliklerin iyileştirildiği hem de ürünün doku ve lezzet niteliklerinin büyük ölçüde korunduğu bildirilmektedir (Gómez-Estaca ve ark., 2019; Mohd Hassim, 2022; Qiu ve ark., 2023; Martini ve An, 2000; Winkler-Moser ve ark., 2019). Et ürünlerinde oleojel uygulamalarının sayısı henüz sınırlı olmakla birlikte, özellikle hamburger, sosis ve frankfurter ürünlerinde umut verici sonuçlar elde edilmiştir.

Hamburger üretiminde balmumu, etil selüloz ve sorbitan monostearat gibi jel oluşturucu maddeler kullanılarak hazırlanan oleojeller, sığır eti yağının kısmen ya da tamamen yerine kullanılmak üzere değerlendirilmiştir. Susam yağı temelinde oluşturulan balmumu içeren oleojellerin (%5, %7.5 ve %10 düzeylerinde) hamburgerlerde hayvansal yağın yerine kullanılmasının, kontrol örneklerine kıyasla daha yumuşak, daha yapışkan ve daha kolay çiğnenebilir ürünler ortaya çıkardığı bildirilmiştir (Moghtadaei ve ark., 2018). Etil selüloz ile balmumu içeren oleojeller karşılaştırıldığında ise bazı formülasyonlarda balmumu esaslı oleojeller kullanılan ürünlerin tat ve genel duyusal kabul açısından daha yüksek performans gösterdiği belirtilmiştir (Adili ve ark., 2020).

Frankfurter tipi ürünlerde de kısmi veya tam yağ ikamesi üzerine çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Öğütülmüş sığır eti kullanılarak üretilen frankfurterlerde sorbitan monostearat ve etil selüloz ile yapılandırılmış oleojellerden elde edilen ürünlerin sertlik ve esneklik bakımından başarılı sonuçlar verdiği; oleojel içeren frankfurterlerin kontrol ürünleriyle benzer kalite özelliklerine sahip olduğu saptanmıştır (Panagiotopoulou ve ark., 2018). Bunun yanı sıra ayçiçek yağı ile fitosterol ve gamma-oryzanol kullanılarak oluşturulan oleojellerin sosislerde pH ve oksidasyon seviyeleri bakımından kontrol ürünlerden farklı olmadığı; kaplama malzemesi olarak kullanıldığında ise frankfurterlerin dokusal özelliklerini olumsuz etkilemediği rapor edilmiştir (Pintado ve Cofrades, 2020). Bologna tipi sosislerde pirinç kepeği mumu kullanılarak hazırlanan yüksek oleik asit içeren ayçiçeği yağı/soya fasulyesi yağı bazlı oleojellerle üretilen ürünlerin, aroma, tat, doku ve nemlilik açısından kontrol örnekleriyle benzer duyusal sonuçlar verdiği; ayrıca yüksek oleik asit içeren ayçiçeği yağı kullanılan formülasyonların daha avantajlı bir yağ asidi bileşimi sunduğu gösterilmiştir (Wolfer ve ark., 2018).

Zeytinyağı ve chia tohumu yağı temelinde, %7 oranında balmumu içeren oleojellerle üretilen salam tipi sosislerde ise, geleneksel ürünlere kıyasla daha sağlıklı bir yağ profili elde edildiği; çoklu doymamış yağ asitlerinden omega-6/omega-3 oranının belirgin ölçüde azaltıldığı ve depolama süresi boyunca oksidatif kararlılığın tatmin edici seviyede kaldığı bildirilmiştir (Pintado ve Cofrades, 2020).

Genel olarak değerlendirildiğinde, et ürünlerinde farklı türlerde kullanılan oleojellerin, ürünlerin dokusal özelliklerinde olumlu veya kabul edilebilir etkiler yarattığı; aynı zamanda lipid profilini iyileştirerek daha sağlıklı yağ bileşimlerinin elde edilmesine katkı sağlamaktadır.

Süt Ürünleri Teknolojisinde Oleojelasyonun Kullanımı

Süt ürünleri (krem peynir, işlenmiş peynir, dondurma vb.) formülasyonlarında ise oleojel kullanımıyla doymuş yağ oranı azaltılırken, duyusal özelliklerdeki kayıplar minimize edilmektedir. Hatta bazı durumlarda ürünün raf ömrü ve stabilitesi olumlu yönde etkilendiği belirtilmektedir (Yang ve ark., 2019; Perţa-Crişan ve ark., 2023; Moher ve ark., 2009; Jang ve ark., 2015). Oleojel teknolojisinin trans ve doymuş yağları azaltmanın ötesinde ürün stabilitesi, biyoaktif maddelerin taşınması ve ısıya dayanıklılık kazandırma gibi işlevleri sayesinde daha sağlıklı ve fonksiyonel gıda ürünleri geliştirilmesinde katkıda bulunduğu belirlenmiştir (Mert & Demirkesen, 2016). Süt ürünleri alanındaki çalışmalar genellikle dondurma, krem peynir ve işlenmiş peynir çeşitlerinde yoğunlaşmıştır. Pirinç kepeği mumu, kandelila mumu, karnauba mumu, bal mumu, etil selüloz, fitosteroller ve γ-oryzanol gibi yapılandırıcı maddeler kullanılarak geleneksel katı yağların yerine geçme potansiyeli değerlendirilmiştir. Dondurma ürünlerinde pirinç kepeği mumu içeren oleojellerle hazırlanan örneklerde hava kabarcıklarının daha küçük olduğu ve erime hızının daha düşük gerçekleştiği bildirilmiştir (Botega ve ark., 2013; Moriano ve Alamprese, 2017).

Airoldi ve Ract (2022), kandelila mumu ile oluşturulan oleojelin erime stabilitesini ve şekil dayanımını artırdığını; Jing ve çalışma arkadaşları (2022) ise kamelya yağı temelinde hazırlanan oleojellerin dondurmanın kalite ve erime özelliklerini iyileştirdiğini rapor etmiştir (Airoldi ve Ract, 2022; Jing ve ark., 2022). Bal mumu içeren bazı formülasyonlarda ilk erime zamanının kontrol örneklerinden farklı olmadığı görülmekle birlikte, duyusal tercihlerin çoğunlukla kontrol örnekleri lehine olduğu belirtilmiştir (Moriano ve Alamprese, 2017). Fitosterol ve γ-oryzanol temelli oleojellerin belirli kullanım oranlarında dondurmaların hacim ve erime özelliklerini geliştirdiği de gösterilmiştir (Airoldi ve Ract, 2022; Jing ve ark., 2022).

Krem peynir üretiminde, pirinç kepeği mumu ve etil selüloz ile hazırlanmış (%10 düzeyinde) yüksek oleik asit içeren ayçiçeği yağı ve soya fasulyesi yağı bazlı oleojeller kullanılarak yağ içeriği %25 daha düşük krem peynir örnekleri geliştirilmiştir. Bu oleojel içeren krem peynirlerin sertlik, sürülebilirlik ve yapışkanlık gibi tekstürel özellikler açısından tam yağlı ticari kontrol örneklerine benzer sonuçlar verdiği ve bu benzerliğin ürünlerin mikro yapısal özelliklerindeki yakınlıktan kaynaklandığı belirtilmiştir (Bemer ve ark., 2016). Bunun yanı sıra pirinç kepeği mumu (%10) ile formüle edilen oleojellerin krem peynir yapısı içerisinde oksidatif stabiliteyi artırdığı, böylece termal işlem ve depolama süresince yapısal kararlılığın korunduğu bildirilmiştir (Park, Bemer ve Maleky, 2018).

İşlenmiş peynir ürünlerinde ise %0,5 ve %1 oranlarında pirinç kepeği mumu ile soya yağı bazlı oleojeller kullanılarak ticari peynir örneklerine eşdeğer yağ bağlama kapasitesi ve nem içeriği elde edilmiştir. Oleojel içeren peynirlerin sertlik ve depolama modülü açısından ticari ürünlerle aynı seviyede olduğu saptanmıştır (Huang ve ark., 2018). İmitasyon peynirlerde kandelila mumu (%3, %6 ve %9 oranlarında) ile hindistan cevizi yağı bazlı oleojeller kullanılmış; viskoelastik özelliklerin iyileştiği, ayrıca %3 veya %6 oleojel kullanıldığında ürünlerin eriyebilirlik özelliklerinin olumsuz etkilenmediği belirtilmiştir (Moon ve ark., 2021). Salamura edilmiş veya edilmemiş yumuşak peynir çeşitlerinde ise %7 düzeyinde balmumu ile zeytinyağı ve ayçiçeği yağı bazlı oleojeller kullanılmış; bu uygulamanın tekstürel özellikleri daha sert, daha sakızımsı ve daha çiğnenebilir hale getirdiği, özellikle ayçiçeği yağı bazlı oleojel kullanılan peynirlerde genel duyusal kabulün standart ürünlere oldukça yakın olduğu rapor edilmiştir (Gab-Allah, 2018).

Genel olarak, süt ürünlerinde oleojel kullanımı; yağ içeriğinin azaltılması, oksidatif stabilitenin artırılması ve ürün kalitesinin korunması açısından umut verici bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Pirinç kepeği mumu, karnauba mumu ve fitosterol temelli oleojeller özellikle dondurma ve krem peynir ürünlerinde başarılı sonuçlar vermiş; duyusal ve teknolojik özellikler bakımından geleneksel yağlara benzer performans göstermiştir. Buna karşın, balmumu gibi bazı oleojel türlerinde duyusal kabul açısından hâlâ iyileştirmeye ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir. Bu nedenle oleojel türü ve kullanım oranlarının dikkatle belirlenmesi, ürünlerin yapısal, duyusal ve teknolojik performansını optimize etmek açısından kritik önem taşımaktadır.

Fırın Ürünlerinde Oleojelasyon Tekniği İle Yağların Oleojelasyonu

Fırın ürünleri alanında (kurabiye, kek, muffin ve benzeri ürünlerde), katı yağlar kısmen ya da tamamen oleojeller ile ikame edilerek doymuş yağ alımı önemli

ölçüde azaltılmıştır. Buna rağmen ürünlerin reolojik, duyusal ve yapısal özelliklerinin büyük oranda korunduğu belirtilmiştir (Moon ve ark., 2021; Yılmaz ve Toksöz, 2022; Li ve ark., 2022; Li ve ark., 2021). Farklı oleojelatörler (karnauba mumu, beta-sitosterol karışımları, monoasilgliseroller ve benzeri maddeler) ile hazırlanan gevrek hamur ürünlerinde oleojellerin etkileri incelenmiştir. Kandelilla mumu içeren oleojel hamurunun en yüksek sertliğe sahip olduğu (92.49 N), diğer oleojel içeren hamurların ise elastik ve katı benzeri bir davranış sergilediği görülmüştür. Bisküvi tipi fırın ürünleri için yapılan testlerde, margarin kullanılan kontrol hamurunun sertlik değeri 28.74 N olarak belirlenirken, oleojeller ile hazırlanan örneklerde yumuşak hamur ürünleri için arzu edilen bir yumuşaklık düzeyi elde edilmiştir (11.22–20.97 N). Özellikle beta-sitosterol karışımları ve kandelilla mumu içeren oleojellerin bu tür ürünlerde kullanımı uygun bulunmuştur (Kim ve ark., 2022).

Jang ve ark. (2015), kanola yağı içinde %3 ve %6 oranlarında kandelilla mumu kullanılarak oluşturulan oleojellerin daha düşük viskoelastik hamur özellikleri ve daha düşük sertlikte kurabiyeler verdiğini bildirmiştir. Benzer şekilde Bae ve ark. (2015) oleojel içeren ürünlerin yayılabilirliğinin iyi olduğunu ve doymamış yağ asidi oranının yüksek olduğunu rapor etmiştir. Mert ve Demirkesen (2016a, 2016b), kandelilla mumu ve pirinç kepeği mumu ile ayçiçeği yağında %2.5–5 oranlarında hazırlanan oleojellerin esnekliği artırıp sertliği azalttığını göstermiştir. Alvarez-Ramírez ve ark. (2020), pirinç kepeği mumu ile %altı oranında oleojel hazırlanmasının (formülasyonda %70 oleojel + %30 kısaltma ürünü) sertlik, gevreklik, renk ve duyusal özellikler açısından kontrolle benzer sonuçlar verdiğini; bal mumu ve pirinç kepeği mumu bazlı oleojellerin öne çıktığını bildirmiştir.

Hwang ve ark. (2016), farklı yağ türleri olarak zeytinyağı, soya yağı ve keten tohumu yağı kullanarak; ayrıca formülasyonlarda %8 oranında ayçiçeği mumu, bal mumu ve pirinç kepeği mumu ekleyerek kurabiyelerin özelliklerini değerlendirmiştir. Ayçiçeği mumu ve pirinç kepeği mumunun hamur sertliğini artırdığı, ancak temel doku özelliklerinde ve yayılma oranında belirgin bir değişime neden olmadığı bildirilmiştir. Buna karşılık, bal mumu ile zeytinyağı kombinasyonunun margarin içermeyen formülasyonlarda benzer ürün özellikleri sağladığı belirtilmiştir (Hwang ve ark., 2016).

Li ve ark.nın (2021) çalışmasında, pirinç kepeği mumu ve kandelilla mumunun %5–9 oranlarında kullanımının kurabiyelerde ideal sertlik, renk ve yayılma özellikleri sağladığı rapor edilmiştir. Zhao ve ark. (2020) ise monoasilgliseroller ve pirinç kepeği mumu ile hazırlanan oleojellerin geleneksel kurabiyelerle karşılaştırıldığında doku, mikroyapı ve duyusal özellikler açısından oldukça benzer sonuçlar verdiğini göstermiştir. Ayrıca monoasilgliseroller ile beta-sitosterol kombinasyonlarının kısaltma ürünü ile benzer performans sergilediği bildirilmiştir (Li ve ark., 2021; Zhao ve ark., 2020). Bu bulgular, kurabiye üretiminde pirinç kepeği mumu, monoasilgliseroller ve monoasilgliserol–beta-sitosterol kombinasyonlarının başarılı alternatifler sunduğunu; bal mumu, kandelilla mumu ve ayçiçeği mumu bazlı oleojellerin ise su ve yağ emülsiyonları şeklinde yapılandırıldıklarında daha etkili olabildiğini ortaya koymaktadır.

Oleojellerin kullanımı açısından en sık araştırılan fırın ürünlerinden biri muffin ve sünger keklerdir. Oh ve Lee (2018), %4 oranında hidroksipropil metil selüloz köpük oleojellerinin muffin hamurlarında kesme incelmesi davranışı oluşturduğunu ve kısaltma ürününün %50'sine kadar yapılan ikamelerde pişmiş ürün hacminin korunduğunu göstermiştir. Giacomozzi ve ark. (2022), yüksek oleik asit içeren ayçiçeği yağı ile hazırlanan monoasilgliserol oleojellerin margarini ikame ettiğinde sürülebilirliği ve özgül hacmi artırdığını, sertlik değerlerinin benzer kaldığını, iç yapının daha homojen olduğunu ve on günlük depolama sonunda yağ göçünün yaklaşık %50 oranında azaldığını bildirmiştir. Ayrıca doymuş yağ asidi miktarının %68 oranında düştüğü rapor edilmiştir (Giacomozzi ve ark., 2022).

Keklerde kullanılan "çift ağ yapılı" sistemlerde, hidroksipropil metil selüloz ile monoasilgliserol kombinasyonlarının monoasilgliserolün kristal ağ yapısını güçlendirerek sertliği ve çiğnenebilirliği artırdığı ortaya konmuştur (Jiang ve ark., 2022). Alvarez-Ramírez ve ark. (2020), %5 kakao yağı eşdeğeri içeren oleojelin sünger keklerde tereyağı yerine kullanılması durumunda özgül hacmi artırdığını (1.91'den 1.98 cm^3/g'a çıktığını), viskoelastisiteyi ve sertlik değerlerini azalttığını belirtmiştir. Ayrıca FTIR analizleri ile nişastanın kısa mesafeli düzenliliğinin yaklaşık %120 oranında arttığı ve in vitro nişasta sindirilebilirliğinin %70'ten yaklaşık %84'e yükseldiği bildirilmiştir. Wettlaufer ve Flöter (2022) ise kanola yağı bazlı oleojellerin ve oleoköpüklerin (ayçiçeği mumu, bal mumu, pirinç kepeği mumu ve ayçiçeği mumu–bal mumu karışımı kullanılarak hazırlanan) sünger keklerde yağ migrasyonunu kontrol etmede ve ürün hacmini iyileştirmede yalnızca sıvı yağ kullanılan kontrol örneklerine göre daha iyi performans gösterdiğini belirtmiştir. Özellikle ayçiçeği mumu ve bal mumu karışımının yağ göçünü en iyi şekilde engellediği ve duyusal açıdan yüksek kabul gördüğü bildirilmiştir (Wettlaufer ve Flöter, 2022).

Diğer Gıdalarda Oleojelasyon Uygulamaları

Margarin türevi sürülebilir ürünlerde ayçiçeği mumu, pirinç kepeği mumu veya candelilla mumu kullanımı sayesinde trans ve doymuş yağ oranı azaltılmış; bununla birlikte ürünün arzu edilen sürülebilirlik ve doku özellikleri korunduğu belirlenmiştir (Tan ve ark., 2017; Limpimwong ve ark., 2017). Benzer şekilde sürülebilir ürünler ve margarinler üzerine yapılan çalışmalar, özellikle çeşitli mumlarla (ayçiçeği mumu, pirinç kepeği mumu, bal mumu ve kandelilla mumu) hazırlanan oleojellerin kısaltma ürünlerini ve doymuş yağları ikame etme potansiyeline odaklandığı belirtilmiştir (Hwang ve ark., 2014). Bitkisel yağ içinde %3–7 oranlarında ayçiçeği mumu içeren oleojellerle formüle edilen margarinlerin sertlik değerlerinin ticari sürülebilir ürünlerden daha yüksek, katı margarinlerden ise daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum, oleojellerin pek çok uygulamada uygun olmakla birlikte bazı kullanım alanlarında belirli kısıtlamalar oluşturabileceğini göstermektedir (Hwang ve ark., 2014).

Bal mumu ile hazırlanan oleojel bazlı margarinlerde erime tepe noktasının yaklaşık 40 °C civarında olduğu, ancak ağızda erime hissinin zayıf kaldığı ve bal mumu oranı arttıkça sertliğin yükseldiği bildirilmiştir (Yılmaz ve

Öğütcü, 2015). Öte yandan, belirli oleojel karışımları margarinlerde daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Örneğin, monoasilgliseroller (%1,77) ve kandelilla mumu (%2,66) içeren yüksek oleik asit içeren ayçiçeği yağı bazlı oleojellerle hazırlanan margarinlerde tekstürel ve duyusal özellikler tatmin edici bulunmuş; hızlı erime ve kolay sürülebilirlik sağlanmıştır (Hwang ve ark., 2014; Chai ve ark., 2022).

Oleojeller düşük yağlı sürülebilir ürünlerde de başarıyla denenmiştir. Örneğin, farklı yağlarla bal mumu veya ayçiçeği mumu (%5) kullanılarak geliştirilen sürülebilir ürünlerde, sürülebilirlik, tekstür ve genel tüketici kabulü açısından olumlu sonuçlar rapor edilmiştir (Puscas ve Muresan, 2022). Ayçiçeği mumu, pirinç kepeği mumu, bal mumu ve kandelilla mumunun karşılaştırıldığı çalışmalarda, ayçiçeği mumu içeren ürünlerin ticari ürünlere en yakın fiziksel ve duyusal özellikleri sunduğu; pirinç kepeği mumu içeren ürünlerin ise erime özellikleri ve şekil stabilitesi bakımından daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir (Puscas ve Muresan, 2022). Bu bulgular, özellikle monoasilgliseroller, bal mumu ve ayçiçeği mumu gibi oleojelatörlerin doğru oranlarda kullanılmasıyla, geleneksel yağ bazlı ürünlere oldukça yakın özelliklerde ve tüketiciler tarafından kabul gören sürülebilir ürünlerin geliştirilebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, kullanılan oleojelatörlerin erime davranışlarının formülasyona bağlı olarak dikkatle optimize edilmesi gerektiği çoğunlukla belirtilmektedir (Puscas ve Muresan, 2022).

Şekerleme ürünlerinde (çikolatalar, pralin dolgular, çikolata kremaları vb.) ise oleojeller aracılığıyla yağ göçü ve yüzeyde oluşabilecek bozulmalar engellenebilmekte, böylece depolama süresince ürün kalitesi korunmaktadır (Dong ve ark., 2020; Dong ve ark., 2020; Patel ve ark., 2020; Silva ve ark., 2023). Çikolata ve dolgu kremaları gibi şekerleme ürünlerde, monoasilgliseroller, etil selüloz, bal mumu ve kandelilla mumu gibi oleojelatörlerle gerçekleştirilen çalışmalar; yağ göçünün azaltılması ile tekstürel ve duyusal özelliklerin iyileştirilmesine odaklanmıştır.

Palm yağı türevi yağların monoasilgliseroller, bal mumu veya %5 oranında propolis mumu ile oleojelleştirilmesi, çikolata pastalarında mekanik özellikleri belirgin biçimde iyileştirmiş; palm stearin bazlı oleojellerde viskozitenin kontrol örnekleriyle benzer, akma dayanımının ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Bascuas ve ark., 2021). Hidroksipropil metil selüloz bazlı oleojellerin %50 oranında ikame edilmesiyle hazırlanan çikolata sürümleri duyusal açıdan başarılı bulunurken, %100 ikame edilen örneklerde bazı duyusal özelliklerin gerilediği rapor edilmiştir (Bascuas ve ark., 2021).

Yüksek oleik asit içeren ayçiçeği yağı ile monoasilgliserollerin (%10 oranında) birlikte kullanılmasıyla üretilen düşük yağlı çikolata sürümlerinin ise kontrol ürünlerle benzer duyusal skorlar gösterdiği belirtilmiştir (Tirgarian ve ark., 2023). Bunun yanı sıra monoasilgliseroller, kandelilla mumu ve yüksek erime noktasına sahip yağların soya fasulyesi yağı ve yüksek oleik asit içeren ayçiçeği yağı ile kombinasyonları, daha iyi havalanma, daha yüksek sertlik ve daha gelişmiş yapı sağlamaktadır. Tomografik analizler, monoasilgliserol bazlı oleojellerin daha iyi havalandırılmış bir içyapı oluşturduğunu göstermiştir. Bununla birlikte bazı formülasyonlarda monoasilgliserol içeren oleojellerin dolgu kremlerinde yağ bağlama kapasitesini azaltabildiği; %26 oranında monoasilgliserol içeren oleojellerin ise ticari dolgu kremalarına benzer viskoelastik özellik sunduğu bildirilmiştir (Kim ve ark., 2022).

Değerlendirme ve Sonuç

Günümüzde sağlıklı beslenme alışkanlıklarının benimsenmesi ve yaşam tarzıyla ilişkili hastalıkların artması, gıda endüstrisini daha sağlıklı alternatifler geliştirmeye yönlendirmiştir. Bu bağlamda, özellikle doymuş yağlar ve trans yağların azaltılması, tüketici sağlığının korunmasında büyük önem taşımaktadır. Gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan margarin ve shortening gibi katı yağlar, yüksek oranda doymuş ve trans yağ içermeleri nedeniyle kalp-damar hastalıkları ve obezite gibi sağlık sorunlarıyla ilişkilendirilmekte, tüketiciler tarafından giderek daha fazla sorgulanmaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda, son yıllarda gıda endüstrisinde yağ ikamesi amaçlı olarak yapılandırılmış sıvı yağ sistemleri, özellikle oleojeller ön plana çıkmaktadır. Oleojeller, sıvı yağların çeşitli yapılandırıcı ajanlar kullanılarak jel formuna dönüştürülmesiyle elde edilen yenilikçi ürünlerdir. Bu yapılandırma işlemi, sıvı yağların katı yağa benzer fiziksel özellikler kazanmasını sağlayarak gıda ürünlerinde kullanımını kolaylaştırmakta, aynı zamanda yağ asidi profilini iyileştirerek ürünlerin beslenme değerini artırmaktadır.

Oleojellerle ilgili yapılan çalışmalar özellikle kızartma yağı, et ürünleri (burger ve sosis çeşitleri), fırın ürünleri (kek, muffin ve kurabiye), süt ürünleri (dondurma, krem peynir ve işlenmiş peynirler) ve diğer gıdalarda (margarin ve sürülebilir ürünler ile çikolata ve dolgu kremlerinde) oleojel kullanımının başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Fırın ürünlerinde özellikle pirinç kepeği mumu, kandelilla mumu ve monoasilgliseroller gibi yapılandırıcı ajanların kullanımı, ürünlerin tekstürel, duyusal ve teknolojik özelliklerini olumlu yönde etkileyerek geleneksel katı yağların yerine geçebileceklerini ortaya koymuştur. Benzer şekilde, süt ürünlerinde pirinç kepeği mumu ve fitosteroller bazlı oleojellerin, özellikle dondurma ve krem peynir ürünlerinde yapı stabilitesini artırarak raf ömrü ve oksidatif stabiliteyi olumlu yönde geliştirdiği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, et ürünlerinde yapılan çalışmalar, oleojellerin lipid profilini iyileştirdiği ve tekstürel olarak olumlu etkiler oluşturduğunu ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, farklı oleojel sistemlerinin gıda endüstrisinde margarin, kısaltma ürünleri ve diğer doymuş yağların yerine başarıyla kullanılabileceği, ürünlerin beslenme profillerini iyileştirerek tüketici kabulünü artırdığı görülmektedir. Ancak her ürün grubunda oleojelatör seçimi, kullanım oranları ve kombinasyonlarının kritik öneme sahip olduğu anlaşılmıştır. Süt ürünleri, çikolata, kek, muffin ve diğer hamur işi ürünlerinde çeşitli oleojelatörlerle yapılan çalışmalar, oleojellerin tekstürel ve duyusal özelliklerde iyileşme, yağ migrasyonunun azaltılması, stabilitenin artırılması ve yağ asidi profilinin iyileştirilmesi gibi avantajlar sunduğunu göstermektedir. Oleojeller, doğru oleojelatör türü ve konsantrasyonu seçildiğinde kısaltma ürünleri ve doymuş yağların yerine başarılı bir şekilde

kullanılabileceği ve tüketici kabulü sağlayan ürünlerin geliştirilmesine olanak tanıyacaktır. Ancak her ürün grubunda oleojelatör seçimi, kullanım oranları ve kombinasyonlarının kritik öneme sahip olduğu anlaşılmış, farklı ürünlerde farklı oleojellerin kullanımına ait çalışmalar oleojellerin performanslarının ve etkileşimlerinin derinlemesine incelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, gelecekte yapılacak çalışmaların bu yönleri dikkate alarak daha kapsamlı analizler gerçekleştirmesi önem arz etmektedir.

Beyanlar

Etik Onay Belgesi

Bu çalışma derleme niteliğinde olup, herhangi bir deneysel hayvan ya da insan çalışması içermediğinden etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Yazar Katkı Beyanı

Aslıhan Tüğen ve Harun Dıraman: Literatür taraması, veri analizi, orijinal taslağın yazımı.

Salih Karasu: Kavramsallaştırma, metodoloji, proje yönetimi, gözden geçirme ve düzenleme.

Fon Beyanı

Bu çalışma için herhangi bir fon desteği alınmamıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın hazırlanmasında idari ve teknik destek sağlayan Afyon Kocatepe Üniversitesi ile Yıldız Teknik Üniversitesine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Adili, L., Roufegarinejad, L., Tabibiazar, M., Hamishehkar, H., & Alizadeh, A. (2020). Development and characterization of reinforced ethyl cellulose based oleogel with adipic acid: Its application in cake and beef burger. *LWT - Food Science and Technology, 126,* 109277. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109277

Adrah, K., Adegoke, S. C., Nowlin, K., & Tahergorabi, R. (2022). Study of oleogel as a frying medium for deep-fried chicken. *Journal of Food Measurement and Characterization, 16*, 1114–1123. https://doi.org/10.1007/s11694-021-01237-6

Airoldi, R., & Ract, J. N. R. (2022). Potential use of carnauba wax oleogel to replace saturated fat in ice cream. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 99*(10), 1085–1099. https://doi.org/10.1002/aocs.12685

Alizadeh, L., Abdolmaleki, K., Nayebzadeh, K., & Bahmaei, M. (2019). Characterization of sodium caseinate/hydroxypropyl methylcellulose concentrated emulsions: Effect of mixing ratio, concentration and wax addition. *International Journal of Biological Macromolecules, 128,* 796–803. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.146

Alvarez-Ramirez, J., Vernon-Carter, E. J., Carrera-Tarela, Y., Garcia, A., & Roldan-Cruz, C. (2020). Effects of candelilla wax/canola oil oleogel on rheology, texture, thermal properties and in vitro starch digestibility of wheat sponge cake bread. *LWT - Food Science and Technology, 130,* 109701. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109701

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

Bemer, H. L., Limbaugh, M., Cramer, E. D., Harper, W. J., & Maleky, F. (2016). Vegetable organogels incorporation in cream cheese products. *Food Research International, 85,* 67–75. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.004

Berry, S. E., Bruce, J. H., Steenson, S., Stanner, S., Buttriss, J. L., Spiro, A., Gibson, P. S., Bowler, I., Dionisi, F., Farrell, L., et al. (2019). Interesterified fats: What are they and why are they used? A briefing report from the Roundtable on Interesterified Fats in Foods. *Nutrition Bulletin, 44,* 363–380. https://doi.org/10.1111/nbu.12421

Bitencourt, R. G., Filho, W. A. R., Paula, J. T., Garmus, T. T., & Cabral, F. A. (2016). Solubility of γ-oryzanol in supercritical carbon dioxide and extraction from rice bran. *The Journal of Supercritical Fluids, 107*, 196–200. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.09.009

Bot, A., Gilbert, E. P., Bouwman, W. G., Sawalha, H., den Adel, R., Garamus, V. M., Venema, P., van der Linden, E., & Flöter, E. (2012). Elucidation of density profile of self-assembled sitosterol + oryzanol tubules with small-angle neutron scattering. *Faraday Discussions, 158*, 223–238. https://doi.org/10.1039/c2fd20020a

Botega, D. C. Z., Marangoni, A. G., Smith, A. K., & Goff, H. D. (2013). The potential application of rice bran wax oleogel to replace solid fat and enhance unsaturated fat content in ice cream. *Journal of Food Science, 78*(9), C1334–C1339. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12218

Brykczynski, H., Hetzer, B., & Floter, E. (2022). An attempt to relate oleogel properties to wax ester chemical structures. *Gels, 8,* 579. https://doi.org/10.3390/gels8090579

Buitimea-Cantua, G. V., Serna-Saldivar, S. O., Perez-Carrillo, E., Silva, T. J., Barrera-Arellano, D., & Buitimea-Cantua, N. E. (2021). Effect of quality of carnauba wax (Copernica cerifera) on microstructure, textural, and rheological properties of soybean oil-based organogels. *LWT- Food Science and Technology, 136,* 110267. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110267

Chai, X., Zhang, Y., Shi, Y., & Liu, Y. (2022). Crystallization and structural properties of oleogel-based margarine. *Molecules, 27,* 8952. https://doi.org/10.3390/molecules27248952

Chen, H. Y., Zhou, P. W., Song, C. F., Jin, G. Y., & Wei, L. J. (2022). An approach to manufacturing heat-stable and bloom-resistant chocolate by the combination of oleogel and sweeteners. *Journal of Food Engineering, 330,* 111064. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111064

Chen, S., Tang, L., Hao, G., Weng, W., Osako, K., & Tanaka, M. (2016). Effects of α1/α2 ratios and drying temperatures on the properties of gelatin films prepared from tilapia (*Tilapia zillii*) skins. *Food Hydrocolloids, 52*, 573–580. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.07.026

Contreras-Ramirez, J. I., Acosta-Gurrola, E., Rosas-Flores, W., Gallegos-Infante, J. A., & Toro-Vazquez, J. F. (2023). Microstructuring process in oleogels formulated with vegetable oils and monoglycerides: A comparison of non-isothermal nucleation kinetics by spectrophotometric and DSC analysis. *Journal of the American Oil Chemists' Society.* Advance online publication. https://doi.org/10.1002/aocs.12685

Contreras-Ramirez, J. I., Patel, A. R., Gallegos-Infante, J. A., Toro-Vazquez, J. F., Perez-Martinez, J. D., Rosas-Flores, W., & Gonzalez-Laredo, R. F. (2022). Organogel-based emulsified systems, food applications, microstructural and rheological features—A review. *Biointerface Research in Applied Chemistry, 12,* 1601–1627. https://doi.org/10.33263/BRIAC122.16011627

Da Silva, T. L. T., Arellano, D. B., & Martini, S. (2019). Effect of water addition on physical properties of emulsion gels. *Food Biophysics, 14,* 30–40. https://doi.org/10.1007/s11483-018-9558-0

Davidovich-Pinhas, M., Barbut, S., & Marangoni, A. G. (2015). The role of surfactants on ethylcellulose oleogel structure and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers, 127,* 355–362. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.054

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 Freitas, C. A. S., de Sousa, P. H. M., Soares, D. J., da Silva, J. Y. G., Benjamin, S. R., & Guedes, M. I. F. (2019). Carnauba wax uses in food—A review. *Food Chemistry, 291,* 38–48. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.013

De Vries, A., Gomez, Y. L., van der Linden, E., & Scholten, E. (2017). The effect of oil type on network formation by protein aggregates into oleogels. *RSC Advances, 7*(19), 11803–11812. https://doi.org/10.1039/C6RA27821H

Doan, C. D., To, C. M., De Vrieze, M., Lynen, F., Danthine, S., Brown, A., Dewettinck, K., & Patel, A. R. (2017). Chemical profiling of the major components in natural waxes to elucidate their role in liquid oil structuring. *Food Chemistry, 214,* 717–725. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.106

Dong, L., Lv, M., Gao, X., Zhang, L., Rogers, M., Cao, Y., & Lan, Y. (2020). *In vitro* gastrointestinal digestibility of phytosterol oleogels: Influence of self-assembled microstructures on emulsification efficiency and lipase activity. *Food & Function, 11,* 9503–9513. https://doi.org/10.1039/D0FO01871A

Du, L. Y., Jiang, Q. B., Li, S. Y., Zhou, Q., Tan, Y. Q., & Meng, Z. (2021). Microstructure evolution and partial coalescence in the whipping process of oleofoams stabilized by monoglycerides. *Food Hydrocolloids, 112,* 106245. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106245

DSÖ (Dünya Sağlık Örgütü) (2018). *WHO plan to eliminate industrially-produced trans-fatty acids from global food supply*. Retrieved January 15, 2024, from https://www.who.int/news/item/14-05-2018-who-plan-to-eliminate-industrially-produced-trans-fatty-acids-from-globalfood-supply

Ferdaus, M. J., Blount, R. J. S., & da Silva, R. C. (2022). Assessment of natural waxes as stabilizers in peanut butter. *Foods, 11*, 3127. https://doi.org/10.3390/foods11193127

Gab-Allah, R. (2018). Manufacture of pickled and un-pickled high fat soft cheese using olive and sunflower oleogels. *Sciences, 8,* 223–230. https://doi.org/10.11648/j.sjfs.20180606.18

Giacomozzi, A. S., Carrín, M. E., & Palla, C. A. (2022). Muffins made with monoglyceride oleogels: Impact of fat replacement on sensory properties and fatty acid profile. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 99,* 1–7. https://doi.org/10.1002/aocs.12541

Gómez-Estaca, J., Pintado, T., Jiménez-Colmenero, F., & Cofrades, S. (2019). Assessment of a healthy oil combination structured in ethyl cellulose and beeswax oleogels as animal fat replacers in low-fat, PUFA-enriched pork burgers. *Food and Bioprocess Technology, 12,* 1068–1081. https://doi.org/10.1007/s11947-019-02284-2

Gravelle, A. J., Davidovich-Pinhas, M., Zetzl, A. K., Barbut, S., & Marangoni, A. G. (2016). Influence of solvent quality on the mechanical strength of ethylcellulose oleogels. *Carbohydrate Polymers, 135*, 169–179. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.08.050

Hammond, E. G., Johnson, L. A., & Murphy, P. A. (2016). Soybean | grading and marketing. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03360-4

Holey, S. A., Sekhar, K. P. C., Mishra, S. S., Kanjilal, S. K., & Nayak, R. R. (2021). Effect of oil unsaturation and wax composition on stability, properties and food applicability of oleogels. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 98,* 1189–1203. https://doi.org/10.1002/aocs.12497

Huang, H., Hallinan, R., & Maleky, F. (2018). Comparison of different oleogels in processed cheese products formulation. *International Journal of Food Science & Technology, 53,* 2525–2534. https://doi.org/10.1111/ijfs.13887

Hwang, H. S., Singh, M., Lee, S. (2016). Properties of cookies made with natural wax-vegetable oil organogels. *Journal of Food Science, 81*(4), C1045–C1054. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13242

Hwang, H. S., Singh, M., Winkler-Moser, J. K., Bakota, E. L., & Liu, S. X. (2014). Preparation of margarines from organogels of sunflower wax and vegetable oils. *Journal of Food Science, 79*(10), C1926–C1932. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12645

Hwang, H.-S., Singh, M., Bakota, E. L., Winkler-Moser, J. K., Kim, S., & Liu, S. X. (2013). Margarine from organogels of plant wax and soybean oil. Journal of the American Oil Chemists' Society, 90, 1705–1712. https://doi.org/10.1007/s11746-013-2315-z

Jang, A., Bae, W., Hwang, H. S., Lee, H. G., & Lee, S. (2015). Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods. *Food Chemistry, 187,* 525–539. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.089

Jeong, S., Lee, S., & Oh, I. (2021). Development of antioxidant-fortified oleogel and its application as a solid fat replacer to muffin. *Foods, 10,* 3059. https://doi.org/10.3390/foods10123059

Jiang, Q., Yu, Z., & Meng, Z. (2022). Double network oleogels co-stabilized by hydroxypropyl methylcellulose and monoglyceride crystals: Baking applications. *International Journal of Biological Macromolecules, 209,* 180–187. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.092

Jing, X., Chen, Z., Tang, Z., Tao, Y., Huang, Q., Wu, Y., Zhang, H., Li, X., Liang, J., & Liu, Z. (2022). Preparation of camellia oil oleogel and its application in an ice cream system. *LWT-Food Science and Technology, 169,* 113985. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113985

Kim, J. Y., Lim, J., Lee, J., Hwang, H., & Lee, S. (2017). Utilization of oleogels as a replacement for solid fat in aerated baked goods: Physicochemical, rheological, and tomographic characterization. *Journal of Food Science, 82*(2), 445–452. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13628

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,* 112972. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112972

Lim, J., Jeong, S., Oh, I. K., & Lee, S. (2017). Evaluation of soybean oil–carnauba wax oleogels as an alternative to high saturated fat frying media for instant fried noodles. *LWT – Food Science and Technology*, 84, 788–794. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.054

Limpimwong, W., Kumrungsee, T., Kato, N., Yanaka, N., & Thongngam, M. (2017). Rice bran wax oleogel: A potential margarine replacement and its digestibility effect in rats fed a high-fat diet. *Journal of Functional Foods, 39,* 250–256. https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.10.040

Mahmud, N., Islam, J., Oyom, W., Adrah, K., Adegoke, S. C., & Tahergorabi, R. (2023). A review of different frying oils and oleogels as alternative frying media for fat-uptake reduction in deep-fat fried foods. *Heliyon, 9*(11). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21500

Mandu, C. C., Barrera-Arellano, D., Santana, M. H. A., & Fernandes, G. D. (2020). Waxes used as structuring agents for food organogels: A review. *Grasas y Aceites, 71,* e918.

Martin-Alfonso, J., & Franco, J. M. (2015). Formulation and characterization of oleogels based on high-oleic sunflower oil and ethylene vinyl acetate copolymer/polypropylene blends. *Polymer Engineering & Science, 55,* 1429–1440. https://doi.org/10.1002/pen.24025

Martini, S., & An, M.-C. (2000). Determination of wax concentration in sunflower seed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 77,* 1087–1093. https://doi.org/10.1007/s11746-000-0178-9

Matheson, A., Dalkas, G., Clegg, P. S., & Euston, S. R. (2018). Phytosterol-based edible oleogels: A novel way of replacing saturated fat in food. *Nutrition Bulletin, 43*, 189–194. https://doi.org/10.1111/nbu.12325

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. xx–xx). Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry.

Menaa, F., Menaa, A., Tréton, J., & Menaa, B. (2013). Technological approaches to minimize industrial trans fatty acids in foods. *Journal of Food Science, 78,* R377–R386. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12163

Mert, B., & Demirkesen, I. (2016). Evaluation of highly unsaturated oleogels as shortening replacer in a short dough product. *LWT – Food Science and Technology, 68,* 477–484. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.004

Mert, B., & Demirkesen, I. (2016). Reducing saturated fat with oleogel/shortening blends in a baked product. *Food Chemistry, 199,* 809–816. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.068

Mikhailov, O. V. (2017). Molecular structure design and soft template synthesis of aza-, oxaaza- and thiaazamacrocyclic metal chelates in the gelatin matrix. *Arabian Journal of Chemistry, 10,* 47–67. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.10.017

Mohd Hassim, N. A. (2022). Characteristics of sunflower wax, carnauba wax and beeswax in palm superolein blended oil. *Journal of Oil Palm Research.* (Advance online publication).

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *BMJ, 339,* b2535. https://doi.org/10.1136/bmj.b2535

Moon, K., Choi, K. O., Jeong, S., Kim, Y. W., & Lee, S. (2021). Solid fat replacement with canola oil–carnauba wax oleogels for dairy-free imitation cheese low in saturated fat. *Foods, 10,* 1351. https://doi.org/10.3390/foods10061351

Noonim, P., Rajasekaran, B., & Venkatachalam, K. (2022). Effect of palm oil–carnauba wax oleogel processed with ultrasonication on the physicochemical properties of salted duck egg white–fortified instant noodles. *Gels, 8,* 487. https://doi.org/10.3390/gels8080487

Oh, I. K., & Lee, S. (2018). Utilization of foam-structured hydroxypropyl methylcellulose for oleogels and their application as a solid fat replacer in muffins. *Food Hydrocolloids, 77,* 796–802. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.013

Oyom, W., Mahmud, N., Islam, J., Valizadeh, S., Awuku, R. B., Ibrahim, S. A., & Tahergorabi, R. (2024). Enhancing the oxidative stability, physicochemical and sensory quality of deep-fat fried chicken nuggets using thyme essential oil-loaded oleogel coatings. *Progress in Organic Coatings, 186*, 107977. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2024.107977

Panagiotopoulou, E., Moschakis, T., & Katsanidis, E. (2016). Sunflower oil organogels and organogel-in-water emulsions (Part II): Implementation in frankfurter sausages. *LWT – Food Science and Technology, 73,* 351–356. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.032

Park, C., Bemer, H. L., & Maleky, F. (2018). Oxidative stability of rice bran wax oleogels and an oleogel cream cheese product. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 95,* 1267–1275. https://doi.org/10.1002/aocs.12143

Park, C., & Maleky, F. (2020). A critical review of the last 10 years of oleogels in food. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 4*, 139. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00139

Patel, A. R. (2015). Alternative *routes to oil structuring*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19138-6

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

Piekarska, K., Sikora, M., Owczarek, M., Jóźwik-Pruska, J., & Wiśniewska-Wrona, M. (2023). Chitin and chitosan as polymers of the future—Obtaining, modification, life cycle assessment and main directions of application. *Polymers, 15,* 793. https://doi.org/10.3390/polym15040793

Pintado, T., & Cofrades, S. (2020). Quality characteristics of healthy dry fermented sausages formulated with a mixture of olive and chia oil structured in oleogel or emulsion gel as animal fat replacer. *Foods, 9,* 830. https://doi.org/10.3390/foods9060830

Pușcaș, A., & Mureșan, V. (2022). The feasibility of shellac wax emulsion oleogels as low-fat spreads analyzed by means of multidimensional statistical analysis. *Gels, 8,* 749. https://doi.org/10.3390/gels8120749

Qiu, H., Qu, K., Eun, J. B., & Zhang, H. (2023). Analysis of thermal oxidation of different multi-element oleogels based on carnauba wax, β-sitosterol/lecithin, and ethyl cellulose by classical oxidation determination combined with an electronic nose. *Food Chemistry, 405,* 134970. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134970

Rather, J. A., Akhter, N., Ashraf, Q. S., Mir, S. A., Makroo, H. A., Majid, D., Barba, F. J., Khaneghah, A. M., & Dar, B. N. (2022). A comprehensive review on gelatin: Understanding impact of the sources, extraction methods, and modifications on potential packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life, 34,* 100945. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100945

Roche, H. M. (2005). Fatty acids and the metabolic syndrome. *Proceedings of the Nutrition Society, 64*(1), 23–29. https://doi.org/10.1079/PNS2004403

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*(4), 3507–3539. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12971

Silva, R. C. D., Ferdaus, M. J., Foguel, A., & da Silva, T. L. T. (2023). Oleogels as a fat substitute in food: A current review. *Gels, 9*(3), 180. https://doi.org/10.3390/gels9030180

Tan, S., Peh, E. W.-Y., Marangoni, A. G., & Henry, C. J. (2017). Effects of liquid oil vs. oleogel co-ingested with a carbohydrate-rich meal on human blood triglycerides, glucose, insulin and appetite. *Food & Function, 8,* 241–249. https://doi.org/10.1039/C6FO01486K

Tsung, K. L., Ilavsky, J., & Padua, G. W. (2020). Formation and characterization of zein-based oleogels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 68,* 13276–13281. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c05044

Valoppi, F., Calligaris, S., Barba, L., Segatin, N., Poklar Ulrih, N., & Nicoli, M. C. (2017). Influence of oil type on formation, structure, thermal, and physical properties of monoglyceride-based organogel. *European Journal of Lipid Science and Technology, 119*, 1500549. https://doi.org/10.1002/ejlt.201500549

Wang, X., Wang, S., Nan, Y., & Liu, G. (2021). Production of margarines rich in unsaturated fatty acids using oxidative-stable vitamin C-loaded oleogel. *Journal of Oleo Science, 70,* 1059–1068. https://doi.org/10.5650/jos.ess20216

Wang, Z., Chandrapala, J., Truong, T., & Farahnaky, A. (2022). Oleogels prepared with low molecular weight gelators: Texture, rheology and sensory properties—A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* Advance online publication. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2129026

Wettlaufer, T., & Flöter, E. (2022). Wax-based oleogels and their application in sponge cakes. *Food & Function, 13,* 9419–9433. https://doi.org/10.1039/D2FO01264A

Winkler-Moser, J. K., Anderson, J., Felker, F. C., & Hwang, H. S. (2019). Physical properties of beeswax, sunflower wax, and candelilla wax mixtures and oleogels. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 96,* 1125–1142. https://doi.org/10.1002/aocs.12243Wright, A. J., & Marangoni, A. G. (2006). Formation, structure, and rheological properties of ricinelaidic acid–vegetable oil organogels. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 83*, 497–503. https://doi.org/10.1007/s11746-006-1232-9

Yang, R., Xue, L., Zhang, L., Wang, X., Qi, X., Jiang, J., Yu, L., Wang, X., Zhang, W., Zhang, Q., et al. (2019). Phytosterol contents of edible oils and their contributions to estimated phytosterol intake in the Chinese diet. *Foods, 8,* 334. https://doi.org/10.3390/foods8080334

Yılmaz, E., & Ögütcü, M. (2015). Oleogels as spreadable fat and butter alternatives: Sensory description and consumer perception. *RSC Advances, 5,* 50259–50267. https://doi.org/10.1039/C5RA02538K

Yılmaz, E., Keskin Uslu, E., & Öz, C. (2021). Oleogels of some plant waxes: Characterization and comparison with sunflower wax oleogel. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 98,* 643–655. https://doi.org/10.1002/aocs.12462

Zhang, R. F., Zhang, T., Hu, M. Y., Xue, Y., & Xue, C. H. (2021). Effects of oleogels prepared with fish oil and beeswax on the gelation behaviors of protein recovered from Alaska pollock. *LWT – Food Science and Technology, 137,* 110423. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110423

Zhao, M., Lan, Y., Cui, L., Monono, E., Rao, J., & Chen, B. (2020). Formation, characterization, and potential food application of rice bran wax oleogels: Expeller-pressed corn germ oil versus refined corn oil. *Food Chemistry, 309,* 125704. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125704

Żarnowski, A., Jankowski, M., & Gujski, M. (2022). Public awareness of diet-related diseases and dietary risk factors: A 2022 nationwide cross-sectional survey among adults in Poland. *Nutrients, 14*(16), 3285. https://doi.org/10.3390/nu14163285