

Kahvaltılık margarinlerin üretiminde meydana gelen fiziko-kimyasal değişimlerin beslenme ve sağlık açısından değerlendirilmesi

Mustafa YILDIZ

Cite this article as:

Yıldız, M. (2025). Kahvaltılık margarinlerin üretiminde meydana gelen fiziko-kimyasal değişimlerin beslenme ve sağlık açısından değerlendirilmesi. Food and Health, 11(2), 147-155. <https://doi.org/10.3153/FH25012>

İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi,
Doğa Bilimleri ve Mühendislik Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Bölüm, Halkalı
Kampüsü, K. Çekmece, İstanbul, Türkiye

ORCID IDs of the authors:

M.Y. 0000-0002-8232-5655

Submitted: 30.01.2025

Revision requested: 18.02.2024

Last revision received: 28.02.2025

Accepted: 05.03.2025

Published online: 20.03.2025

Correspondence:

Mustafa YILDIZ

E-mail: m.yildiz@izu.edu.tr



© 2025 The Author(s)

Available online at
<http://jfh.sciwebjournals.com>

ÖZ

Bu çalışmada, yemeklik bitkisel kahvaltılık margarinlerin üretiminde uygulanan hidrojenasyon, interesterifikasyon ve fraksiyonel kristalizasyon gibi modifikasyon tekniklerinin margarinlerin fiziksel yapısında ve kimyasal bileşiminde meydana getirdiği değişimlerin beslenme, sağlık, gıda güvenliği açısından değerlendirilmiştir. Bu kapsamda kahvaltılık margarin örneklerinin iyot sayısı, toplam polar bileşikler (TPC), erime noktası, yağ asitleri ve sterol kompozisyonları incelenmiştir. İncelenen örneklerde iyot sayısı 69.33 ± 0.58 ile 75.33 ± 0.58 arasında, erime noktaları $33.00 \pm 1.04^\circ\text{C}$ ile $36.00 \pm 1.00^\circ\text{C}$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Yağ asitleri kompozisyonunda doymamış yağ asitleri ağırlıklı olarak oleik asit ($C_{18:1}$) (40.33 ± 0.15 ; 54.30 ± 0.20) oluşmakta, bunu linoleik asit ($C_{18:2}$) ($11.05-26.52$) ve linolenik asit ($C_{18:3}$) ($0.83-3.50$) izlediği tespit edilmiştir. Sterol kompozisyonunda β -Sitosterol (60.28 ± 0.19 ; 73.90 ± 0.20) en baskın bileşenler olarak tespit edilmiş bunu Campesterol (12.30 ± 0.33 ; 27.05 ± 0.15), Stigma sterol (3.82 ± 0.18 ; 11.30 ± 0.70), $\Delta 7$ -stigma sterol (2.47 ± 0.03 ; 6.00 ± 0.50) takip ettiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, kahvaltılık margarin örneklerinde toplam polar bileşiklerin Dünya sağlık örgütünün belirlediği üst sınıra yakın olduğu ve omega-3 yağ asidinin oldukça düşük düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bu parametreler kapsamında sağlıklı beslenme ve gıda güvenliği açısından uzun vadede riskler oluşturacağı düşünülmektedir. Kahvaltılık margarinlerin değerlendirilmesinde ilk defa kullanılan bu parametreler sağlıklı beslenme bilicinin gelişmesinde gerek üretici ve gerek tüketiciler arsında farkındalık oluşturulmasına katkıda bulunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kahvaltılık margarin, Beslenme, Sağlık, Erime noktaları, Polar bileşikler, Omega-6, Omega-3

ABSTRACT

Evaluation of physico-chemical changes in the production of breakfast margarines in terms of nutrition and health

In this study, the changes in the physical structure and chemical composition of margarine caused by modification techniques such as hydrogenation, interesterification and fractional crystallisation applied in the production of edible vegetable breakfast margarine were evaluated in terms of nutrition, health and food safety. In this context, iodine number, total polar compounds (TPC), melting point, fatty acid and sterol compositions of breakfast margarine samples were analysed. It was determined that the iodine number ranged between 69.33 ± 0.58 and 75.33 ± 0.58 , and the melting points ranged between $33.00 \pm 1.04^\circ\text{C}$ and $36.00 \pm 1.00^\circ\text{C}$. In the fatty acid composition, unsaturated fatty acids are mainly oleic acid ($C_{18:1}$) (40.33 ± 0.15 ; 54.30 ± 0.20), followed by linoleic acid ($C_{18:2}$) ($11.05-26.52$) and linolenic acid ($C_{18:3}$) ($0.83-3.50$). In sterol composition, β -Sitosterol (60.28 ± 0.19 ; 73.90 ± 0.20) was the most dominant component followed by Campesterol (12.30 ± 0.33 ; 27.05 ± 0.15), Stigma sterol (3.82 ± 0.18 %; 11.30 ± 0.70 %), $\Delta 7$ -stigma sterol (2.47 ± 0.03 %; 6.00 ± 0.50 %). In conclusion, it was determined that total polar compounds in breakfast margarine samples were close to the upper limit determined by the World Health Organisation, and omega-3 fatty acids were very low. Within the scope of these parameters, it is thought to pose long-term risks regarding healthy nutrition and food safety. These parameters, which are used for the first time in the evaluation of breakfast margarine, will contribute to the development of healthy nutrition scientists and raise awareness among producers and consumers.

Keywords: Breakfast margarine, Nutrition, Health, Melting points, Polar compounds, Omega-6, Omega-3

Giriş

Yağlar, günlük diyetimizin temel besin bileşenlerinden biri olup sadece gıdalara tat ve lezzet kazandırmakla kalmaz, aynı zamanda birçok hayati fonksiyonu da yerine getirirler. Vücuda enerji sağlama, A, D, K ve E vitaminleri gibi yağda çözünen vitaminlerin emilimini destekleme ve esansiyel yağ asitlerini temin etme, yağların önemli biyolojik rolleri arasındadır (Burlingame, ve ark, 2009; Çakmakçı & Kahyaoğlu, 2012)

Yağlar bu kritik fonksiyonlarının yanında, gıdalardaki tat ve duyuşal özelliklerin iyileştirilmesinde de belirleyici bir rol oynar. Modern gıda teknolojisi, tüketici ihtiyaçlarını karşılamak, yağların çeşitli kullanım alanlarında uygulanabilirliğini artırmak ve taşıma ile depolama şartlarını iyileştirmek amacıyla margarin gibi sertleştirilmiş yağ ürünlerini geliştirmiştir. Margarinler, bir ya da birden fazla yağın fiziksel ve kimyasal yapısını değiştirerek üretilen fonksiyonel yağ ürünleridir (Taşan & Dağlıoğlu, 2005). Bu ürünlerin üretiminde, yağların fiziksel, kimyasal ve duyuşal özelliklerini iyileştirmek amacıyla hidrojenasyon, interesterifikasyon ve fraksiyonel kristalizasyon gibi farklı modifikasyon teknikleri kullanılmaktadır.

Margarin üretiminde uygulanan bu teknikler, yağların oksidasyon dayanıklılığını artırmak, taşıma ve depolama şartlarını optimize etmek ve nihai ürünlerin beslenme ve sağlık açısından daha işlevsel hale gelmesini sağlamak için büyük önem taşır. Özellikle trans yağ asitlerinin miktarını azaltma, ürün kalitesini iyileştirme ve fonksiyonel yağ profillerini geliştirme konularında bu tekniklerin katkısı büyüktür (Hashempour-Baltork ve ark., 2016; Senanayake & Shahidi, 2020). Kahvaltılık margarinler, tüketim alışkanlıklarında tereyağına benzeyen bir alternatif olarak geliştirilmiştir ve bu ürünlerin yapısal özellikleri, Türk Gıda Kodeksi'ne göre en az %82 oranında yağ içermelidir. Bu şart, ürünün hem duyuşal kalitesini hem de fonksiyonel özelliklerini karşılamasını sağlamaktadır.

Hidrojenasyon, interesterifikasyon ve fraksiyonel kristalizasyon teknikleri margarin üretiminde yaygın olarak kullanılan modifikasyon yöntemleridir (Yıldız, 1996; Taşan & Dağlıoğlu, 2005).

1. **Hidrojenasyon:** Bu teknik, doymamış yağ asitlerindeki çift bağların hidrojen eklenerek doyurulmasını sağlar. Hidrojenasyonun temel amacı, yağların erime noktasını yükselterek katı yağ formunu oluşturmak ve oksidasyon dayanıklılığını artırmaktır. Ancak, tam olmayan hidrojenasyon sürecinde trans yağ asitleri oluşabilir. Trans yağ asitleri, kötü kolesterol (LDL) düzeylerini yükseltip iyi kolesterol (HDL) düzey-

lerini düşürebileceği için kardiyovasküler hastalıkların riskini artırır (Baysal, 1996; Oteng & Kersten 2020). Bu nedenle, hidrojenasyon süreci dikkatle kontrol edilmelidir.

2. **Interesterifikasyon:** Bu yöntem, yağ asitlerinin trigliserit molekülü üzerindeki pozisyonlarını yeniden düzenler. Bu düzenleme, yağın fiziksel ve fonksiyonel özelliklerini geliştirerek trans yağ asidi oluşumunu en aza indirir (Yıldız, 1996). Interesterifikasyon ile margarinler, daha stabil ve homojen bir yapı kazanırken, beslenme açısından da daha sağlıklı bir profil sunar.
3. **Fraksiyonel Kristalizasyon:** Bu teknik, yağı oluşturan trigliseritlerin çeşitli fiziksel özelliklerine göre ayrıştırılmasına dayanır. Fraksiyonel kristalizasyon, ürünün yapısal özelliklerini optimize ederek, doku, sürülebilirlik ve sağlıklı beslenme gibi özellikleri iyileştirici (Timms, 2005).

Bu çalışmanın temel amacı, kahvaltılık margarinlerin üretiminde kullanılan modifikasyon tekniklerini detaylı bir şekilde inceleyerek bu tekniklerin yağların fiziko-kimyasal yapısında meydana getirdiği değişiklikleri ortaya koymak ve bu değişikliklerin beslenme ile sağlık üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Çalışma, özellikle hidrojenasyon, interesterifikasyon ve fraksiyonel kristalizasyon tekniklerinin trans yağ asidi oluşumuna etkilerini, ürün kalitesi üzerindeki yansımalarını ve fonksiyonel özelliklere katkılarını ele almaktadır.

Bu doğrultuda, kahvaltılık margarinlerin hem besinsel hem de fonksiyonel açıdan daha sağlıklı hale getirilmesi için yürütülen bilimsel ve teknolojik gelişmelerin önemi vurgulanmış, gelecekteki çalışmalar için bir temel oluşturulması amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Materyal

Bu çalışma, Türkiye'de üretilen ve en büyük pazar payına sahip 7 firmanın kahvaltılık margarinlerini incelemek üzere tasarlanmıştır. Numuneler, Gebze piyasasındaki marketlerden birer hafta arayla, 3 hafta boyunca toplanmış ve toplandıkları zamana göre gruplandırılmıştır. Her firma için 1–7 arasında numaralandırılan numunelerden toplam 21 adet örnek elde edilmiştir. Numuneler, analiz öncesine kadar 4°C'de buzdolabında saklanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan yöntemler aşağıda detaylandırılmıştır:

İyot Değeri (İWijs Metodu): Analiz, AOCS (1986) Cd 1c-85, protokolüne uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Beher içine 5 g margarin tartılıp su banyosunda eritildikten sonra filtre edilmiş, süzüntüden 0.5-1 g yağ 250 mL'lik bir erlene hassas şekilde tartılmıştır. Daha sonra, 15 mL karbon tetraklorür (CCl₄) ve 25 mL Wijs çözeltisi eklenerek erlenin ağzı kapatılmış ve karanlık bir ortamda 1 saat bekletilmiştir. Süre sonunda örneğe 150 mL saf su, %20'lik 20 ml potasyum iyodür (KI) ve taze hazırlanmış %1'lik nişasta çözeltisi eklenmiş, ardından 0.1 N sodyum tiyosülfat ile renk sabit kalana kadar titre edilmiştir. İyot değeri, harcanan tiyosülfat hacmine göre aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$\text{İyot Değeri} = (\text{Vk} - \text{Vö}) \times \text{N} \times 12,69 / m$$

N: titrasyon çözeltisinin sodyum tiyosülfat (Na₂S₂O₃)

Vk: kör için harcanan, 0,1N Na₂S₂O₃ mL

Vö: örnek için harcanan, 0,1N Na₂S₂O₃ mL

m: tartılan örnek (g)

Kayma (Erime) Noktası: TES 2812 Revizyon (1988) standardına göre ölçülmüştür. Eritilip filtre edilen margarin örneklerinden alınan yağ, kapiler boruya doldurulup 16 saat boyunca 4°C'de bekletilmiştir. Sonrasında su banyosunda yavaşça ısıtılarak yağın ilk kayma anındaki sıcaklık ölçülmüştür.

Toplam Polar Bileşikler (%): IUPAC (1992) Metodu 2.507 kullanılmıştır. Kolon kromatografisi yöntemi ile polar bileşik oranı hesaplanmıştır. Özetle, 25 g silikajel ve petrol eter/dietileter (87/13) karışımıyla hazırlanan bir kolon dolgu maddesi kullanılmış ve margarin örneklerinden hazırlanan yağ solvent karışımıyla kolondan geçirilerek polar bileşikler ekstrakt edilmiştir. Toplanan ekstrakt geri soğutucuda buharlaştırılmış ve elde edilen ekstraktan polar bileşik oranı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

Polar bileşikler (%): $\frac{m - m_1 \times 100}{m}$, m: tartılan yağ, m₁: toplanan ekstrakt

Yağ Asitleri Kompozisyonu: IUPAC (1987) Metodu 2.301'e göre yapılmıştır. Eritilmiş ve filtre edilmiş margarin örneklerinden 150-200 mg alınarak 5 mL 0.5 N metanolik NaOH çözeltisi eklenmiş, 90°C'de sabunlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından, BF₃ ile metilasyon sağlanmış ve yağ asidi metil esterleri n-heptan fazına alınarak GC cihazına enjekte edilmiştir. GC cihazında enjektör sıcaklığı 220°C, kolon sıcaklığı 200°C ve dedektör sıcaklığı 240°C olarak ayarlanmış, taşıyıcı gaz olarak helyum kullanılmıştır.

Sterol Kompozisyonu: IUPAC (1987) Metodu 2.403'e göre analiz edilmiştir. Margarin örneklerinden alınan yağ, 0.5 N etanolik NaOH ile sabunlaştırılmış ve sabunlaşmayan fraksiyon dietileter ile ekstrakt edilmiştir. Elde edilen sabunlaşmayan kalıntı, silikajel plakalar üzerine aktarılmış ve doygun solvent karışımıyla yürütülmüştür. Sterol bandı kazanıp tekrar ekstrakt edildikten sonra silil reaktifi ile inkübasyon yapılmış ve GC cihazında analiz edilmiştir. GC' de kullanılan kolon, sıcaklık ve dedektör parametreleri yukarıdaki yağ asitleri kompozisyonuna benzer şekilde ayarlanmıştır.

İstatistiksel Analiz

Çalışmada elde edilen verilerin analizi için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Gruplar arasında anlamlı farklılıkların belirlenmesi amacıyla, çoklu karşılaştırma testi olarak Duncan testi kullanılmıştır. Veriler ortalama ± standart sapma (ortalama ± SD) formatında sunulmuş olup, istatistiksel anlamlılık düzeyi p<0.05 olarak kabul edilmiştir. Analizler, SPSS 26.0 (Statistical Package for Social Sciences) yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Margarinlerin fiziko-kimyasal özelliklerinin değerlendirilmesinde erime noktası, iyot sayısı ve polar bileşikler oranı önemli parametreler olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bu parametrelerin margarinlerin beslenme ve sağlık açısından değerlendirilmesinde de kritik role sahiptirler. Ayrıca iyot sayısı ve erime noktası margarinlerin üretiminde uygulanan modifikasyon tekniğinin değerlendirilmesinde bir indikatör olarak kullanılabilir.

Tablo 1. Kahvaltılık Margarin Gruplarının İyot sayısı, Polar bileşikler (%), Kayma (Erime) Noktası (KN) (°C)

Table 1. Iodine number, Polar compounds (%), Melting Point (KN) (°C) of Breakfast Margarine Groups

Gruplar	İyot Sayımı	Polar Bileşikler	Kayma (Erime) Noktası (°C)
1	71.00 ^b ±1.00	14.20 ^d ±0.40	34.83±1.76
2	75.33 ^a ±0.58	16.10 ^b ±0.20	35.57±1.50
3	72.00 ^b ±1.00	15.43 ^c ±0.35	33.87±1.21
4	69.33 ^c ±0.58	15.30 ^c ±0.30	36.00±1.00
5	69.33 ^c ±0.58	17.10 ^a ±0.20	33.50±0.50
6	72.00 ^b ±1.00	16.23 ^b ±0.15	35.33±1.04
7	71.67 ^b ±2.52	16.00 ^b ±0.20	33.17±1.04
F	8.419	33.495	2.497
p	0.001*	0.000*	0.074

P <0.05 güven aralığında a, b, c, d farklı harfler gruplar içinde belirlenmiş parametreler arasında istatistiksel olarak önemli fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 1’de kahvaltılık margarin gruplarının iyot sayısı, toplam polar bileşikler ve erime noktası analiz sonuçları verilmiştir. İyot sayısı (değeri), yağların doymamışlık derecesinin belirlenmesinde, oleik ($C_{18:1}$), linoleik ($C_{18:2}$) ile linolenik ($C_{18:3}$) gibi doymamış yağ asitlerinin varlığını gösteren önemli bir indikatördür. Linoleik (ω -6) ve linolenik (ω -3) yağ asitleri, margarinlerin besinsel nitelikleri ve fonksiyonel özellikleri açısından büyük öneme sahiptir (Baker ve ark., 2016). Ayrıca iyot sayısı (değeri) bitkisel yağların modifikasyon derecesinin hesaplanmasında, yağışın belirlenmesinde ve yağların oksidatif stabilitenin hesaplanmasında önemli bir parametre olarak kullanılmaktadır (Can, 2019).

Tablo 1’de iyot sayısı ve toplam polar bileşikler (%) parametreleri açısından margarin grupları arasında istatistiksel olarak $p < 0.05$ düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. İyot sayısı incelendiğinde, Grup 2’nin en yüksek değere sahip olduğu (75.33 ± 0.58), Grup 4 ve Grup 5’in ise en düşük değerlere (69.33 ± 0.58) sahip olduğu tespit edilmiştir.

Margarin gruplarının erime noktası değerleri $33.17 \pm 1.04^\circ\text{C}$ ile $36.00 \pm 1.00^\circ\text{C}$ arasında değişmiştir. Erime noktası, modifikasyon yöntemi, yağ türü, kombinasyon oranları ve katı yağ içeriği gibi faktörlerden etkilenmektedir. Çalışmada, erime noktası açısından gruplar arasında $p < 0.05$ düzeyinde anlamlı bir fark bulunmamıştır. Tüm margarin örneklerinin erime noktası, vücut sıcaklığının (36°C) altında olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, margarinlerin sindirilebilirliği ve yağlardan yararlanılması açısından önem taşımaktadır. Kahvaltılık margarin gruplarında toplam polar bileşikler (TPC) oranı incelendiğinde, en düşük değerin Grup 1’de ($\%14.20 \pm 0.40$), en yüksek değerin ise Grup 5’te ($\%17.10 \pm 0.20$) olduğu belirlenmiştir. Diğer gruplarda TPC oranları şu şekilde sıralanmıştır: Grup 2 ($\%16.10 \pm 0.20$), Grup 6 ($\%16.23 \pm 0.15$), Grup 7 ($\%16.00 \pm 0.20$), Grup 3 ($\%15.43 \pm 0.35$) ve Grup 4 ($\%15.30 \pm 0.30$). Polar bileşiklerin oluşumunda sıcaklık ve zaman faktörleri kadar, kimyasal özellikler (iyot sayısı, yağ asitleri kompozisyonu, doymamışlık derecesi gibi) de etkili olmaktadır. Margarin örneklerinde polar bileşik oranı ile kimyasal

parametreler arasında tam bir korelasyon saptanamasa da bu parametreler arasında yakın bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Çalışmada analiz edilen tüm margarin örneklerinin polar bileşik oranlarının Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen maksimum sınırın altında olduğu görülmüştür. Ancak sonuçlar, sınır değerine yakın ($\%15$ - $\%17$) bulunmuştur. Bu durum, margarin üretim süreçlerindeki rafinasyon ve modifikasyon işlemleri sırasında sıcaklık ve zaman ilişkilerinin yeterince optimize edilmediğinden kaynaklanıyor olabilir.

Polar bileşikler, çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) açısından zengin bitkisel yağların yüksek sıcaklıklara maruz kalması sonucu oluşan hidroliz, oksidasyon ve polimerizasyon gibi termal bozulma reaksiyonları sırasında meydana gelmektedir. Bu süreçte aldehitler, ketonlar, peroksitler, hidroperoksitler ve uçucu olmayan bileşikler gibi maddeler oluşur (Márquez-Ruiz, 2009; Grootveld ve ark., 2020). Polar bileşiklerin oranı, kızartma yağlarının beslenme ve sağlık kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte polar bileşiklerin yalnızca yüksek sıcaklıklarda değil, düşük sıcaklık derecelerinde (örneğin, depolama sıcaklıklarında) da meydana gelebileceği belirtilmiştir (Dobarganes ve Márquez-Ruiz, 2007). Özellikle rafinasyon sırasında düşük molekül ağırlıklı maddelerin uzaklaştırıldığı, ancak triasilgliseritlerin (TAG) oksidasyonu ve polimerizasyonuna bağlı bozulma ürünlerinin yağda kalabilmesi belirtilmiştir (Gomes ve ark., 2012).

Sağlık uzmanları, polar bileşiklerin sağlık üzerindeki etkilerinin yağ türüne bağlı olarak değişiklik gösterebileceğini vurgulamaktadır. Uzun süreli polar bileşik alımı; kardiyovasküler hastalıklar, Alzheimer, kanser ve sindirim sistemi rahatsızlıkları gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir (Yuan ve ark., 2020; Soriguer ve ark., 2003). Ayrıca polar bileşiklerin karbonhidrat, protein ve lipid metabolizmasını etkileyerek enzim sistemleri üzerinde toksikolojik ve sitotoksik etkiler gösterdiği, bu nedenle birçok hastalığın oluşumunda katalizör görevi gördüğü ifade edilmektedir (Li ve ark., 2016; Yuan ve ark., 2020; Ağagündüz, 2020).

Tablo 2. Kahvaltılık Margarin Gruplarının Yağ Asitleri Kompozisyonları (%)**Table 2.** Fatty Acid Composition of Breakfast Margarine Groups (%)

	Laurik C _{12:0}	Miristik C _{14:0}	Palmitik C _{16:0}	Palmitoleik C _{16:1}	Stearik C _{18:0}	Oleik C _{18:1}	Linoleik C _{18:2}	Linolenik C _{18:3}	Arahidik C _{20:0}	Behenik C _{22:0}	Σ Doymuşlar	Σ Doymamışlar	Doymamışlar / Doymuşlar	Linoleik/ Linolenik
1	1.5 ^a ±0.01	0.60±0.20	23.64 ^a ±0.11	0.10 ^d ±0.02	7.07 ^a ±0.08	54.30 ^a ±0.20	11.05 ^c ±0.15	2.40 ^a ±0.20	0.45 ^c ±0.05	0.25 ^b ±0.05	31.71 ^a ±0.20	68.29 ^c ±0.20	2.15 ^d ±0.02	4.62 ^c ±0.32
2	0.35 ^b ±0.05	0.50±0.10	19.80 ^a ±0.15	0.40 ^a ±0.05	5.40 ^c ±0.20	46.47 ^b ±0.23	25.15 ^b ±0.05	1.10 ^a ±0.10	0.67 ^b ±0.08	0.20 ^b ±0.03	26.25 ^c ±0.28	73.33 ^a ±0.65	2.75 ^a ±0.09	22.99 ^a ±2.05
3	0.30 ^b ±0.03	0.62±0.08	22.55 ^c ±0.05	0.10 ^d ±0.02	5.30 ^c ±0.10	40.33 ^a ±0.15	26.52 ^c ±0.08	3.20 ^b ±0.10	0.85 ^a ±0.10	0.20 ^b ±0.05	28.97 ^c ±0.21	71.03 ^a ±0.21	2.45 ^c ±0.03	22.99 ^a ±2.05
4	0.15 ^c ±0.03	0.50±0.10	23.68 ^a ±0.43	0.10 ^d ±0.00	5.20 ^c ±0.05	40.58 ^c ±0.23	25.23 ^b ±0.15	3.50 ^b ±0.05	0.76 ^a ±0.60	0.25 ^b ±0.05	29.78 ^b ±0.50	70.22 ^a ±0.50	2.35 ^c ±0.06	7.21 ^b ±0.06
5	0.29 ^b ±0.04	0.65±0.05	23.50 ^a ±0.30	0.29 ^b ±0.04	7.00 ^a ±0.10	48.47 ^b ±0.28	18.33 ^a ±0.61	0.83 ^d ±0.08	0.22 ^c ±0.08	0.48 ^a ±0.03	31.92 ^a ±0.14	68.08 ^c ±0.14	2.13 ^c ±0.01	22.09 ^a ±1.44
6	0.22 ^b ±0.08	0.62±0.08	21.83 ^a ±0.25	0.11 ^d ±0.01	5.10 ^c ±0.95	41.93 ^c ±0.15	26.08 ^a ±0.23	3.20 ^b ±0.10	0.72 ^{ab} ±0.13	0.20 ^b ±0.05	27.97 ^a ±0.76	72.03 ^a ±0.76	2.57 ^b ±0.10	8.15 ^b ±0.18
7	0.45 ^a ±0.05	0.62±0.13	23.03 ^b ±0.13	0.18 ^c ±0.03	6.30 ^b ±0.10	49.65 ^b ±0.15	16.92 ^d ±1.18	2.05 ^c ±0.05	0.35 ^c ±0.05	0.45 ^a ±0.09	30.85 ^a ±0.05	69.15 ^b ±0.05	2.24 ^d ±0.01	8.25 ^b ±0.37
F	17.884	0.852	105.657	50.872	15.831	2032.772	401.852	290.918	2.918	16.586	88.933	59.773	50.726	180.460
p	0.000*	0.552	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.046*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000

P<0.05, güven aralığında, a, b, c, d, farklı harfler belirlenmiş yağ asitleri arasında istatistiksel olarak önemli fark olduğunu belirtmektedir.

Yağ asitleri kompozisyonu yağların karakterize edilmesinde kullanılan en önemli indikatörlerden biridir. Beslenme ve sağlık açısından yağların özelliklerini ortaya koyması yanında oksidatif stabilitelerinin belirlenmesinde önemli rol oynarlar (Can, 2019). Tablo 2’de kahvaltılık margarin gruplarına ait örneklerde yağ asitleri kompozisyonları, toplam doymuş ve tekli doymamış, çoklu doymamış yağ asitleri verilmiştir. Gruplar arasında yağ asitleri bakımından istatistiksel olarak p<0.005 düzeyinde anlamlı farklar bulunmuştur. Margarinlerde toplam doymamış/doymuş yağ asitleri oranı, ürünün sürülebilirliği, yumuşaklığı, erime derecesi gibi fiziksel özelliklerin yanı sıra sağlıklı beslenme niteliklerini de etkilemektedir. Bu nedenle margarinlerin fiziksel ve besinsel değerlendirilmesinde bu oran önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir.

Çalışma kapsamında incelenen kahvaltılık margarin örneklerinde toplam doymuş yağ asitleri %27.97 ±0.76 ile %31.92 ±0.14 arasında, toplam doymamış yağ asitleri ise %68.08 ±0.14 ile %73.33 ±0.6, toplam çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) %13.45 ±0.4; %29.72 ±0.18 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Tüm örneklerde doymuş yağ asitleri ağırlıklı olarak palmitik asit (C16:0) (%19.80 ±0.15-23.64 ±0.11) ve stearik asitten (C18:0) (%5.10 ±0.95-7.07 ±0.08) oluşmaktadır. Ergönül (2013) tarafından yapılan bir çalışma, bu bulgularla benzer sonuçlar ortaya koymuştur. Çalışmamızda margarin gruplarında toplam doymamış yağ asitlerinin toplam doymuş yağ asitlerine oranının %2.13 ±0.01 ile %2.75 ±0.09 arasında değiştiği belirlenmiştir. Alpaslan & Karaali (1998) tarafından yapılan bir çalışmada bu oran %2.72 olarak rapor edilmiştir. Arıcı ve ark. (2002) tarafından Türkiye’de üretilen margarinler üzerinde yapılan çalışmada toplam doymuş yağ asitleri içeriğini %23.90-32.30; tekli doymamış yağ asidi oranını %44.00-61.90 ve çoklu doymamış (PUFA) yağ asidi oranını %14.20-24.10 arasında tespit etmişlerdir. Doymamış/doymuş oranı en yüksek Grup 2’de (%2.75 ±0.09), en düşük ise Grup 5’te (%2.13 ±0.01) tespit

edilmiştir. Bu sonuçlar, grupların iyot sayıları ile uyum göstermektedir. Doymamış yağ asitlerinin yüksek olduğu Grup 2’de polar bileşikler oranı %16 olarak belirlenmiştir.

Kahvaltılık margarinlerde doymamış yağ asitleri ağırlıklı olarak oleik asit (C_{18:1}) (%54.30 ±0.20-40.33 ±0.15), linoleik asit (C_{18:2}) (%11.05 ±0.15-26.52 ±0.08) ve linolenik asit (C_{18:3}) (%0.83 ±0.08-3.20 ±0.10) olarak tespit edilmiştir. Ancak, örneklerde linolenik (C_{18:3}) yani omega-3 yağ asidinin oldukça düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. Bu durum, kullanılan yağ hammaddelerinden ve uygulanan modifikasyon tekniklerinden kaynaklanıyor olabilir.

Yağların beslenme ve sağlık açısından değerlendirilmesinde en önemli parametrelerden biri, içerdiği esansiyel yağ asitleri miktarları ve bunların birbirleriyle olan oranıdır. Linoleik (omega-6) ve linolenik (omega-3) yağ asitleri vücutta sentezlenemediği için dışarıdan alınması gereklidir. Omega-6/omega-3 oranının 4/1’den büyük olması durumunda kardiyovasküler hastalıklar, kanser, inflamatuvar ve otoimmün hastalıkların oluşumunu desteklediği; omega-3 seviyelerinin artırılması durumunda ise bu hastalıkları önleyici etkiler gösterdiği belirtilmiştir (Simopoulos, 1998). Ayrıca, yüksek omega-6/omega-3 oranının vücutta iltihaplanmayı aktive ettiği, tip 2 diyabet ve kardiyovasküler hastalıklar gibi bazı metabolik hastalıkların riskini artırdığı kanıtlanmıştır (Bishekolaei & Pathak, 2024). Esansiyel yağ asitleri (EFA), vücut içerisinde birbirine dönüştürülemediği için omega-3 yağ asitleri sağlıklı beslenme açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu nedenle yağların besinsel ve sağlık açısından optimal fayda sağlaması için omega-6/omega-3 oranının ≤4/1 olması gereklidir (Simopoulos, 2002).

Çalışmada incelenen kahvaltılık margarin örneklerinde omega-3 yağ asidinin en yüksek Grup 4’te (%3.50 ±0.05) ve en düşük Grup 5’te (%0.83 ±0.08) olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, tüm örneklerde omega-6/omega-3 oranının 4/1’in oldukça üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kahvaltılık margarinlerin beslenme ve sağlık açısından yeterince faydalı olmadığını göstermektedir. Sürdürülebilir sağlıklı bir yaşam için margarin üretiminde omega-6/omega-3

oranının maksimum yarar sağlayacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.

Steroller, fonksiyonel gıda bileşeni olarak değerlendirilen önemli biyoaktif bileşiklerdir (Tetik ve ark., 2007). Bitkisel yağlar, en önemli sterol kaynağıdır. Bitkilerde bulunan sterollere fitosterol olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde özel üretilen bazı gıdaların (dondurma, margarin, çikolata, mayonez ve yoğurt gibi) üretiminde kullanılmaktadırlar. Fizyolojik olarak, fitosteroller veya fitosterol türevleri sindirim sisteminde kolesterol ile rekabet ettikleri için vücut tarafından hemen hemen hiç emilmezler.

Bitkisel kaynaklı fitosteroller önce stanollere hidrojenize edilir, daha sonra yağ asitleri ile trans esterifiye edilerek elde edilen sterol esterleri Ayçiçek ve Kolza yağından üretilen margarinlere katılmaktadır (Laakso, 2005; Soupas, 2006). Her yağ tıpkı yağ asitleri kompozisyonunda olduğu gibi kendine özgü sterol kompozisyonuna sahiptir. Bu nedenle sterol kompozisyonu yağların ayırt edilmesinde bir indikatör olarak kullanılmaktadır.

Tablo 3'te kahvaltılık margarin gruplarında sterol kompozisyonu incelenmiş ve bu kompozisyonun ağırlıklı olarak sırasıyla β -sitosterol (%60.28-73.90), kampesterol (%12.30-26.32), stigmasterol (%3.82-10.45) ve 7-stigmasterol (%2.47

- 6.00) olduğu tespit edilmiştir. Sterol kompozisyonu açısından margarin örnekleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0.05$). Kolesterol Grup 3, 5 ve 7'de çok düşük düzeyde tespit edilirken, Grup 1, 2, 4 ve 6'da tespit edilmemiştir. En yüksek kolesterol seviyesi Grup 7'de (0.65 ± 0.15) bulunmuştur. Brassikasterol içeriği Grup 1'de en yüksek, Grup 7'de ise en düşük seviyede ölçülmüştür. Kampesterol ise Grup 1 ve 7'de en yüksek düzeyde (27.05 ± 0.15 ve 26.32 ± 0.38) tespit edilmiştir. Kampesterol seviyeleri gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar göstermiştir ($p<0.05$). Stigmasterol Grup 2 ve 5'te (11.30 ± 0.70 ve 10.95 ± 0.15) en yüksek seviyede bulunurken, β -sitosterol Grup 2'de en yüksek (73.90 ± 0.20), Grup 7'de ise en düşük (60.28 ± 0.19) düzeyde belirlenmiştir. 7-stigmasterol Grup 3 ve 5'te en yüksek oranda (6.00 ± 0.50) ölçülmüştür.

Kolesterol seviyelerinin belirli gruplarda tespit edilmesi, margarin formülasyonunda kullanılan süt fazından kaynaklanıyor olabilir. Bu bulgular, margarinlerin sterol içeriklerinde gruplar arasında farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Sterol kompozisyonundaki bu farklılıkların, kahvaltılık margarin üretiminde kullanılan bitkisel yağ hammaddeleri veya yağ kombinasyonlarından ileri geldiği düşünülmektedir.

Tablo 3. Kahvaltılık margarin gruplarının sterol kompozisyonları (%)

Table 3. Sterol Composition of breakfast margarine groups (%)

Gruplar	Kolesterol	Brassika sterol	Kampesterol	Stigmasterol	β -Sitosterol	7-Stigmasterol
1		7.13 $\pm$ 0.06	27.05 ^a $\pm$ 0.15	3.82 ^d $\pm$ 0.18	62.00 ^d $\pm$ 0.10	
2			12.30 ^c $\pm$ 0.33	11.30 ^a $\pm$ 0.70	73.90 ^a $\pm$ 0.20	2.47 ^b $\pm$ 0.03
3	0.42 $\pm$ 0.03		13.45 ^c $\pm$ 0.25	10.45 ^b $\pm$ 0.05	69.49 ^b $\pm$ 0.54	6.00 ^a $\pm$ 0.50
4			16.03 ^b $\pm$ 0.13	10.40 ^b $\pm$ 0.20	73.55 ^a $\pm$ 0.20	
5	0.32 $\pm$ 0.03		16.65 ^b $\pm$ 0.15	10.95 ^{ab} $\pm$ 0.15	65.60 ^c $\pm$ 0.30	6.00 ^a $\pm$ 0.50
6			16.35 ^b $\pm$ 0.05	10.45 ^b $\pm$ 0.15	68.80 ^b $\pm$ 1.30	4.40 ^{ab} $\pm$ 0.30
7	0.65 $\pm$ 0.15	3.55 $\pm$ 0.25	26.32 ^a $\pm$ 0.38	9.43 ^c $\pm$ 0.85	60.28 ^c $\pm$ 0.19	
F	10.897	585.127	1983.208	105.787	269.048	57.252
p	0.010*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*

P<0.05, güven aralığında, a, b, c, d farklı harfler belirlenmiş steroller arasında istatistiksel olarak önemli fark olduğunu belirtmektedir.

Fitosterollerin bağırsak sisteminde kolesterolün emilimini engelleyerek kan kolesterol seviyesini düşürdüğü ve kardiyovasküler hastalıklar ile inme riskini azalttığı belirtilmiştir (Taşan ve ark., 2006; Taşan, 2008). Ayrıca, fitosterollerin bağırsak sisteminde kolesterol emilimini engelleyerek kolesterol seviyesini düşürmesi yanında antikanserojen, antifungal ve antibakteriyel özellikler gösterdiği de tespit edilmiştir (Quilez ve ark., 2003; Jones & AbuMweis, 2009). Günlük sterol alımında β -sitosterol %65, kampesterol %30 ve stigmasterol %5 oranında dağılım önerilmektedir (Glueck ve ark., 1991). Steroller (fitosteroller) kolesterol gibi insan vücutta sentezlenemezler bitkisel gıdalardan alınmalıdır (Sopas, 2006). İnsan oğlunun sağlıklı ve uzun yaşama arzusu daha nitelikli gıdalar tüketmek için esansiyel yağ asitleri ($C_{18:2}$ - $C_{18:3}$) ve fitosteroller mikrokapsülasyon teknikleri ile kaplayarak fonksiyonel gıda üretimleri yapılmaktadır. Mikrokapsülasyon oksidasyona hassas olan esansiyel yağ asitleri ve fitosterollerin oksidasyon hızını azaltarak, fonksiyonel özelliklerinden daha yüksek oranda ve uzun sürede yararlanmak amacıyla uygulanan bir tekniktir. Fitosterollerin hiperkolesterolemik, hipoglisemik, anti-inflamatuvar gibi faydalı etkilerinden yararlanmak için gerekli günlük dozu elde etmek amacıyla fitosterollerle zenginleştirilmiş yeni fonksiyonel gıdaların üretilmesine gereksinim vardır (Jimeneza ve ark, 2024; Tolve, ve ark. 2020)

Sonuç

Çalışmamızda incelenen bitkisel kahvaltılık margarinlerin hazırlanmasında kullanılan hammaddeler ve üretim süreçleri; ürünlerin fiziksel yapısı ve kimyasal kompozisyonundaki değişimler bağlamında beslenme, sağlık ve gıda güvenliği açısından değerlendirilmiştir. Margarin örneklerinde yağ asidi kompozisyonları, özellikle esansiyel yağ asitlerinden omega-6 (linoleik asit) oranı yeterli bulunmuş ancak omega-3 (linolenik asit) seviyesi oldukça düşük tespit edilmiştir. Yağların besinsel ve sağlık açısından maksimum fayda sağlayabilmesi için omega-6/omega-3 oranının $\leq 4/1$ olması önerilmektedir. İncelenen margarin örneklerinin hiçbirinin bu oranı sağlamadığı gözlemlenmiştir. Bu durum, sağlıklı beslenme ve gıda güvenliği açısından risk oluşturmaktadır. Steroller/ fitosteroller kardiyovasküler ve inme gibi hastalıkların oluşmasını engellemesi ile birlikte antikanserojen, antibakteriyel, antifungal özellik göstermeleri sağlıklı bir yaşam için önemli bileşimler olduğunu göstermektedir. Sağlıklı bir yaşam için günlük alınan toplam sterol miktarında β -sitosterol %65, kampesterol %30, stigmasterol %5, oranında olması önerilmektedir. Sonuç olarak kahvaltılık margarinlerin sterol kompozisyonu bakımından değerlendirildiğinde beş önemli sterol fraksiyonu (β -sitosterol, kampesterol, stigmasterol, 7-stigmasterol, Brasikka sterol) içerdiği tespit edilmiş olup günlük

sterol ihtiyacının karşılanmasında önemli bir kaynak oldukları görülmektedir. Bununla birlikte ω -3 yağ asitleri ve fitosteroller bakımından zenginleştirilmiş ve fonksiyonel gıda haline getirilmiş kahvaltılık margarin üretiminin yaygın hale getirilmesi toplumsal sağlığın gelişmesine önemli katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Etik Standartlar ile Uyumluluk

Çıkar çatışması: Yazarlar, bu yazı için gerçek, potansiyel veya al-
gılanan çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Etik izin: Araştırma niteliği bakımından etik izne tabii değildir.

Veri erişilebilirliği: Veriler talep üzerine yazarca sağlanacaktır.

Finansal destek: -

Teşekkür: Doç. Dr. Mustafa YAMAN ve Uzm. Arş. Ömer Faruk MIZRAK 'a analiz destekleri için teşekkür ederiz.

Açıklama: Bu makale, Prof. Dr. Muammer UĞUR' un Tez danışmanlığını yaptığı, Mustafa YILDIZ'ın "Kahvaltılık Margarinlerin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi" başlıklı yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

Kaynaklar

Ağagündüz, D. (2020). Kızartma Yağlarında Oluşan Polar Maddeler: Oluşum Mekanizmaları ve Sağlık Etkileri. Sağlık Bilimleri Alanında Akademik Çalışmalar—II. Gece Kitaplığı Yayınevi. <https://avesis.gazi.edu.tr>

Alpaslan, M., Karaali, A. (1998). The interesterification-induced changes in olive and palm oil blends. *Food Chemistry*, 61(3), 301-305.
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(97\)00081-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00081-2)

ANON (1988). T.S.E. 2812 Revizyon Metodu. Kapiller tüp yöntemi. Kayma (erime) Noktası Tayini

AOCS (1986). Official Methods and Recommended Practice of the American Oil Chemists Society. 3th Edition. Volum1. Illinois- USA

Arıcı M., Taşan, M., Geçgel, Ü., & Özsoy, S. (2002). Determination of fatty acid composition and total trans fatty acids of Turkish margarines by Capillary Gas-Liquid Chromatography. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 79, 439-441.
<https://doi.org/10.1007/s11746-002-0502-x>

Baker, E.J., Miles, E.A., Burdge, G.C., Yaqoob, P., Calder, P.C. (2016). Metabolism and functional effects of plant-derived omega-3 fatty acids in humans. *Progress in Lipid Research*, 64, 30-56.

<https://doi.org/10.1016/j.plipres.2016.07.002>

Burlingame, B., Nishida, C., Uauy, R., Weisell, R. (2009). Fats and Fatty Acids in Human Nutrition: Introduction. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 55, 5-7.

<https://doi.org/10.1159/000228993>

Baysal, A. (1996). Trans yağ asitleri ve kronik kalp hastalığı riski. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 25(2), 1-4.

Beltrán, M., Ruiz De Adana, M.S., Tinahones, F., Gómez-Zumaquero, J.M., García-Fuentes, E., González-Romero, S. (2003). Hypertension is related to the degradation of dietary frying oils. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(6), 1092-1097.

<https://doi.org/10.1093/ajcn/78.6.1092>

Bishekolaei, M., & Pathak, Y. (2024). Influence of omega n-6/n-3 ratio on cardiovascular disease and nutritional interventions. *Human Nutrition & Metabolism*, 37, 200275.

<https://doi.org/10.1016/j.hnm.2024.200275>

Can, N. (2019). Bitkisel yağların muhafazasında oksidatif stabilitenin önemi ve oksidatif stabilitenin belirlenmesinde kullanılan analiz yöntemleri. *ABMYO Dergisi*, 54, 107-124.

Çakmakçı, S. & Kahyaoğlu, T.D. (2012). Yağ asitlerinin sağlık ve beslenme üzerine etkilerine genel bir bakış. *Akademik Gıda*, 10(1), 103-113.

Dobarganes, M.C., Márquez-Ruiz, G. (2007). Chapter 6- Formation and Analysis of Oxidized Monomeric, Dimeric, and Higher Oligomeric Triglycerides. M.D. Erickson (Ed.), *Deep Frying* (Second Edition) s, 87-110). AOCS Press.

<https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-92-9.50012-8>

Ergönül, P.G. (2013). Solid fat contents and instrumental textural attributes of margarines sold in Turkish market. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 5(2), 157-161.

<https://doi.org/10.3920/QAS2012.0122>

Glueck, C.J., Speirs, J., Tracy, T., Streicher, P., Illig, E., Vandegrift, J. (1991). Relationships of serum plant sterols (phytosterols) and cholesterol in 595 hypercholesterolemic subjects, and familial aggregation of phytosterols, cholesterol,

and premature coronary heart disease in hyperphytosterolemic probands and their first-degree relatives. *Metabolism*, 40(8), 842-848.

[https://doi.org/10.1016/0026-0495\(91\)90013-M](https://doi.org/10.1016/0026-0495(91)90013-M)

Gomes, T., Caponio, F., Durante, V., Summo, C., Paradiso, V.M. (2012). The amounts of oxidized and oligopolymeric triacylglycerols in refined olive oil as a function of crude oil oxidative level. *LWT-Food Science and Technology*, 45(2), 186-190.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.07.008>

Grootveld, M., Percival, B.C., Leenders, J., Wilson, P.B. (2020). Potential adverse public health effects afforded by the ingestion of dietary lipid oxidation product toxins: Significance of fried food sources. *Nutrients*, 12(4), 974.

<https://doi.org/10.3390/nu12040974>

Hashempour-Baltork, F., Torbati, M., Azadmard-Damirchi, S., Savage, G.P. (2016). Vegetable oil blending: A review of physicochemical, nutritional and health effects. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 52-58.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.007>

IUPAC (1992). International Union of Pure and Applied Chemistry Applied Chemistry Division Commission on Oils, Fats and Derivatives. 1st Supplement to the 7th Revised and Enlarged Edition.

IUPAC (1987). International Union of Pure and Applied Chemistry Applied Chemistry Division Commission on Oils, Fats and Derivatives. 1st Supplement to the 7th Revised and Enlarged Edition.

Jones, P.J.H & Suhad, S Abu Mweis, S.S. (2009). Phytosterols as functional food ingredients: linkages to cardiovascular disease and cancer. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 12(2),147-151.

<https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e328326770f>

Jiménez, P., Bustamante, A., Echeverriab, F., Sambraa, V., Rincón-Cerverac, M.A. Farías, C., & Valenzuela, R. (2024). Metabolic benefits of phytosterols: Chemical, nutritional, and functional aspects. *Food Reviews International*, 40(9), 2917–2939.

<https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2290489>

Laakso, P. (2005). Analysis of sterols from various food matrices. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 107, 402410.

<https://doi.org/10.1002/ejlt.200501134>

Li, J., Li, X., Cai, W., Liu, Y. (2016). Comparison of different polar compounds-induced cytotoxicity in human hepatocellular carcinoma HepG2 cells. *Lipids in Health and Disease*, 15, 30.

<https://doi.org/10.1186/s12944-016-0201-z>

Márquez-Ruiz, G. (2009). Determination of polar compounds in used frying oils and fats by adsorption chromatography. AOCS lipid library. <https://www.aocs.org/resource/determination-of-polar-compounds-in-used-frying-oils-and-fats-by-adsorption-chromatography/>

Quilez, J., García-Lorda, P., Salas-Salvadó, J. (2003). Potential uses and benefits of phytosterols in diet: Present situation and future directions. *Clinical Nutrition*, 22(4), 343-351.

[https://doi.org/10.1016/s0261-5614\(03\)00060-8](https://doi.org/10.1016/s0261-5614(03)00060-8)

Oteng, A.B. & Kersten, S. (2020). Mechanisms of action of trans fatty acids. *Advances in Nutrition*, 11(3), 697-708.

<https://doi.org/10.1093/advances/nmz125>

Senanayake, S.P.J.N., Shahidi, F. (2020). Modification of Fats and Oils via Chemical and Enzymatic Methods. İçinde F. Shahidi (Ed.), *Bailey's Industrial Oil and Fat Products* (1. bs, ss. 1-29). Wiley.

<https://doi.org/10.1002/047167849X.bio062.pub2>

Tolve, R., Cela, N., Condelli, N., Di Cairano, M., Caruso, M.C., & Galgano, F. (2020). Microencapsulation as a tool for the formulation of functional foods: The Phytosterols' case study. *Foods*, 9(4), 470;

<https://doi.org/10.3390/foods9040470>

Simopoulos, A.P. (1998). The return of ω -3 fatty acids into the food supply: Land-based animal food products and their health effects. Karger Medical and Scientific Publishers.

<https://doi.org/10.1159/isbn.978-3-318-00310-9>

Simopoulos, A.P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 56(8), 365-379.

[https://doi.org/10.1016/S0753-3322\(02\)00253-6](https://doi.org/10.1016/S0753-3322(02)00253-6)

Soriguer, F., Rojo-Martínez, G., Dobarganes, M.C., García Almeida, J.M., Esteva, I., Soupas, L. (2006). Oxidative stability of phytosterols in food models and foods. EKT-series 1370. University of Helsinki. Department of Applied Chemistry and Microbiology. p, 110 + 58.

Taşan, M. (2008). Fitosterollerin insan beslenmesindeki yeri ve sağlığa etkileri. Türkiye 10. Gıda Kongresi, 21-23.

Taşan, M., Bilgin, B., Geçgel, Ü., Demirci, A. (2006). Phytosterols as functional food ingredients. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(2), 153-159.

Taşan, M., Dağhoğlu, O. (2005). Trans yağ asitlerinin yapısı, oluşumu ve gıdalarla alınması. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(1), Article 1.

Tetik, N., Erbaş, M., Turhan, İ. (2007). Fonksiyonel gıda bileşeni olarak fitosteroller. *Gıda*, 32(6), Article 6.

Timms, R.E. (2005). Fractional crystallisation-The fat modification process for the 21st century. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 107(1), 48-57.

<https://doi.org/10.1002/ejlt.200401075>

Yuan, L., Jiang, F., Cao, X., Liu, Y., Xu, Y.-J. (2020). Metabolomics reveals the toxicological effects of polar compounds from frying palm oil. *Food & Function*, 11(2), 1611-1623.

<https://doi.org/10.1039/C9FO02728A>

Yıldız, M. (1996). Margarin üretiminde yeni bir teknoloji: İnteresterifikasyon. *Gıda Teknolojisi*. 5, 56-62.