

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
GIDA BİLİMLERİ BİLİM DALI**

**FARKLI SUSAM TOHUMU ÇEŞİTLERİNDEN SOĞUK PRES  
YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN YAĞLARIN KARAKTERİZASYONU  
VE OKSİDATİF STABİLİTELERİNİN BELİRLENMESİ**

**Helbin JASAD**

**Danışman  
Doç.Dr. Pelin GÜNÇ ERGÖNÜL**



**MANİSA-2020**

**Helbin  
JASAD**

**FARKLI SUSAM TOHUMU ÇEŞİTLERİNDEN SOĞUK PRES YÖNTEMİYLE ELDE  
EDİLEN YAĞLARIN KARAKTERİZASYONU VE OKSİDATİF STABİLİTELERİNİN  
BELİRLENMESİ**

**2020**

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Helbin JASAD**



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
TABLolar DİZİNİ .....	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. Susam Tohumu Botaniği .....	3
2.2. Dünya’da ve Türkiye’de Susam Üretimi.....	6
2.3. Susam Tohum ve Yağ Bileşimi.....	7
2.4. Susam Yağı Eldesi Prosesi .....	11
2.5. Susam Yağının Sağlık Üzerine Etkisi .....	13
2.6. Susam Tohumu ve Yağının Kullanım Alanları .....	14
2.7. Susam Yağının Biyoaktif Bileşenleri .....	14
2.8. Soğuk Pres Yöntemi .....	22
2.9. Lipit Oksidasyonu .....	23
2.10. Hızlandırılmış Oksidatif Stabilite Belirleme Metotları .....	25
2.11. Tezin Amacı .....	26
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	27
3.1. Materyal.....	27
3.2. Yöntemler.....	28
3.2.1. Soğuk Pres Yöntemi ile Yağ Eldesi.....	28
3.2.2. Fizikokimyasal Analizler.....	30
3.2.2.1. Renk Değerleri Tayini.....	30
3.2.2.2. Kırılma İndisi .....	30
3.2.2.3. Sabunlaşma Sayısı Tayini .....	30
3.2.2.4. Serbest Yağ Asitliği Tayini.....	31
3.2.2.5. İyot Sayısının Belirlenmesi.....	31
3.2.3. Toplam Fenolik Madde Miktarının Belirlenmesi .....	32
3.2.4. DPPH Metodu ile Antioksidan Aktivite Tayini .....	33
3.2.5. Biyoaktif Bileşenler Analizleri .....	34
3.2.5.1. Toplam Klorofil ve Toplam Karotenoid İçeriklerinin Tespiti .	34
3.2.5.2. Yağ Asidi Kompozisyonunun Belirlenmesi .....	35
3.2.5.3. Fenolik Bileşenlerin Tespiti .....	35
3.2.5.4. Tokoferol Miktarının Belirlenmesi .....	36
3.2.5.5. Sterol Kompozisyonunun Belirlenmesi .....	38
3.2.6. Schaal Oven Testi .....	39
3.2.6.1. Oksidatif Stabilite Analizleri .....	40
3.2.6.1.1. Peroksit Sayısı .....	40
3.2.6.1.2. Konjuge-dien Değeri .....	40
3.2.6.1.3. P-anisidin Değeri.....	41
3.2.6.1.4. Totox (Toplam oksidasyon) Değeri .....	42
3.2.7. İstatistiksel Değerlendirme .....	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	43
4.1. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Renk Değerleri .....	43

4.2. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Kırılma İndisi Değerleri .....	44
4.3. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Sabunlaşma Sayısı Değerleri ...	45
4.4. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Serbest Yağ Asitliği Miktarları	46
4.5. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının İyot Sayısı Değerleri .....	48
4.6. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Toplam Fenolik Madde Miktarları.....	50
4.7. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının DPPH Antioksidan Aktivite Değerleri.....	52
4.8. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Toplam Karotenoid ve Toplam Klorofil Miktarları .....	54
4.9. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Yağ Asidi Kompozisyonu.....	55
4.10. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Tokoferol Miktarları .....	58
4.11. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Sterol İçerikleri .....	61
4.12. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Fenolik Bileşen İçerikleri.....	63
4.13. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Oksidatif Stabilite Analizi Sonuçları.....	64
4.13.1. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Peroksit Sayısı Değerleri	64
4.13.2. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Konjuge-dien Değerleri..	68
4.13.3. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının <i>P</i> -anisidin Değerleri .....	71
4.13.4. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Totox (Toplam Oksidasyon) Değeri .....	74
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	78
KAYNAKLAR .....	80
EKLER.....	86
EK A. Korelasyon Tabloları .....	87
EK B. Kromotogram Şekilleri .....	89
ÖZGEÇMİŞ .....	92

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Kısaltmalar

<b>ABTS</b>	2,2-Azinobis-(3-Etibenzoiazodin-6-Sulfonik asit)
<b>AOCS</b>	American Oil Chemists Society (Amerikan Yağ Kimyagerler Derneği)
<b>CIE</b>	Commission Internationale de l'Eclairage (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
<b>GA</b>	Gallik Asit
<b>GAE</b>	Gallik Asit Eşdeğeri
<b>GC</b>	Gas Chromatography (Gaz Kromatografisi)
<b>HPLC</b>	High Performance Liquid Chromatography (Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi)
<b>IUPAC</b>	International Union of Pure and Applied Chemistry (Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği)
<b>IOOC</b>	International Olive Oil Council (Uluslararası Zeytin Konseyi)
<b>KOH</b>	Potasyum Hidroksit
<b>LSD</b>	Least Significant Difference (En küçük Önemli Fark)
<b>P-anisidin</b>	Para Anisidin
<b>ppm</b>	Milyonda Bir
<b>SAS</b>	Statistical Analysis System (İstatistiksel Analiz Sistem)
<b>TBA</b>	Tiobarbitürik Asit
<b>TE</b>	Troloks Eşdeğeri
<b>TEAC</b>	Troloks Eşdeğeri Antioksidan Kapasite
<b>TSE</b>	Türk Standardları Enstitüsü
<b>TÜİK</b>	Türkiye İstatistik Kurumu
<b>UV-Vis</b>	UV-Visible Spektrofotometre

### Simgeler

%	Yüzde
ha	Hektar
°C	Santigrat derece
dk	Dakika
mL	Mililitre
g	Gram

**Singler**

v/v	Hacim/hacim
mg	Miligram
N	Normalite
nm	Nanometre
L	Litre
$\mu\text{mol}$	Mikromol
cm	Santimetre
$\mu\text{L}$	Mikrolitre
dL	Desilitre
Kg	Kilogram
$\mu\text{m}$	mikrometre
mm	Milimetre
m	Metre
meq $O_2$	Miliekivalen oksijen
w/v	Kütle /hacim
$\Sigma$	Toplam

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Susam bitkisi ve kapsülleri .....	4
Şekil 2.2. Farklı renklerde susam tohumu çeşitleri.....	4
Şekil 2.3. Susam kapsülünün boydan alınmış bir kesiti .....	5
Şekil 2.4. Susam tohumlarına ait temel morfolojik ve genetik özellikler.....	5
Şekil 2.5. Dünya’da susam tohumu üretimi yapan ülkeler .....	6
Şekil 2.6. Ülkelere göre susam tohumu üretim payı dağılımı.....	7
Şekil 2.7. Farklı susam tohumu çeşitlerinden elde edilen susam yağları.....	8
Şekil 2.8. Susam yağı eldesi prosesi .....	12
Şekil 2.9. Susam tohumu yağının biyoaktif bileşenleri dağılımı .....	16
Şekil 2.10. Tokoferolün izomerik yapısı .....	18
Şekil 2.11. $\beta$ -karotenin kimyasal yapısı.....	19
Şekil 2.12. Lignan ve fenilproponoid ve kimyasal yapısı.....	19
Şekil 2.13. Lignanların proses esnasında dönüşüm ürünleri .....	20
Şekil 2.14. Sesamol, sesamolin ve sesamin bileşiklerinin kimyasal yapısı .....	21
Şekil 2.15. Yağlı tohumdan yağ ekstraksiyon yöntemleri .....	22
Şekil 2.16. Lipit oksidasyonu zincir reaksiyonları .....	24
Şekil 2.17. Linoleik asidin oksidasyon basamakları.....	25
Şekil 3.1. Çalışmamızda kullanılan susam çeşitleri.....	27
Şekil 3.2. Soğuk pres yöntemiyle susam yağı eldesi .....	28
Şekil 3.3. Santrifüj öncesi ve sonrası susam yağı görünümü.....	29
Şekil 3.4. Her bir çeşide ait santrifüjlenmiş soğuk pres susam yağları.....	29
Şekil 3.5. Gallik asit standart kalibrasyon grafiği.....	33
Şekil 3.6. Troloks standardı kalibrasyon grafiği .....	34
Şekil 3.7. $\alpha$ -tokoferol kalibrasyon grafiği.....	37
Şekil 3.8. $\beta$ -tokoferol kalibrasyon grafiği.....	37
Şekil 3.9. $\gamma$ -tokoferol kalibrasyon grafiği .....	38
Şekil 3.10. $\delta$ -tokoferol kalibrasyon grafiği .....	38
Şekil 3.11. Soğuk pres susam yağlarının bekletildiği inkibatör.....	40
Şekil 4.1. Soğuk pres susam yağlarının serbest yağ asitliğinin çeşide bağlı olarak değişimi .....	47
Şekil 4.2. Soğuk pres susam yağlarının iyot sayısı değerlerinin çeşide bağlı olarak değişimi .....	49
Şekil 4.3. Soğuk pres susam yağlarının toplam fenolik madde miktarlarının çeşide bağlı olarak değişimi .....	51
Şekil 4.4. Soğuk pres susam tohumu yağlarının peroksit sayısı değerlerinin günlere göre değişimi .....	66
Şekil 4.5. Soğuk pres susam yağlarının konjuge-dien değerlerinin günlere göre değişimi .....	70
Şekil 4.6. Soğuk pres susam yağlarının <i>p</i> -anisidin değerlerinin günlere göre değişimi .....	73
Şekil 4.7. Soğuk pres susam tohumu yağlarının Totox değerlerinin günlere göre değişimi .....	76



## TABLolar DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 2.1.</b> Susam yağının bazı fizikokimyasal özellikleri .....	9
<b>Tablo 2.2.</b> Bazı tescilli susam tohumu çeşitlerinin kimyasal kompozisyonu.....	9
<b>Tablo 2.3.</b> Bazı tescilli susam tohumu çeşitlerine ait yağların yağ asidi kompozisyonu .....	10
<b>Tablo 2.4.</b> Bazı tescilli susam tohumu yağlarının sterol kompozisyonu.....	11
<b>Tablo 2.5.</b> Susamın ülkelere göre mutfakta kullanım şekilleri.....	14
<b>Tablo 3.1.</b> Susam çeşitlerine ait renk özellikleri .....	28
<b>Tablo 4.1.</b> Soğuk pres susam yağı örneklerinin renk değerleri .....	43
<b>Tablo 4.2.</b> Soğuk pres susam yağ örneklerinin kırılma indisi değerleri.....	44
<b>Tablo 4.3.</b> Soğuk pres susam tohumu yağlarının sabunlaşma sayısı değerleri ..	46
<b>Tablo 4.4.</b> Soğuk pres susam yağlarının serbest yağ asidi değerleri .....	47
<b>Tablo 4.5.</b> Soğuk pres susam yağlarının iyot sayısı değerleri .....	48
<b>Tablo 4.6.</b> Soğuk pres susam yağlarının toplam fenolik madde değerleri .....	50
<b>Tablo 4.7.</b> Soğuk pres susam yağlarının DPPH antioksidan aktivite değerleri..	52
<b>Tablo 4.8.</b> Soğuk pres susam yağlarının toplam karotenoid ve toplam klorofil değerleri.....	54
<b>Tablo 4.9.</b> Soğuk pres susam yağlarının yağ asidi kompozisyonu.....	56
<b>Tablo 4.10.</b> Soğuk pres susam tohumu yağlarının tokoferol içerikleri .....	59
<b>Tablo 4.11.</b> Soğuk pres susam tohumu yağlarının sterol kompozisyonu değerleri.....	62
<b>Tablo 4.12.</b> Soğuk pres susam yağlarının peroksit sayısı sonuçları ve istatistiksel etkileşim değerleri .....	65
<b>Tablo 4.13.</b> Soğuk pres susam yağlarının konjuge-dien sonuçları ve istatistiksel etkileşim değerleri .....	69
<b>Tablo 4.14.</b> Soğuk pres susam yağlarının <i>p</i> -anisidin sonuçları ve istatistiksel etkileşim değerleri .....	72
<b>Tablo 4.15.</b> Soğuk pres susam yağlarının Totox değeri sonuçları ve istatistiksel etkileşim değerleri .....	75

## TEŞEKKÜR

Öncelikle 2019-026 no'lu projemizi destekleyen Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında akademik bilgisi ve en önemlisi sevgisi ve saygısıyla tanıdığım, benden desteğini esirgemeyen, her koőulda yanımda olan, eğitim hayatımda benim için çok farklı bir yere sahip, tanımaktan onur duyduğum değerli danıőmanım Doç.Dr. Pelin GÜN ERGÖNÜL'e, çalıőmalarım sırasında bana hep yardımcı olan, desteğini hep hissettiğim her zaman yol göstericim olan kıymetli hocam Arő. Gör. Dr. Zeynep AKSOYLU ÖZBEK'e, her zaman yanımda olan canım ablam Helin JASAD ve değerli arkadaőım Kıvılcım ÇELİK'e, hayatımın her döneminde maddi ve manevi olarak desteklerini esirgemeyen ve yaptığım her iőte yanımda olan ailem'e sonsuz sevgi ve saygılarımla teşekkür ederim.

Helbin JASAD  
Manisa, 2020

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

#### Farklı Susam Tohumu Çeşitlerinden Soğuk Pres Yöntemiyle Elde Edilen Yağların Karakterizasyonu ve Oksidatif Stabilitelerinin Belirlenmesi

#### HELBİN JASAD

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Gıda Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Pelin GÜNÇ ERGÖNÜL

Çalışmada, Türkiye tescilli altı farklı yerli susam tohum çeşidinden (Özberk-82, Göl marmara, Muganlı-57, Batem Aksu, Batem Uzun ve Baydar-2001) soğuk pres yöntemi ile elde edilen yağların karakterizasyonu ve oksidatif stabilitesi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; soğuk pres susam yağı çeşitlerinde parlaklığı en yüksek Göl marmara, en düşük ise Baydar-2001 olmuştur. Yağların kırılma indisi değerleri 1.4724-1.4733, serbest yağ asitliği (% oleik asit) %0.23- 0.44, sabunlaşma sayısı 214.52- 220.77 mg KOH/g, iyot sayısı 104.75-115.84 g/100g, toplam fenolik madde miktarı 52.29-115.66 mg GAE/100g, DPPH antioksidan aktivite değeri 2.50-4.70 µmol TE/100g arasında değişiklik göstermiştir. Susam yağlarının yağ asidi bileşimi incelendiğinde; en önemli yağ asitlerinin palmitik (C16:0), stearik (C18:0), oleik (C18:1) ve linoleik (C18:2) yağ asitleri olduğu görülmüştür. Ayrıca bu asitlerin miktarları sırasıyla %9.23-9.83, %4.99-5.55; %42.08-45.28 ve %38.73-41.69 aralıklarında bulunmuştur. Tüm susam çeşitlerinde β-sitosterol, en fazla oranda bulunan sterol çeşididir ve 316.25-498.06 mg/kg arasında tespit edilmiştir. İncelenen susam yağlarının toplam karotenoid ve toplam klorofil miktarları ise sırasıyla 0.13-1.07 mg/100g ve 0.47-1.93 mg feofitin a/kg aralığında tespit edilmiştir. α- ve γ-, en baskın tokoferol çeşitleri olarak belirlenmiş ve miktarları sırasıyla 161.80-498.53 mg/100g ve 3.95-19.22 mg/100g olarak bulunmuştur. Oksidatif stabiliteyi belirlemek amacıyla 60°C/21 gün inkübatörde bekletilen yağlarda Schaal oven testi yapılmıştır. Bu kapsamda, susam yağlarının peroksit, konjuge-dien, *p*-anisidin ve Totox değerleri belirlenmiştir. Schaal oven testine göre, susam çeşitlerinden Muganlı-57 en dayanıklı ve Batem Uzun ise en dayanıksız yağ olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyoaktif bileşen, fizikokimyasal özellik, oksidatif stabilite, soğuk pres, susam tohumu, susam yağı

2020, 92 sayfa

## ABSTRACT

M.Sc. Thesis

### Determination of Oxidative Stability and Characterization of Oils Obtained From Different Sesame Seed Varieties by Cold Pressing

HELBİN JASAD

Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Food Sciences

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Pelin GÜNÇ ERGÖNÜL

In this study, the characterization and oxidative stability of oils obtained by cold press method from six different native sesame seed varieties (Özberk-82, Gölmarmara, Muganlı-57, Batem Aksu, Batem Uzun and Baydar-2001) registered in Turkey were examined. As a result of the study, the highest brightness of cold pressed sesame oil varieties was Gölmarmara and as for the lowest was Baydar-2001. The refractive index values, free fatty acid (% oleic acid), saponification number iodine number, total phenolic content amount and DPPH antioxidant activity values of oils are ranged between 1.4724-1.4733, 0.23- 0.44%, 214.52- 220.77 mg KOH/g, 104.75-115.84 g/100g, 52.29-115.66 mg GAE/100g, 2.50-4.70  $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ , respectively. When the fatty acid composition of sesame oils was examined, it was seen that the most important fatty acids were palmitic (C16: 0), stearic (C18: 0), oleic (C18: 1) and linoleic acids (C18: 2). In addition, the amounts of these fatty acids were found as 9.23-9.83%, 4.99-5.55%, 42.08-45.28% and 38.73-41.69%, respectively. In all sesame varieties,  $\beta$ -sitosterol is the major sterol and determined between 316.25-498.06 mg/kg. The total carotenoid and total chlorophyll contents of sesame oils were found in the range of 0.13-1.07 mg/100g and 0.47-1.93 mg pheophytin a/kg.  $\alpha$ - and  $\gamma$ - tocopherols were determined as the most dominant tocophero varieties and their amounts were found as 161.80-498.53 mg/100g and 3.95-19.22 mg/100g, respectively. In order to determine oxidative stability, Schaal oven test was performed on oils by keeping in incubator at 60° C for 21 days. In this context, peroxide, conjugated-diene, *p*-anisidine and Totox values of sesame oils were determined. According to the Schaal oven test, the oxidative stability of Muganlı-57 variety was highest and Batem Uzun variety was the lowest.

**Keywords:** Bioactive compounds, physicochemical properties, oxidative stability, cold press, sesame seeds, sesame oil

2020, 92 pages

## 1. GİRİŞ

Susam tohumu (*Sesamum indicum*), çok çeşitli kullanımlarıyla insanlığın bildiği en ilkel ve en önemli yağlı tohum bitkilerinden biridir [1]. Tam olarak kökeni bilinmemekle beraber susam türlerinin çoğu Afrika kıtasında bulunduğu gibi bazı türlerinin Hindistan'da olduğuna inanılmaktadır. Buna dayanarak araştırmacılar susamın Afrika ve Batı Asya üzerinden diğer ülkelere yayıldığını belirtmişlerdir. Yapılan çalışmalarda yağlı tohum bitkisi olan susam tohumunun gen merkezinin Afrika kıtası ve Etiyopya olduğu, Türkiye'nin ise ikinci gen merkezi olarak yer aldığı belirtilmiştir [2]. Burma, Hindistan, Çin, Sudan, Etiyopya, Mısır, Türkiye susam üretiminde öncü ülkelerdir. Türkiye'de ise susam en çok Antalya, Muğla, Manisa, Balıkesir, İzmir, Aydın, Bursa ve Denizli'de yetiştirilmektedir [3].

Türkiye'de susam içerdiği yüksek yağ içeriğine karşın, hasat ve harmanının zahmetli oluşu ve bunun maliyeti artırıcı etkisi nedeniyle yağ sanayinde fazlaca kullanılamamaktadır [4]. Ayrıca tohum veriminin düşük olmasının yanı sıra yüksek verimli çeşitlerin yetersiz ve mevcut çeşitlerin adaptasyon alanlarının dar oluşu, genetik ve ıslah değeri yüksek yerel çeşitlerin gen kaynağı olarak korunamaması, tohumun diğer alanlarda daha değerli bir materyal teşkil etmesi, yağ üretiminde kullanılmasını ekonomik kılmadığından son yıllarda tarımının azalmasına neden olmuştur [5].

*Pedaliaceae* familyasında bulunan 16 cins ve 60 tür arasında *Sesamum* cinsine ait yaklaşık 37 tür bulunmaktadır [2]. Ancak 37 tür arasında sadece *Sesamum indicum* yaygın olarak yetiştirilmektedir [2, 6]. Geri kalan yabancı türler, yağ içeriği düşük olmasına rağmen bitki yetiştiriciliğinde kullanıldığında olumlu agronomik karakterlere (hastalığa, zararlılara ve kuraklığa karşı direnç gibi) katkıda bulunabilir. "Susam" adı arapça "Semsim" kelimesinden gelmektedir. Susam yarı kurak tropikal ve subtropikal bölgelerde yetiştirilen çeşitliliğe ve büyüme koşullarına bağlı olarak 50 cm ile 2 m arasında büyüyen dik ve tek yıllık bir bitkidir [6]. Susam tohumu ana ürün ekimi nisan-mayıs ayı içerisinde; ikinci ürün ekilişleri ise hububat hasadını takiben haziran ayı içerisinde temmuz ayının ilk haftasında yapılmaktadır [7]. Renk çeşide göre beyaz, sarı, kahverengi veya siyah olabilmektedir. Türkiye'de en çok kahverengi (%48.9), sarı (%30) ve beyaz (%10'dan azı) taneli tohumlar yetiştirilmektedir [4].

Susam tohumu ve yağları mucizevi yararlı bileşenlere sahiptir. Susam tohumu yüksek miktarda yağ, protein, mineral madde ve fenolik bileşen içermektedir [6]. Ayrıca kabuğunda yüksek miktarda okzalit ve fitik asit bulunmaktadır [5].

Susam, insan beslenmesinde önemli bir rol oynamaktadır [8]. Bu tohumlardan elde edilen yağ başlıca yemeklik olarak ayrıca sabun, kozmetik, ilaç sanayinde ve alternatif tıp alanında kullanılmaktadır. Küspesinden ise hayvan yemi olarak yararlanılır. Bazen ekmek ve pasta gibi fırıncılık ürünlerinin üstüne serpilerek susam tohumlarından tahin ve tahin helvası da yapılmaktadır [9].

Susam tohumunun kimyasal bileşimi çeşit, köken, renk ve boyuta göre değişiklik göstermekte olup %40-54 yağ, %18-25 protein, %13.5 karbonhidrat ve %5 kül içermektedir [10]. Susam yağının yaklaşık %80'ini doymamış yağ asitleri (oleik, linoleik yağ asitleri) oluşturmaktadır. Ayrıca, susam yağının en önemli özelliği oksidatif bozulmaya karşı direnç göstermesidir. Yağın yüksek stabilitesi bileşiminde bulunan sesamin, sesaminol ve sesamol gibi sadece bu yağa özgü kuvvetli antioksidan etki gösteren bileşiklerin yanı sıra içeriğindeki tokoferoller, fenolik maddeler, bitkisel steroller ve karotenler gibi biyoaktif bileşenlerin etkilerinden kaynaklanmaktadır [11].

Bu çalışmada, soğuk pres yöntemi kullanılarak Türkiye tescilli 6 farklı susam tohumu çeşitlerinden elde edilen susam yağlarının renk, kırılma indisi, sabunlaşma sayısı, iyot sayısı, serbest yağ asitliği, toplam fenol miktarı, toplam klorofil ve toplam karotenoid miktarları gibi fizikokimyasal özellikleri belirlenerek, yağ asidi kompozisyonu, fenolik bileşik içeriği, sterol kompozisyonu, tokoferol içeriği gibi bazı biyoaktif bileşenlerinin de tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca yağların antioksidan aktiviteleri belirlenerek uygulanacak olan Schaal oven testi ile de oksidatif stabilitelerinin tespit edilmesi amaçlar arasında yer almaktadır. Bu kapsamda 0., 1., 2., 3., 4., 7., 9., 11., 14. ve 21. günlerde peroksit sayısı, konjuge-dien ve *p*-anisidin değerleri ölçülerek çeşitler arası oksidatif stabilite farkı ortaya konulmuştur. Bu doğrultuda elde edilecek soğuk pres susam tohumu yağlarında tam bir karakterizasyon tespitinin yapılması hedeflenmiştir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Susam Tohumu Botaniği

Eski literatürde susam tohumu “Yağlı Tohumların Kraliçesi” olarak anılır ve susam, binlerce yıl önce insanlar tarafından bilinen ve yetiştirilen ilk kültür bitkileri arasında yer almaktadır [12]. Susam (*Sesamun Indicum Lamiales*), ayrıca Benni (Afrika), Benne (Güney Amerika Birleşik Devletleri), Gingelly (Hindistan), Gengeli (Brezilya), Sim-sim, Semsem (İbranice) ve Tila (Sanskritçe) tohumu olarak da bilinen dünyanın en eski yağlı tohum bitkisidir [6].

Böyle köklü bir geçmişe sahip olan susam ülkemizin farklı yörelerinde farklı isimler ile adlandırılmaktadır. Örneğin Gaziantep, Adana ve Osmaniye’de susam “Küncü” veya “Künci” şeklinde isimlendirilmektedir. Yöresel olarak küncü, susam için kullanılmasının yanı sıra “siyah susam” anlamında “çörekotu” içinde kullanılmaktadır. Trakya’da ise geleneksel yöntemlerle elde edilen susam yağına “Şırlağan/Şırlayan yağ” denilmektedir [13].

*Pedaliaceae* familyasında bulunan 16 cins ve 60 tür arasında *Sesamum* cinsine ait yaklaşık 37 tür bulunmaktadır. Susamın *spp.bicarpellatum* (2 karpelli) ve *spp.quadricarpellatum* (4 karpelli) olmak üzere iki alt türü vardır [2]. Ancak 37 tür arasında sadece *Sesamum indicum Lamiales* yaygın olarak yetiştirilmektedir. Geri kalan yabancı türler, yağ içeriği düşük olmasına rağmen bitki yetiştiriciliğinde kullanıldığında olumlu agronomik karakterlere (hastalığa, zararlılara ve kuraklığa karşı direnç gibi) katkıda bulunabilir [6].

Susam yarı kurak tropikal ve subtropikal bölgelerde yetiştirilen çeşitliliğe ve büyüme koşullarına bağlı olarak boyu 50 cm ile 2 m arasında değişen dik ve tek yıllık otsu bir bitkidir. Susam bitkisi ve kapsülleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Susam bitkisi kazık köklüdür ve kök üzerindeki tüylülük derecesi çeşitliliğe bağlı olarak tüysüz, hafif ve çok tüylü olarak sınıflandırılabilir [6]. Ana sap üzerindeki yaprak koltuklarından dallar gelir. Bitki yaprakları büyük ve geniş olup çiçekleri çan şeklinde, renkleri ise beyaz bazıları mor veya pembedir. Türkiye’deki susam çeşitlerinde çiçekler beyaz ve pembe renklidir [4].



**Şekil 2.1.** Susam bitkisi ve kapsülleri [4]

Tohumlar ise çeşide bağlı olarak siyah, kahverengi, sarı ve beyaz/krem olmak üzere farklı renklerden oluşmaktadır [13]. Farklı renklerdeki susam tohumu çeşitleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.2.** Farklı renklerde susam tohumu çeşitleri [13]

Türkiye tescilli susam çeşitlerimiz; Sarısu, Kepsut-99, Tan-99, Orhangazi-99, Cumhuriyet-99, Osmanlı-99, Tanas, Boydak, Arslanbey, Hatipoğlu, Küncü, Hindistan, Antalya sarısı, Akören, Batem Aksu, Batem Uzun, Muganlı-57, Baydar-2001, Özberk-82, Gölmarıara, Birkan, Adana, Uşak, Fethiye, Antalya olarak sıralanmaktadır [2, 14].

Genel olarak siyah susam tohumunun, beyaz ve kahverengi susam ile kıyaslandığında daha fazla antioksidan ve antiaging etkiye sahip olduğu bilinmektedir [2].

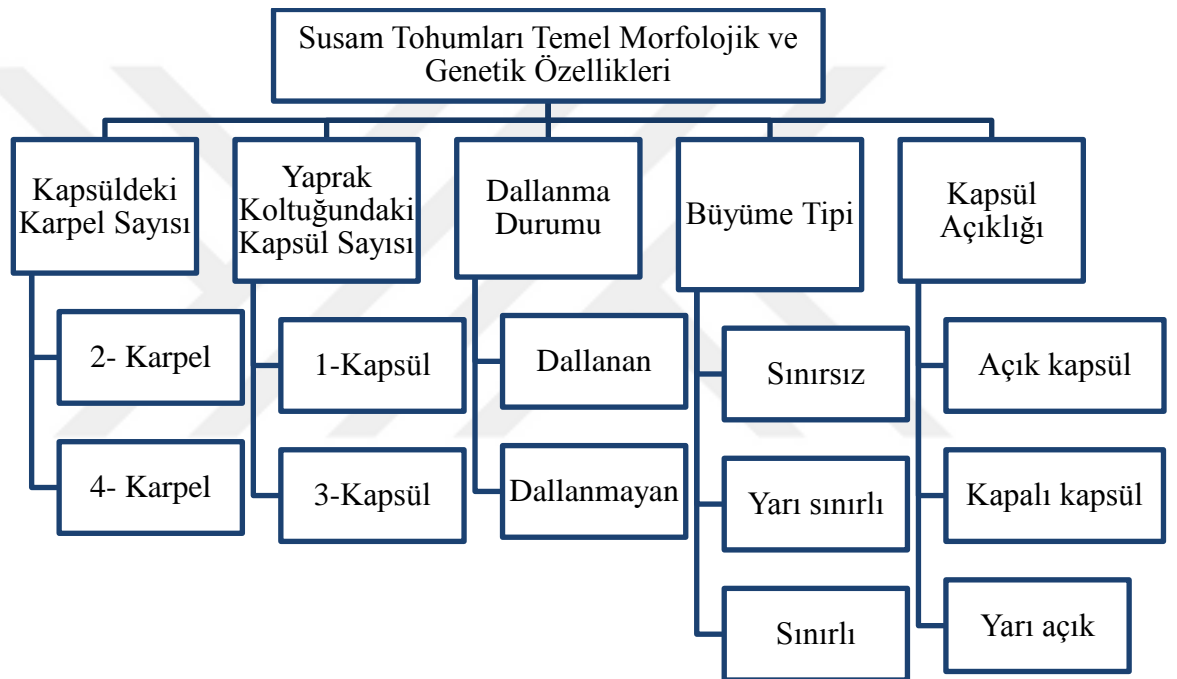
Türkiye’deki susam tohumlarının %48.9’u kahverengi, %30’u sarı ve geriye kalan kısımda beyaz renkten oluşmaktadır [4]. Susam meyvelerine “Kapsül” denir ve her bir kapsül 60-70 tohum içerebilen iki paralel hücreye bölünmüş dört boyuna hücre içeren dikdörtgen prizma şeklindeki formdan oluşmaktadır. Kapsüller olgunlaşmaya başladığında ise uçtan çatlayarak saçılmaya başlamaktadır. Susam



kapsülünün boydan alınmış bir kesiti Şekil 2.3 ve susam tohumuna ait temel morfolojik ve genetik özellikler Şekil 2.4’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Susam kapsülünün boydan alınmış bir kesiti [13]



Şekil 2.4. Susam tohumlarına ait temel morfolojik ve genetik özellikler [2]

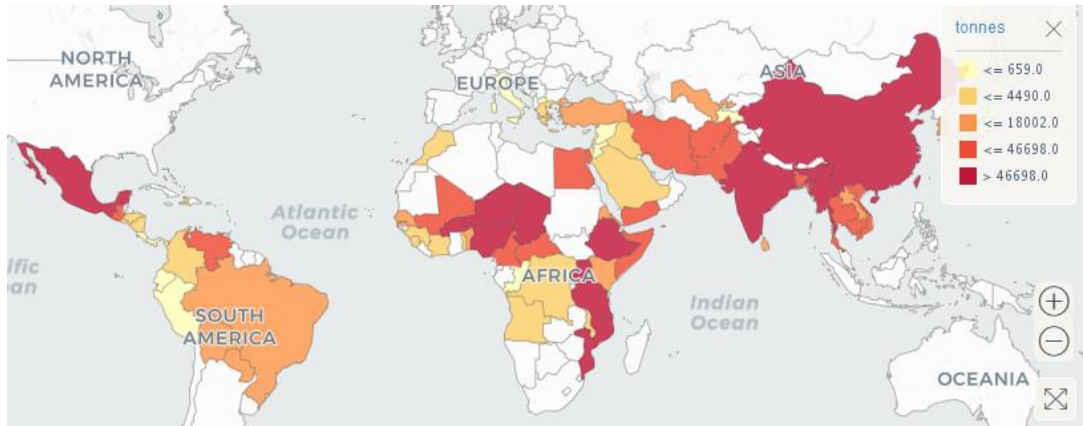
Türkiye’de yetiştirilen susam tohumu çeşitleri kapsülde karpel sayısı açısından %99.5 oranında 2-karpelli, yaprak koltuğunda kapsül sayısı açısından ise %95 oranında 1-kapsüllü olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca ülkemizdeki susam tohumları genel olarak sınırsız büyüme tipinde, açık kapsüllü ve dallanır özelliktedir [2].

Susam toprak isteği fazla seçici olmamakla beraber orta bünyeli, organik maddece zengin, kumlu-killi topraklarda iyi yetişirken fazla killi, çakıllı, kireçli ve fazla su tutan topraklarda ise iyi gelişmez [4]. Susamın su ihtiyacı fazla değildir. Yetiştirme süresi boyunca susam için 300-600 mm’de yağış idealdir. Sıcak bölgelerde,

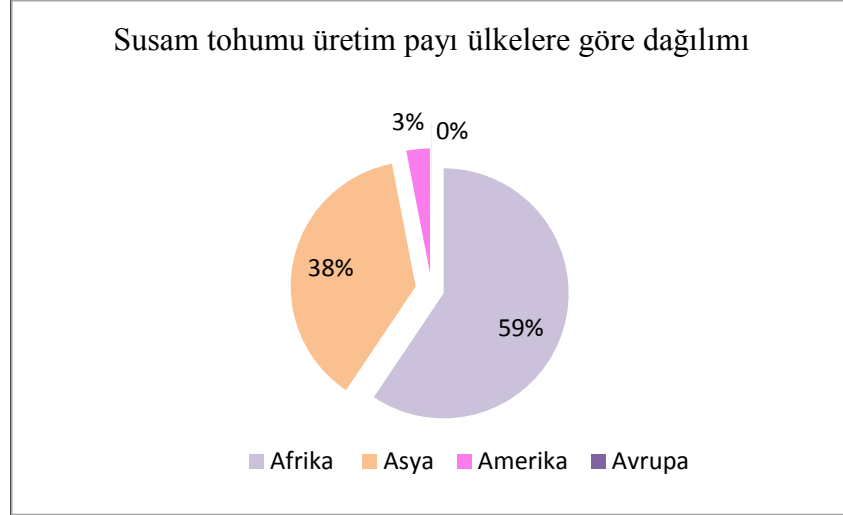
çok az bir yağışla yetişebilen en önemli yağ bitkisi olan susam, özellikle Ege ve Akdeniz bölgelerimizde ikinci ürün olarak yetişebiliyor olması nedeniyle bu bölgelerde susama verilen önem gittikçe artmaktadır [13]. Susam ekimi elle ve çok nadirde olsa makine ile yapılmaktadır. Serpme usulü ekim çok fazla önerilmemektedir. Susam tohumu ana ürün ekimi nisan-mayıs ayı içerisinde; ikinci ürün ekilişleri ise hububat hasadı takiben haziran ayı içerisinde temmuz ayının ilk haftasında yapılmaktadır. Fizyolojik olarak olgunluğa eriştikten yaklaşık 90-120 gün sonrada hasat edilebilmektedir [4].

## 2.2. Dünya’da ve Türkiye’de Susam Üretimi

Susam, yüksek yağ içeriği nedeniyle dünya genelinde bir yağ bitkisi olarak değerlendirilmektedir. Dünya üzerinde toplamsusam ekim alanı 11743382 ha olup sırasıyla yaklaşık 2 milyon ha ile Sudan, 1.8 milyon ha ile Hindistan ve 1.5 milyon ha ile Myanmaren geniş alanlarda üretim yapan ülkelerdir [15]. FAO(2018) verilerine göre Dünya’da en çok susam üretimi yapan ülkeler sırasıyla Sudan (981000 ton), Myanmar (768858 ton), Hindistan (746000 ton), Nijerya (572761 ton), Tanzania Birleşik Cumhuriyeti (561103 ton), Çin Anakara (431500 ton), Etiyopya (301302 ton), Burkina Faso (253936 ton), Güney Sudan (206522 ton) ve Çad (172539 ton)’dır [15]. Dünya’da susam tohumu üreten ülkeler Şekil 2.5’de ve ülkelere göre üretim payı dağılımı Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.5. Dünya’da susam tohumu üretimi yapan ülkeler [15]



**Şekil 2.6.** Ünelere göre susam tohumu üretim payı dağılımı [15]

FAO (2018) verilerine göre Türkiye’de toplam 25981 ha alanda susam ekimi yapılmaktadır. Ülkemizde en fazla susam tohumu üreten illerden; 3443 ton ile Manisa 1.sırada, 3426 ton ile Antalya 2. sırada, 3115 ton ile Muğla 3.sırada ve 2440 ton ile Uşak 4.sırada yer almaktadır. Ülkemizde susam tohumu üretiminde dalgalanmalar mevcuttur. 1988 yılında 45000 tona kadar çıkan üretim 2017 yılında 18410 tona gerilemiştir [16]. Bununla birlikte, hasat ve harmanının zahmetli oluşu ve bunun maliyeti arttırıcı etkisi, tohum veriminin düşük olmasının yanı sıra yüksek verimli çeşitlerin yetersiz ve mevcut çeşitlerin adaptasyon alanlarının dar oluşu, genetik ve ıslah değeri yüksek yerel çeşitlerin gen kaynağı olarak korunamaması gibi nedenlerle son yıllarda susam tarımında azalma meydana gelmiştir. Bu nedenle susam tarımı dünyada elemeğinin ençok, ucuz işgücünün en fazla olduğu Hindistan, Çin, Myanmar ve Sudan gibi ülkelerde yapılmaktadır. Son yıllarda Türkiye’de susam tarımı gerilediği için ithalat artmıştır [4]. Türkiye, Nijerya, Pakistan, Hindistan, Uganda, Etiyopya ve birçok Afrika Ülkesi başta olmak üzere toplam 27 ülkeden susam ithalatı gerçekleştirmektedir. Afrika’nın geleneksel susam üreticileri ve birkaç Asya ülkesi ile sınırlı kalan susam ithalatı 2011 yılı itibariyle Paraguay’dan Özbekistan’a, Bangladeş’ten Meksika’ya kadar çok geniş bir alanı kapsamış bulunmaktadır [17].

### 2.3. Susam Tohum ve Yağ Bileşimi

Susam tohumunun kimyasal bileşimi çeşit, köken, renk ve boyuta göre değişiklik göstermekte, %4-6 nem, %40-54 yağ, %18-25 protein(metionin, triptofan ve valin içeriği yüksek), %13.5 karbonhidrat ve %5 kül içermektedir [18]. Yerli

susam tohumlarının yağ içeriği %52-61 oranındadır [19]. Susam diyet lifi ve lignanlar, mineraller (kalsiyum, fosfor, potasyum, magnezyum ve çinko) ve fitosterol gibi mikro besin öğelerince de zengindir [20].

Doymuş yağ asidi oranı toplam %20'yi geçmeyen ve yaklaşık %80'ini doymamış yağ asitlerinin oluşturduğu susam yağının yağ asidi kompozisyonunun incelendiği birçok çalışmada, %7-12 palmitik asit, %3.5-6 stearik asit, %35-40 oleik asit, %35-50 linoleik asit içerdiği ortaya konmuştur [11, 21]. Ayrıca, susam yağının en önemli özelliği oksidatif bozulmaya karşı direnç göstermesidir. Yağın yüksek stabilitesi bileşiminde bulunan sesamin, sesaminol ve sesamol gibi sadece bu yağa özgü kuvvetli antioksidan etki gösteren bileşiklerin yanı sıra içeriğindeki tokoferoller, fenolik maddeler, bitkisel steroller ve karotenler gibi biyoaktif bileşenlerin etkilerinden kaynaklanmaktadır [22].

Farklı susam tohumu çeşitlerine ait yağların görseli Şekil 2.7'de verilmiştir. Görüldüğü üzere berrak olup çeşide göre açık sarı, koyu sarı ve kahverengi renklere olabilmektedir. Susam yağının ortalama kırılma indisi, özgül ağırlık ve iyot sayısı gibi bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ise Tablo 2.1'de verilmiştir [7].



**Şekil 2.7.** Farklı susam tohumu çeşitlerinden elde edilen susam yağları [7]

**Tablo 2.1.** Susam yağının bazı fizikokimyasal özellikleri [21]

Özellik	Değer
Özgül ağırlık 25°C	0.914 - 0.919
Refraktif indeks 25°C	1.470 - 1.474
İyot sayısı	103 – 116
Sabunlaşma sayısı	188 – 195
Sabunlaşmayan madde miktarı, %	%1.8'den az
Titre (°C)	20 – 25

Ünal ve Yalçın (2008) yaptıkları bir çalışmada yerli çeşit susam tohumlarının kompozisyonunu belirlemek amacıyla Antalya ve Menemen bölgelerinden Göl marmara, Muganlı 57, Özberk 82 ve Çamdibi susam tohumları temin etmişlerdir. Söz konusu susam tohumlarının kimyasal kompozisyonu ve tohumlardan hekzan ekstraksiyonu ile elde edilen yağların sterol ve yağ asidi kompozisyonları belirlenmiştir. Çalışma sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 2.2, Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'de verilmiştir [23].

**Tablo 2.2.** Bazı tescilli susam tohumu çeşitlerinin kimyasal kompozisyonu [23]

Tohum Çeşitleri	Kimyasal Kompozisyon			
	Nem %	Yağ %	Protein %	Kül %
Özberk 82 (Antalya)	4.56 ± 0.04	53.44 ± 1.00	21.17 ± 0.09	4.10 ± 0.05
Göl marmara (Antalya)	4.47 ± 0.10	56.21 ± 1.01	21.13 ± 0.05	4.07 ± 0.06
Muganlı 57 (Antalya)	4.44 ± 0.05	56.55 ± 0.90	18.00 ± 0.10	4.92 ± 0.05
Çamdibi (Antalya)	4.40 ± 0.05	54.26 ± 0.99	20.68 ± 0.06	4.26 ± 0.03
Özberk 82 (Menemen)	4.27 ± 0.03	54.06 ± 0.95	22.08 ± 0.10	4.37 ± 0.06
Göl marmara (Menemen)	4.16 ± 0.04	56.50 ± 1.15	23.18 ± 0.10	3.88 ± 0.06
Muganlı 57 (Menemen)	4.25 ± 0.08	50.57 ± 1.00	20.81 ± 0.12	5.30 ± 0.03
Ortalama	4.40 ± 0.05	54.26 ± 0.99	21.00 ± 0.09	4.41 ± 0.05

**Tablo 2.3.** Bazı tescilli susam tohumu çeşitlerine ait yağların yağ asidi kompozisyonu [23]

%Yağ asidi	Susam çeşitleri			
	Özberk 82 (Antalya)	Gölmarmara (Antalya)	Muganlı 57 (Antalya)	Çamdibi (Antalya)
Miristik	0.02 ± 0.002	0.02 ± 0.003	0.02 ± 0.003	0.03 ± 0.002
Palmitik	8.32 ± 0.10	8.46 ± 0.10	8.63 ± 0.10	9.43 ± 0.10
Palmitoleik	0.11 ± 0.005	0.12 ± 0.005	0.13 ± 0.004	0.12 ± 0.005
Stearik	5.66 ± 0.10	5.64 ± 0.12	4.93 ± 0.10	5.55 ± 0.10
Oleik	42.42 ± 0.35	41.06 ± 0.50	40.62 ± 0.30	41.66 ± 0.32
Linoleik	42.11 ± 0.40	43.29 ± 0.44	44.36 ± 0.50	43.01 ± 0.45
Linolenik	0.57 ± 0.01	0.59 ± 0.01	0.58 ± 0.01	0,60 ± 0.01
Araşidik	0.66 ± 0.02	0.64 ± 0.01	0.60 ± 0.01	0.66 ± 0.01
Gadoleik	0.01± 0.004	0.03 ± 0.005	0.03 ± 0.005	0.03 ± 0.005
% Yağ asidi	Özberk 82 (Menemen)	Gölmarmara (Menemen)	Muganlı 57 (Menemen)	
Miristik	0.02 ± 0.002	0.02±0.002	0.02 ± 0.002	
Palmitik	8.95 ± 0.11	9.44±0.08	9.08 ± 0.12	
Palmitoleik	0.14 ± 0.004	0.14±0.005	0.13 ± 0.004	
Stearik	5.20 ± 0.10	5.67 ± 0.10	5.26 ± 0.14	
Oleik	41.57 ± 0.38	41.53 ± 0.50	42.29 ± 0.30	
Linoleik	42.87 ± 0.55	41.67± 0.40	41.88 ± 0.53	
Linolenik	0.57 ± 0.01	0.53±0.01	0.56 ± 0.01	
Araşidik	0.62 ± 0.02	0.69±0.02	0.64 ± 0.01	
Gadoleik	0,02 ± 0.005	0.07±0.005	0.02 ± 0.005	

Ortalama olarak doymuş yağ asitlerinden palmitik ve stearik yağ asitleri ile doymamış yağ asitlerinden oleik ve linoleik yağ asitleri oranları sırasıyla %8.90±0.10 ve %5.43±0.07, %41.55± 0.27 ve %42.74±0.47 olarak bulunmuştur.

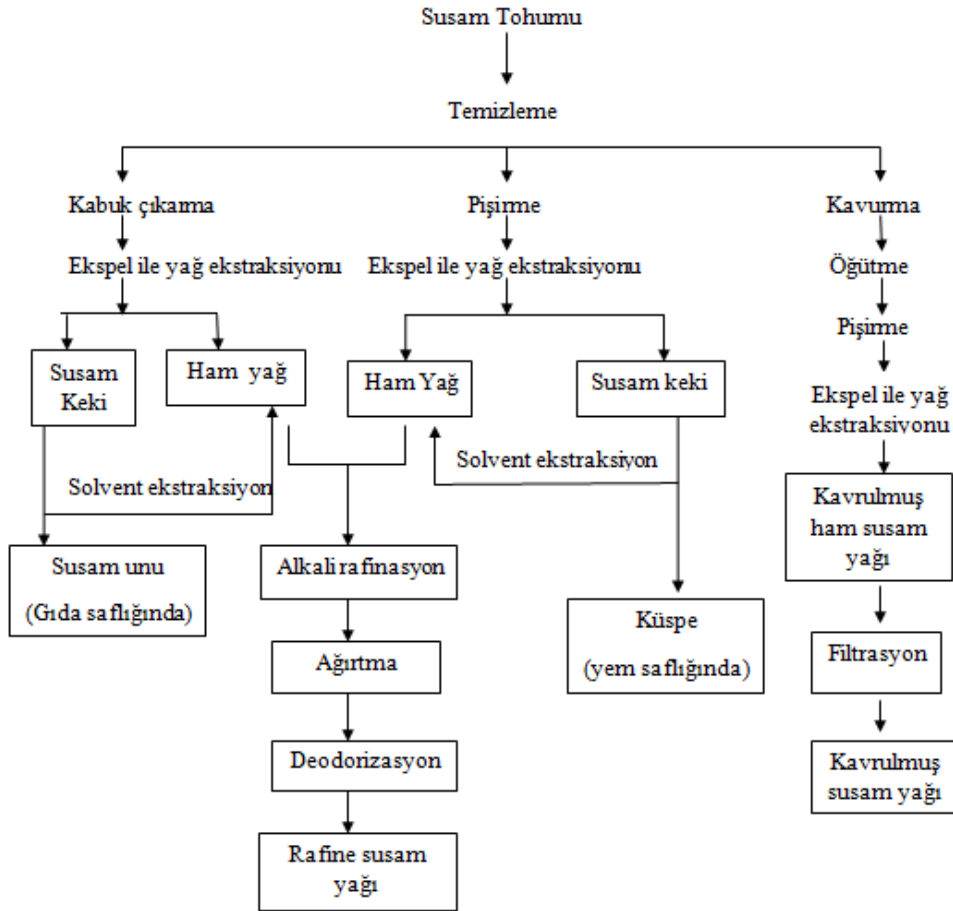
**Tablo 2.4.** Bazı tescilli susam tohumu yağlarının sterol kompozisyonu [23]

% Dismetil Sterol	Susam Çeşitleri			
	Özberk (Antalya)	Gölmarmara (Antalya)	Muganlı (Antalya)	Çamdibi (Antalya)
Kolestrol	0.18±0.004	0.23±0.005	0.14±0.001	0.08±0.001
Kampesterol	18.86±0.05	17.80±0.05	18.48±0.05	18.63±0.05
Stigmasterol	7.42±0.03	7.41±0.02	6.90±0.02	7.55±0.02
Klerosterol	1.20±0.01	1.79±0.01	1.24±0.01	0.82±0.01
β Sitosterol	61.19±0.90	61.36±1.05	63.40± 1.00	63.27±1.00
Δ-5 Avenasterol	7.53±0.05	7.61±0.05	6.41±0.05	5.40±0.004
Δ5,24 Stigmastadienol	0.96±0.01	0.93±0.2	0.71±0.02	0.79±0.01
Δ-7 Stigmastadienol	0.48±0.01	0.42±0.01	0.31±0.01	0.34±0.01
Δ-7 Avenasterol	0.51±0.01	0.57±0.01	0.53±0.01	0.49±0.01
% Dismetil sterol	Özberk (Menemen)	Gölmarmara (Menemen)	Muganlı (Menemen)	
Kolestrol	0.07±0.002	0.22±0.005	0.11±0.002	
Kampesterol	18.79±0.06	17.86±0.05	18.53±0.05	
Stigmasterol	6.87±0.02	6.96±0.02	7.08±0.02	
Klerosterol	1.41±0.01	1.41±0.01	1.32±0.01	
β Sitosterol	62.55±0.90	62.94±0.95	64.02±1.02	
Δ-5 Avenasterol	6.82±0.06	6.58±0.05	5.39±0.05	
Δ5,24 Stigmastadienol	0.75±0.02	0.74±0.01	0.58±0.02	
Δ-7 Stigmastadienol	0.34±0.01	0.36±0.01	0.55±0.01	
Δ-7 Avenasterol	0.58±0.01	0.75±0.01	0.68±0.01	

#### 2.4. Susam Yağı Eldesi Prosesi

Farklı proseslerden elde edilen susam yağları gıda, kozmetik ve ilaç endüstrisinde hammadde olarak kullanılmaktadır. Susam tohumları yağ verimi çeşit, renk ve yetiştirildiği bölgeye göre farklılık göstermektedir [6]. Önemli olan yağın tohumdan uygun yöntemlerle ayrılmasıdır. Ancak yüksek kaliteli yağ için sadece yağ üretim yöntemlerine bakmak yeterli olmayıp, tohumun hasadı, tohuma uygulanan ön işlemler ve hasattan sonraki saklama koşullarında dikkate alınmalıdır. Yağ üretiminde bir diğer önemli nokta tohumun presleme veya solvent ekstraksiyonu ile ekstrakte edilip edilmediğidir [7].

Susamdan genel olarak iki farklı şekilde yağ elde edilebilmektedir. Bunlar kavrulmuş tohumdan ve kavrulmamış tohumdan elde edilen yağlar olmak üzere iki çeşittir [6]. Kavrulmamış susam tohumu yağı, öğütülmüş susam tohumlarına ekspeller pres uygulanarak yağ ve küspe olarak ayrılması ile elde edilen yağdır. Daha sonra elde edilen bu yağ rafine edilmektedir. Uzak Doğu ülkeleri hariç dünya çapında rafine susam yağı kızartmalık ve salata yağı olarak kullanılmaktadır [6, 14]. Kavrulmuş susam tohumu yağı, susam tohumlarına 140-200 °C’de kavurma ön işlemi uygulandıktan sonra pres ile sıkıştırma daha sonra filtre edilerek elde edilen yağdır. Kavrulmuş susam yağı rengi kavurma koşullarına bağlı olarak açık sarıdan koyu kahverengiye kadar değişmektedir [14]. Kavrulmuş susam tohumundan susam yağı ekstraksiyonu genellikle presleme ile yapılır ve çözücü ekstraksiyonu tercih edilmez çünkü istenen kavrulmuş lezzet çözücünün buharlaşması sırasında kaybolmaktadır. Susam tohumları küçük taneli olduklarından yağ çıkarma işlemlerinden önce genellikle pişirme işlemi uygulanmaktadır [6]. Susam yağı prosesi Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Susam yağı eldesi prosesi [6]



## 2.5. Susam Yağının Sağlık Üzerine Etkisi

Son yıllarda bitkisel yağların insan sağlığına olumlu etkilerinden dolayı, insanların yağlara olan ilgileri de giderek artmıştır. Bitkisel yağlar yüksek miktarda doğal antioksidanlar, esansiyel yağ asitleri, mineral ve vitaminler gibi yararlı bileşenlere sahiptir [13]. Susam tohumu ve yağı da içerdiği yüksek antioksidan ve mucizevi yararlı bileşenler bakımından insan sağlığında büyük rol oynamaktadır [8].

İnsanoğlu, doğal bitkileri yararlı hale getirerek hastalıkların tedavisinde ilaç olarak kullanmaktadır. Susamın alternatif tıpta hammadde ve besin olarak kullanımı çok uzun yıllara dayanmaktadır. Susam Hindistan'da alternatif tıp biliminde "Ayurveda" olarak adlandırılan insan sağlığının bozulması, toksinlerin biriktiği organlara ve dokulara göre istenen dengeyi yeniden sağlayacak bitkilerden, minerallerden, değerli taşlardan yararlanan tedavi biliminde kullanılmaktadır [13]. Eski Çin kitapları ise susam tüketmenin yüksek enerji sağlamanın yanı sıra sakin bir zihin ve uzun süre tüketildiğinde yaşlanmayı geciktirici etkilere sahip olduğunu yazmaktadır [3].

Susam tohumu B1 vitamini, folik asit, tiamin ve B6 vitamini gibi yüksek miktarda vitamin içermesinin yanı sıra çinko, magnezyum, demir ve kalsiyum bakımındanda mineral deposu olarak bilinmektedir. Susamda yer alan aminoasitler ve yağ asitleri büyüme, gelişme açısından enerji metabolizmasında, vitamin ve minerallerin vücutta kullanılmasında, bağışıklık ve hormon sistemlerinin düzgün çalışmasında, kemik ve kas dokularının onarımında görev yapmaktadır [13].

Susamın diğer faydaları ise yüksek miktarda oleik asit içeriği ile iyi kolesterol (yüksek yoğunluklu lipoprotein, HDL) ve kötü kolesterol (düşük yoğunluklu lipoprotein, LDL) seviyelerini dengeleyerek kalp ve damar hastalıkları riskini azaltması, kansere karşı koruyucu, zihinsel yorgunluğu giderici ve kandaki basıncı dengeleyici etkilerinin olmasıdır [6, 12]. Sindirim sisteminin daha hızlı çalışmasına yardımcı olur. Ayrıca midenin boşalma süresini uzatarak acıkmayı geciktirmekte ve organların dış etkilerden korunmasını sağlamaktadır [13]. Boğaz gargarası olarak kullanıldığında hem soğuk algınlığına hem de diş eti iltihabına neden olan bakterileri % 85 oranında azaltarak kronik sinüzit, sedef hastalığı, kuru cilt, kabızlık ve anemi gibi rahatsızlıkların tedavisine de yardımcı olmaktadır [8].

## 2.6. Susam Tohumu ve Yağının Kullanım Alanları

Susam tohumu Türk kültüründe büyük önem taşımaktadır. Ortak kullanım alanlarından ikisi tahin ve tahin helvası üretimidir. Buna ek olarak pasta, ekmek ve çörek gibi fırıncılık ürünlerinde kullanılarak hoş lezzet ve görünüm kazandırmaktadır. Küspesinden ise hayvan yemi olarak yararlanılmaktadır [8].

Susam, gıda endüstrisinde tohum, küspe ve yemeklik yağ olarak üç temel formda değerlendirilmektedir. Susam tohumlarından elde edilen yağ endüstriyel sektörde sabun, kozmetik, ilaç sanayinde ve alternatif tıp alanında kullanılmaktadır. Susam tohumu dünyada geniş oranda bitkisel yağı için (%77.6) değerlendirilmektedir geri kalan kısmı da pastacılıkta (%20.1) ve tohum olarak (%2.3) tüketilmektedir [7]. Susamın ülkelere göre mutfakta kullanım şekilleri Tablo 2.5'de verilmiştir.

**Tablo 2.5.** Susamın ülkelere göre mutfakta kullanım şekilleri [6, 13]

FORM	Ülkeler
Ekmek, bisküvi, salata ve yemeklik yağ	Dünya çapında
Ham, toz ve kavrulmuş tohum	Hindistan
Ekmek	Sicilya
Kavrulmuş susam ekmek, kraker ve bisküvi gibi pek çok besinde süsleme amaçlı, kavrulmuş yağ	Çin, Kore, Japonya
Çörek, cips	ABD
Çiğ, kızartma yağı, şekerleme	Afrika
Kavrulmuş tohum	Doğu Asya

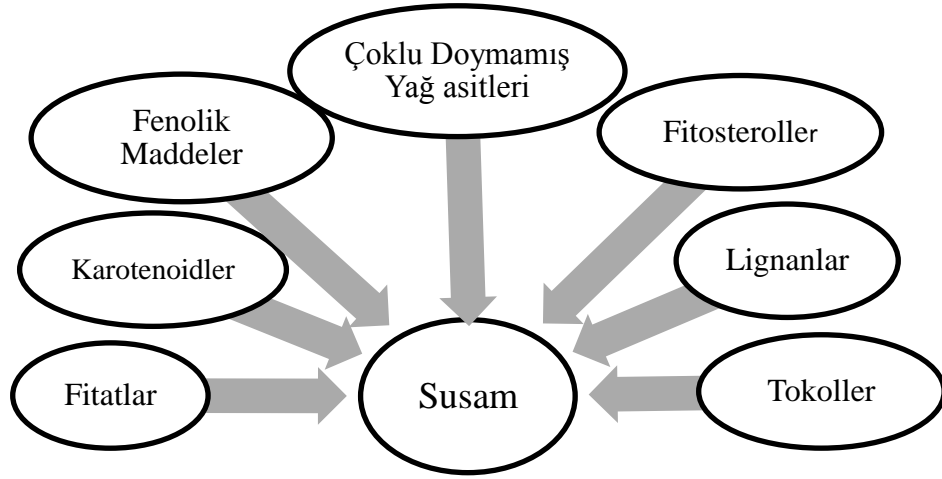
## 2.7. Susam Yağının Biyoaktif Bileşenleri

Bitkiler, birincil ve ikincil metabolitler olarak kategorize edilmiş çok çeşitli organik bileşikler üretmektedir. Birincil metabolitler metabolik hücre solunum, büyüme ve gelişme yoluyla yaşamı sürdürmek için gerekli olan temel kimyasal bileşenlerdir. Bunlar karbohidrat, proteinler, organik asitler ve lipitlerdir. Oysa, ikincil metabolitler insan sağlığı üzerinde biyolojik etkiler sağlayabilen çeşitli kimyasal yapılara sahip minör bileşenlerdir. Biyoaktif bileşenler olarak bilinen bu bileşenler bitkilerde doğal olarak az miktarlarda oluşan ilave besin öğeleri olarak kabul edilmektedir [24].

Literatürde, biyoaktif bileşenler “Fitokimyasal”, “Fitobileşikler”, “Nutrasötikler”, “İkincil metabolitler” ve geniş anlamda “Doğal ürünler” olarak ifade edilmektedir. Genel olarak, insan sağlığı üzerinde belirli farmakolojik etkiler sergilediği için “ikincil metabolitler” olarak tanımlanmaktadır [24]. Biyoaktif bileşenler sağlık üzerinde antioksidan, hiperkolesterolemi, antimikrobiyal, antihipertansif, antikanser, diyabet önleyici ve anti-inflamasyon etkilerinin yanısıra gıda kalitesi açısından da uzun raf ömrü ve daha iyi bir duyuşal özellik sağlamaktadır [25].

Katı ve sıvı yağlar gliserol ve yağ asitlerinden oluşan trigliseritlerin hakim olduğu bileşiklerdir. Henüz işlenmemiş ham bitkisel yağların %95’den fazlasını trigliseridler oluşturmaktadır [26]. Geri kalan %5’lik kısım monogliseridler, digliseridler, serbest yağ asitleri, fosfatidler, fitosteroller, yağ alkolleri, fenolik maddeler, tokoller (tokoferoller, tokotrienoller), hidrokarbonlar (skualen, karotenler vb.), iz metaller (demir, bakır, sülfür vb.), oksidasyon ürünleri, vakslar ve tat koku bileşenleri gibi minör bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenlerden; tokoller, fenolik maddeler, fitosteroller, çoklu doymamış yağ asitleri, karotenler ve skualen yağlarda bulunan önemli biyoaktif bileşenlerdir [27].

Bazı bitkilerden elde edilen yağlar insan sağlığı üzerinde pozitif etkiler gösteren biyoaktif bileşenleri yüksek miktarda içerdiklerinden “Özel Yağ” olarak sınıflandırılmaktadırlar. Kolza, kanola, fındık, aspir, ceviz, keten tohumu, ayçiçeği, aspir, susam, zeytin ve palm meyvesi yağları özel yağlara örnek verilebilir [28]. Bu yağlarda bulunan biyoaktif bileşenler karotenoidler ( $\beta$  karoten, likopen, lutein), çoklu doymamış yağ asitleri (linoleik asit,  $\alpha$ -linoleik asit, araşidonik asit), fitosteroller ( $\beta$ -sitosterol, stigmasterol, kampesterol), skualen, fenolik maddeler (ellagik asit, benzoik asit, kateşin) ve tokoferollerdir [24, 28]. Susam tohumu insan sağlığı üzerinde olumlu etkileri ile birlikte sayısız etkilere sahip besin bileşenlerinin rezervuarıdır. Yağında bulunan biyoaktif bileşenlerin varlığının yanısıra sadece susama özgü yüksek antioksidan özelliğe sahip lignanlar (sesamin, sesamolin ve sesamol), reaktif oksijen türlerine karşı savunma mekanizması sağlar ve oksidatif ransiditeyi önleyerek yağın kalitesini korur [29]. Susam tohumu yağının biyoaktif bileşenleri dağılımı Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



**Şekil 2.9.** Susam tohumu yağının biyoaktif bileşenleri dağılımı [22]

Çoklu Doymamış Yağ Asitleri: linoleik, linolenik, araşidonik yağ asitleri gibi esansiyel yağ asitleri en önemlileridir [26]. Susamın yağ asidi bileşimi, yaklaşık %80 doymamış yağ asidi ve %20 den az oranda doymuş yağ asidinden oluşmaktadır. Susam yağı esas olarak %35-50 linoleik asit, %35-45 oleik asit, %3.5-6 stearik asit ve %7-12 palmitik asitlerden oluşmaktadır. Linolenik asit ise iz miktarda bulunmaktadır [21]. Yağlarda bulunan çoklu doymamış yağ asitlerinin, doymuş yağ asitlerine oranı önemli bir kalite faktörüdür [13]. Bu oran ne kadar fazla olursa, yağların besin değeri ve biyoaktif bileşen olarak sağlığa faydası da okadar artmaktadır. Çalışmalar çoklu doymamış yağ asitlerinin hafıza, görme ve büyüme fonksiyonlarında iyileşme, kan basıncında azalma, pıhtılaşma eğilimi gibi olumlu etkilerinin olduğunu ortaya koymuştur [6, 26].

Fitosteroller: ham yağların sabunlaşmayan kısmının en önemlisidir. Susam yağının sabunlaşmayan madde oranı (%1.8) diğer yağlar ile karşılaştırıldığında nispeten yüksektir [6, 26]. Sterol esterleri, sterol glukozitler veya esterleşmiş sterol glukozitler olarak bulunmaktadır. Ancak serbest steroller ve sterol esterleri genellikle fitosterollerin baskın formlarıdır. Susam yağında üç sınıf sterol arasında başlıca desmetil sterol (%85-89), monometil (%9-10) ve dimetil (%2-4) en önemlileridir. Susam yağında bulunan başlıca steroller;  $\beta$ -sitosterol, stigmasterol ve kampesterol'dür. Fitosterol kan kolesterolü düşürücü etkisi nedeniyle kardiyovasküler hastalıkların korunmasında etkilidir.  $\beta$ -sitosterol, kolon, prostat ve meme kanser hücrelerinin büyümesini engellemektedir. Ayrıca,  $\Delta^7$ - ve  $\Delta^5$ -avenasterol yüksek sıcaklıklara maruz kalındığında yağlarda anti-polimerizasyon aktivite göstererek

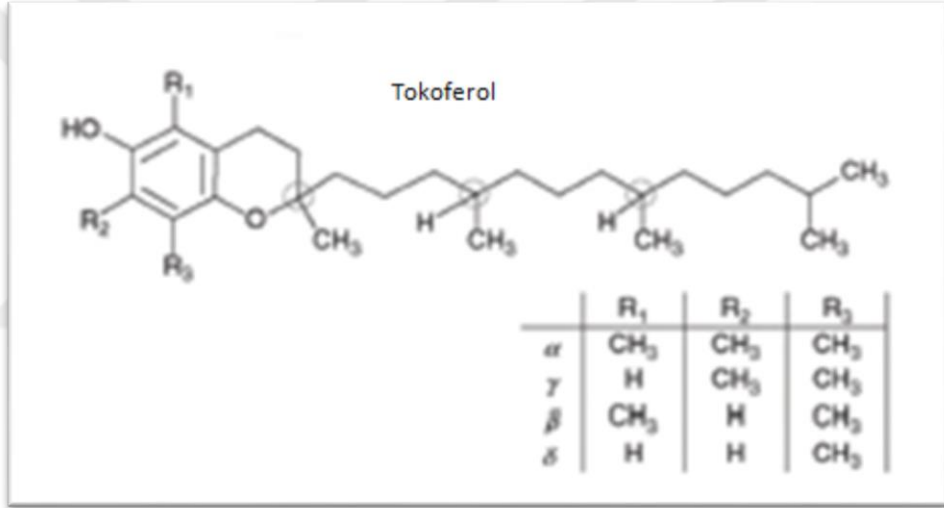
oksidatif stabiliteyi yükseltmektedir. Özellikle soya yağı, ayçiçek yağı, mısır yağı ve susam yağı gibi çoklu doymamış yağ asitlerini yüksek oranda içeren yağların termal stabilitesi ile sterol içeriği arasında ilişki olduğu yapılan çalışmalarla belirlenmiştir [6]. Beyaz ve kahverengi susam çeşitleri fitosterol içeriği bakımından karşılaştırıldığında kahverengi çeşitlerin beyaz çeşitlerden daha yüksek fitosterol içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir [29].

Fenolik Maddeler: doğal fenolik bileşikler, bitkisel dokularda yaygın olarak bulunan ikincil metabolitlerdir. Fenolik maddeler yapısal olarak bir veya birden fazla hidroksil grubun bağlandığı aromatik halka içeren biyoaktif bileşiklerdir. Fenoliklerin antioksidan potansiyeli çok yüksektir, çünkü bu bileşikler elektronları kullanan kararlı radikal ara ürünleri üretebilirler. Antioksidatif potansiyelleri nedeniyle yenilebilir yağların stabilizasyonunda ve off-flavor oluşumundan korunmada önemli rol oynarlar. Susam tohumu ve yağının çeşitli sağlık özellikleri ile birlikte antioksidan özellikleri, sesamin, sesamolin, sesaminol, sesangolin, 2-epizalatin, tokoferol izomerleri ve lignanlar gibi bileşiklerin varlığına da bağlıdır. Susam yağı kimyasal olarak sesamol ve sesamol dimer fenolik bileşiklerin varlığı nedeniyle oksidatif bozulmaya son derece dayanıklıdır [22].

Fitatlar: fitik asitin tuzları fitat olarak tanımlanmaktadır. Fitik asit (myo-inositol-1,2,3,4,5,6-hexakis dihidrojen fosfat) en önemli fosfor kaynağı ve biyoaktif bileşendir. Bitkisel tohumlarda ve baklagillerin olgunlaşmasında önemli ölçüde fitik asit birikmektedir. Yağlı tohumlarda (susam, ayçiçeği, soya fasulyesi, keten ve kolza vb) ve baklagillerde fitik asit oranı sırasıyla %1-5.4 ve %0.2-2.9 arasında değişmektedir. Fitatlar insan sağlığı üzerinde antikanserojenik ve hipokolestrolemik etkiye sahiptir [22]. Fitatların etkisi fazla serbest demiri bağladığı antioksidan etki ile ilişkilidir, böylece serbest radikallerin oluşumunu önlemektedir [29].

Tokoller: bitkisel yağların biyoaktif bileşeni olup bitkiler tarafından sentezlenen monofenolik ve lipofilik bileşiklerdir [27]. Tokollerin türevlerinden olan tokoferoller ve tokotrienoller pek çok bitkisel yağda doğal olarak bulunan önemli iz bileşenlerdir. Bunlar aromatik tokol halkasına bağlanan metil gruplarının yeri ve sayısına göre 7 gruba ayrılmaktadır. Tokoferollerin  $\alpha$ -izomeri; 5,7,8 trimetil tokol,  $\beta$ -izomeri; 5,8 dimetil tokol,  $\gamma$ -izomeri; 7,8 dimetil tokol,  $\delta$ - izomeri; 8 metil tokol olarak adlandırılmaktadır [26]. Tokoferol izomerik yapısı Şekil 2.10'da

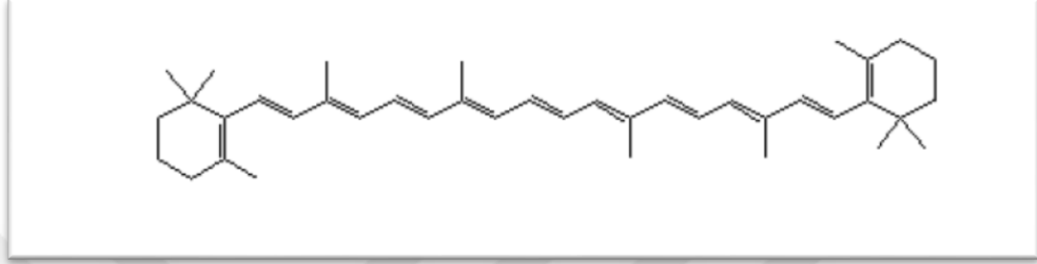
gösterilmiştir. Tokoferoller arasında  $\alpha$ -tokoferol beslenme açısından E vitamini aktivitesi en yüksek ve insan sağlığı açısından en önemli çeşittir [6]. Tokoferoller yağlarda stabiliteyi etkileyen en önemli doğal antioksidanlardır. Tokoferollerin antioksidan aktivitelerinin azalış düzeni delta ( $\delta$ ), beta ( $\beta$ ), gama ( $\gamma$ ) ve alfa ( $\alpha$ ) sırasını takip eder. Isı ve ışığa karşı hassas olup karanlıkta daha etkilidirler [26]. Tohum kabuk rengine ve türüne bakılmaksızın,  $\gamma$ -tokoferol (%96-98) susam yağında baskın tokoferol iken,  $\delta$ -tokoferol toplam tokoferollerin %5'inden azını oluşturmaktadır.  $\alpha$ -tokoferol ise eser miktarda bulunur [11]. Farklı tokoferol izomerleri arasında  $\gamma$ -tokoferolü yüksek olan yağların oksidasyona karşı dayanıklılığı da fazladır [27]. Susam yağında bulunan lignanlar ile  $\gamma$ -tokoferol kombinasyonu sinerjik bir etki yaratarak yağın stabilitesini artırıcı etkiye sahiptir [11].



**Şekil 2.10.** Tokoferolün izomerik yapısı [29]

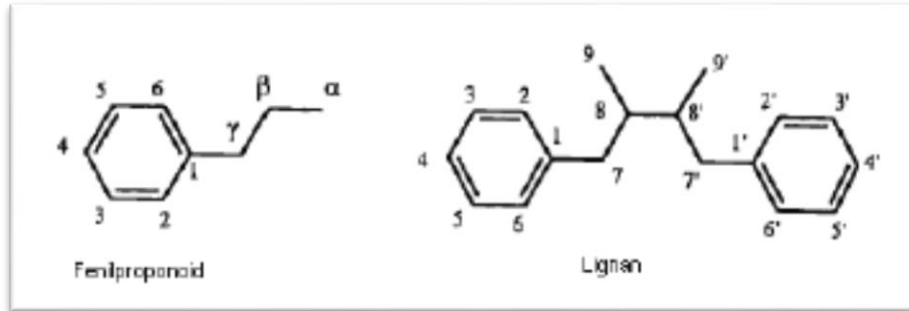
Karotenoidler: yüksek derecede doymamış izoprenoidlerdendir. Çift bağların konjuge oluşundan renklidirler, 5 karbonlu sekiz izoprenoidin yan yana dizilmesiyle 40 karbonlu merkezi bir iskeletten oluşan ve yalnızca bitkiler tarafından sentezlenen bileşiklerdir. Karotenoidler yağın sabunlaşmayan bileşiklerinden olup karotenler ve ksantofiller olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar [26]. Karotenler saf hidrokarbonlardır ve yağın görünüşü üzerinde etkileri büyük olup yağların sarı rengini vermektedirler. Karotenlerin en çok bilineni ve en önemlisi  $\beta$ -karotendir [27].  $\beta$ -karotenin kimyasal yapısı Şekil 2.11'de gösterilmiştir.  $\beta$ -karoten; A vitamini aktivitesi göstermekte olup klorofil kaynaklı fotooksidasyonu engelleyici özelliğe sahiptir.  $\beta$ -karotenin ışık varlığında, kuvvetli bir peroksidasyon inhibitörü olduğu

bilinmektedir. Ancak sıcaklığın yükselmesi ile oluşan ısıl bozunma ile bu etki zayıflamaktadır [27]. Ayrıca  $\beta$ -karoten ve  $\alpha$ - tokoferol birarada sinerjistik antioksidan etki göstermektedir. Karotenoidlerin antioksidan aktivitesi yapısındaki konjuge çift bağlardan ileri gelmektedir [30]. Klorofiller bitkilerde yeşil renkli maddeler olarak bilinirler. Klorofiller prooksidan özellikte olduklarından yağ stabilitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedirler [31].



**Şekil 2.11.**  $\beta$ -karotenin kimyasal yapısı [30]

Lignanlar: iki adet fenilproponoid yapısı birbirine (C6-C3)  $\beta$ - $\beta'$ bağı ile bağlandığında lignan adını alır. Lignanlar minör doğal bileşenler olarak bitkisel dokularda ve ağaç kabuklarında yaygın olarak bulunmaktadır [11]. Şekil 2.12'de lignan ve fenilproponoid kimyasal yapısı gösterilmiştir.

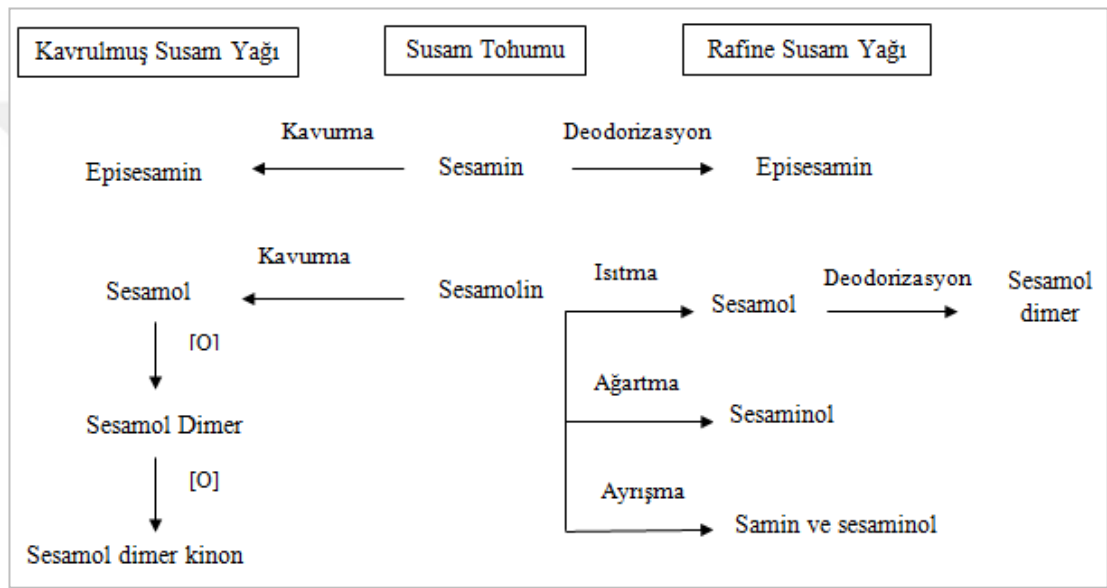


**Şekil 2.12.** Lignan ve fenilproponoid ve kimyasal yapısı [11]

Lignanlar, sesamin, sesamolin ve bunların türev glukozidleri susam tohumlarının önemli antioksidan özellikte biyoaktif bileşenleridir [12]. Sesamin (2,6-bis-(3,4-metilendioksifenil-cis-3,7-dioksabisiklo-[3.3.0]oktan), 2 koniferil alkol radikali ile bağlanır ve tipik lignan yapısındadır. Susam yağında %0.4-1.1 oranında bulunur. Sesamolin (2-(3,4-metilendioksifenil)-6-(3,4-metilendioksifenoksi)-cis-3,7-dioksabisiklo-[3.3.0]oktan), sesamin tipi yapıda bir asetal oksijen köprüsü içeren yapıdır ve susam tohumunun karakteristik lignanı olarak bilinmektedir. Yağda oranı

yaklaşık %0.3-0.6'dır [11, 22]. Sesamin ve sesamolin susam tohumunun iki majör lignanlarıdır. Lignanlardan sesamin diğer bitkilerde iz miktarda bulunurken sesamolin diğer bitkilerde bulunmayan sadece susamda bulunan en önemli ve karakteristik bileşendir [6]. Yağın oksidasyonunu önleyici, raf ömrü ve stabilitesini artırıcı özelliğe sahiptir [29].

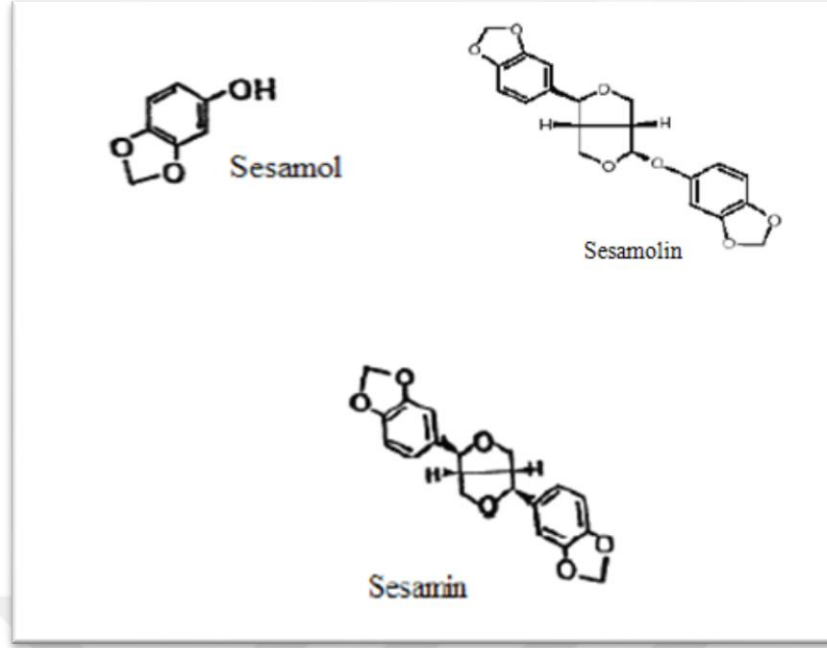
Sesamin ve sesamolin lignanları rafinasyon ve kavurma proseslerinde bir takım dönüşüm ürünleri meydana getirirler. Lignanların proses esnasında dönüşüm ürünleri Şekil 2.13'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.13.** Lignanların proses esnasında dönüşüm ürünleri [6]

Susam yağının yüksek oksidatif stabilitesi esas olarak bu susam lignanlarının dönüşüm ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Antioksidan aktiviteye sahip olan ve genellikle ham susam tohumu yağında eser miktarda bulunan sesamol, presyon ile yağ elde edilmeden önce susam tohumunun kavurma/ısıtma işlemi sırasında sesamolinin hidrolizinden meydana gelmektedir [6]. Şekil 2.14'de sesamol, sesamolin ve sesamin bileşiklerinin kimyasal yapıları gösterilmiştir.





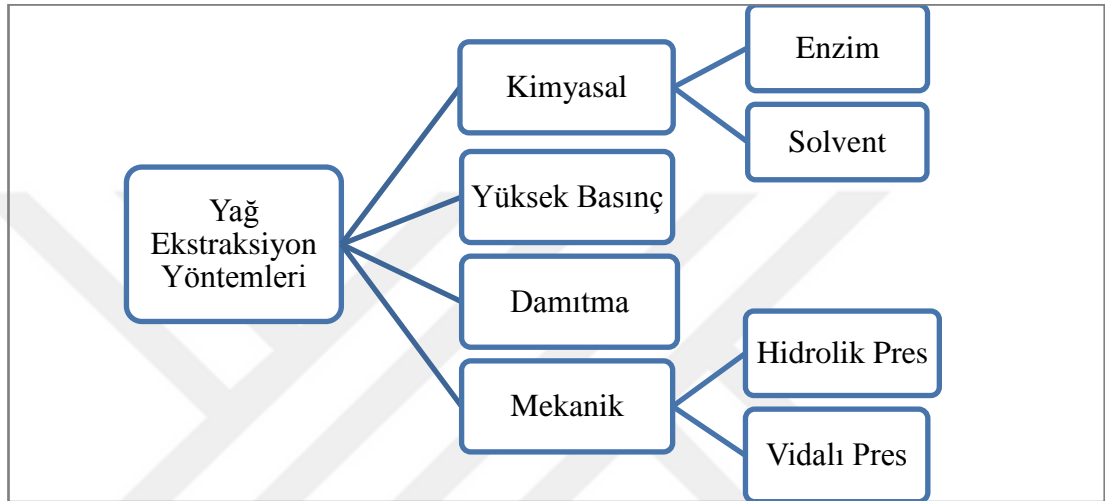
**Şekil 2.14.** Sesamol, sesamolignin ve sesamin bileşiklerinin kimyasal yapısı [11]

Sesamol (3,4-metilen-dioksi fenol) fenolik bir antioksidandır. Susam yağında iz miktarda bulunur. Her ne kadar iz miktarda bulunsada kızartma, kavurma, ağartma, depolama ve diğer işlem şartlarındada oluşabilmektedir. Sesamol ve sesamol dimer içerdiği fenolik hidroksil gruba bağlı olarak susamın en önemli antioksidan bileşikleridir [6, 11]. Susam yağının yüksek oksidatif stabilitesinin sesamole bağlı olduğu tahmin edilmektedir. Bu antioksidanların etkinlik dereceleri sesamol, sesamolignin ve sesamin şeklinde sıralanabilir [26].

Susam lignanlarının tokoferollerle E vitamini aktivitesi üzerine sinerjist etki gösterdiği ve insanlarda yağ asidi metabolizmasının spesifik inhibitörü olarak hareket ettiği bulunmuştur. Ayrıca tokoferol türevlerinden olan  $\gamma$ -tokoferol ve fenolik hidroksil grubu taşıyan (sesaminol, sesamol, episesaminol) lignanlar yüksek serbest radikal yakalama aktivitesi göstererek yağın oksidatif stabilitesini arttırmaktadır [11].

## 2.8. Soğuk Pres Yöntemi

Yağlı tohumlardan yağ ekstrakte etmede amaç mümkün olduğunca yağa az zarar verecek şekilde küspede kalan yağ miktarını minimum seviyede tutarak, hammaddeden mümkün olduğunca fazla ve en az safsızlığa sahip yağ elde etmektir. Bahsedilen ilkeler, yağ elde etme teknolojileri farklı olmasına rağmen, tüm geleneksel yağ ekstraksiyon yöntemleri için ortaktır [32]. Şekil 2.15’de yağlı tohumdan yağ ekstraksiyon yöntemleri şematize edilmiştir.



Şekil 2.15. Yağlı tohumdan yağ ekstraksiyon yöntemleri [32]

Soğuk pres yöntemi geleneksel yöntemler yerine kullanılan yöntemdir. Türk Gıda Kodeksi’ne göre “Soğuk pres yağları” tüketime doğrudan uygun olan mekanik yöntem kullanılmadan sadece ısı işlem ile elde edilen yağlar olarak ifade edilmektedir [33].

Soğuk pres mekanik ekstraksiyon yöntemlerinden biridir. Soğuk pres tekniği, ucuz ve kaliteli yağ üretimi sağlayan, herhangi bir kimyasal kirletici ve yüksek ısı etkisi olmaksızın maksimum 40 °C’de gerçekleştirilen mekanik bir işlemdir. Presleme işleminin devamında yağ sadece su ile yıkama, bekletme, filtrasyon ve/veya santrifüj işlemleri ile saflaştırılmaktadır. Bu yöntemle elde edilen yağlar içerisinde doğal olarak biyoaktif bileşenler yüksek oranda korunabilmektedir [32, 34]. Bu sebeple soğuk pres yağlar saf, yüksek kaliteli ve besin değeri yüksek olduğundan özel yağlar olarak kabul görmektedirler [34].

Soğuk pres yağlar biyoaktif bileşenlerce zengin olduğundan bitkisel yağ sektörünün en kıymetli ürünleridir. Başlangıçta kozmetik ve ilaç sanayinde tercih

edilselerde son yıllarda sofralarımızda da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [34]. Ancak soğuk pres yağlarderin yağda kızartma, kızartma ve pişirme gibi yüksek derecede ısı işlem gerektiren işlemlerde kullanıldığında onları değerli kılan besin ve kalite özelliklerinde bir takım kayıplar meydana gelmektedir [35].

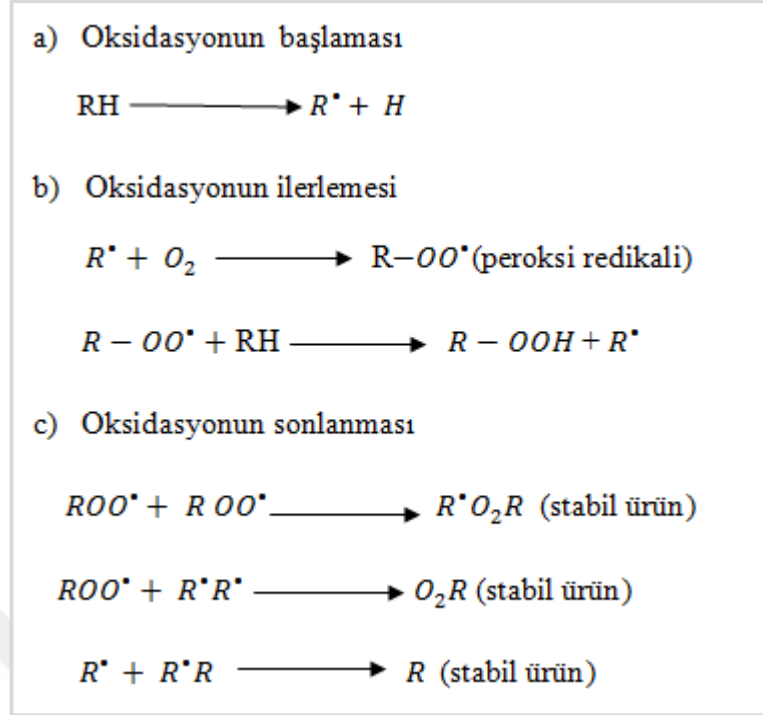
Soğuk pres yağlar rafine yağlara kıyasla daha yüksek besin değerine sahiptir. Organik çözücü içermediğinden ve özellikle metal bulaşması olmadığından trans yağ asitleri ve kloropropanollerin (MCPD) oluşumları görülmemektedir. İçerdiği doğal minör bileşenlerden kaynaklanan duyuşal özellikler ve sağığına yararları nedeniyle değeri giderek artmaktadır [32, 34].

Soğuk pres tekniğinin avantajları diğere ekstraksiyon yöntemlerine göre daha az enerji gerektirmesi, çevre dostu olması, besin değeri yüksek, güvenilir, uygun duyuşal özelliklere sahip ürün eldesi, basit kullanımı, sürecin hızlı şekilde ve kısa bir sürede gerçekleşmesi, az miktarda hammaddenin kullanılması, farklı yağlı tohumlara uygulanması ayrıca yan ürün olarak zengin protein içerikli kek eldesi gibi olumlu özelliklere sahip ve düşük maliyetli yağ üretimi sağlamasıdır. Dezavantajları ise düşük yağ verimi ve standart kalitede yağ elde edilmesidir [32, 34].

Soğuk pres yöntemiyle yağ eldesinde ürün verimini etkileyen parametreler; hammaddenin özellikleri (kabuklu-kabuksuz, nem içeriğı, yağ içeriğı ve hammadde türü), besleme hızı, sıcaklık (sıcak veya soğuk), vida dönüş hızı, küspe çıkış başlığı, boyutu ve ön işlemlerdir [32].

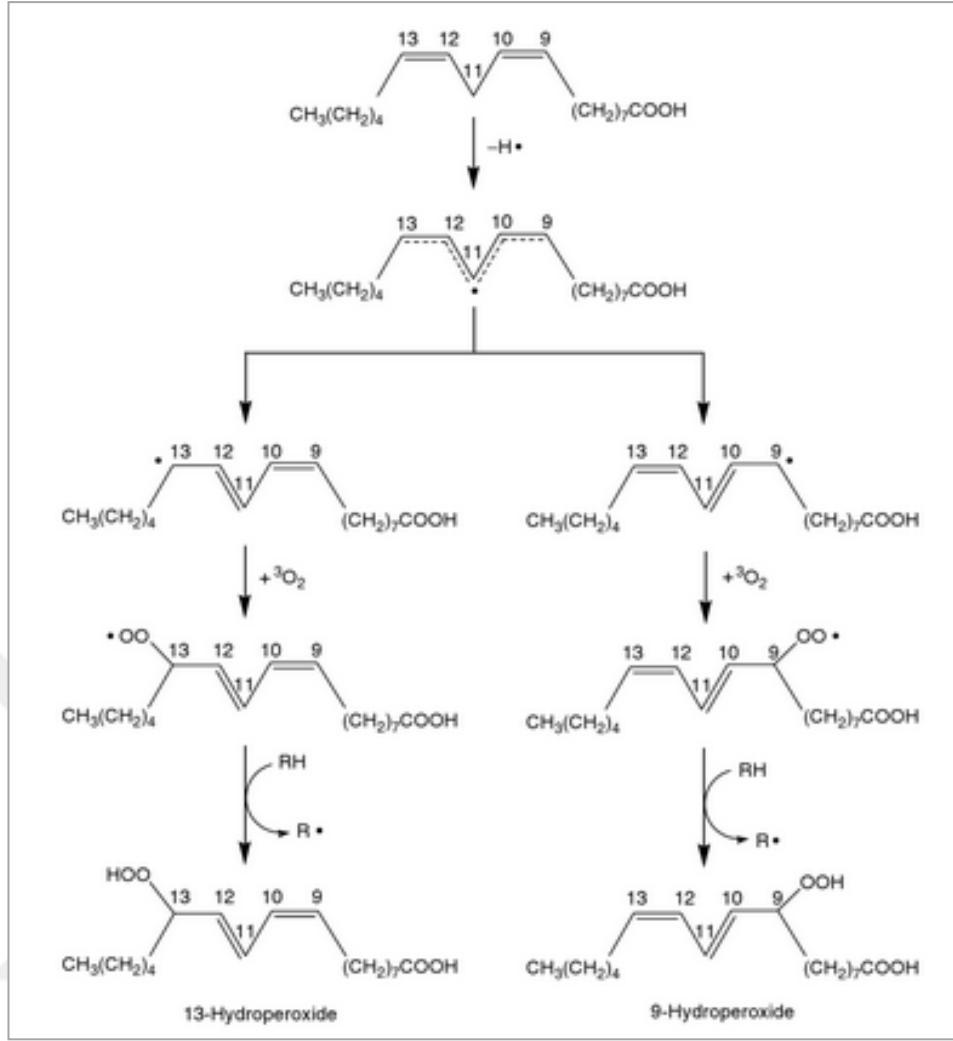
## **2.9. Lipit Oksidasyonu**

Yağlarda ve yağ içeren gıda maddelerinde oksidasyon, yağların kalite ve beslenme değerini olumsuz etkileyerek istenmeyen tat ve koku oluşmasına neden olan en önemli bozulma reaksiyonlarından biridir. Lipit oksidasyonu en yaygın adıyla otooksidasyon, çok sayıda birbiri içine geçmiş bir dizi karmaşık reaksiyonları içeren oldukça kompleks bir mekanizmadır. Sıcaklık, ısıya maruz kalma süresi, oksijen varlığı, ambalaj yapısı, doymamışlık düzeyi, anti- ve prooksidan varlığı oksidasyonu etkileyen faktörlerdir [36]. Lipit oksidasyonu zincir reaksiyonları Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



**Şekil 2.16.** Lipit oksidasyonu zincir reaksiyonları [36]

Yağlarda ve yağ içeren diğer gıda maddelerinde oksidasyon sonucu kimyasal değişim meydana gelmektedir. Değişim sonunda sadece renk ve tat bakımından değil aynı zamanda insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilecek farklı oksidasyon tepkime ürünleride meydana gelmektedir. Oksidasyon ürünleri birincil ve ikincil bozulma ürünleri olarak sınıflandırılmaktadır [26]. Şekil 2.17’de linoleik asidin oksidasyon basamaklarının gösterimi verilmiştir.



**Şekil 2.17.** Linoleik asidin oksidasyon basamakları [37]

Birincil oksidasyon ürünleri olan hidroperoksitler kararsızdır ve ayrışmaya duyarlıdır. Hidroperoksitler sıcaklığın yükselmesi ve ortamdan metal bulaşması (metal taşıma, toplama kapları ve klasik pres) sonucu alkoksi radikallerine parçalanırlar ve aldehit, keton, alkol ve hidroksi asitler gibi istenmeyen bileşiklere dönüşürler [36]. Bu bileşikler ikincil oksidatif ürünleri olup yağın kalitesinin bozulmasına, kötü tat ve koku değişimine neden olmaktadır. Metaller katalitik etkisinden dolayı oksidasyon hızını arttırmaktadırlar. İkincil oksidatif bozulma ürünleri TBA testi ve *p*-anisidin, Totox, yağ stabilite indeksi ve karbonil bileşiklikleri tespiti yöntemleri ile ölçülmektedir [6].

### 2.10. Hızlandırılmış Oksidatif Stabilite Belirleme Metotları

Oksidatif stabilite ölçümü gıda raf ömrünü tahmin edebilmek amacıyla kullanılan hızlandırılmış testlerdir. Otoksidasyon normal çevre koşullarında

yeterince yavaş ilerlediğinden bir ürünün raf ömrünü tahmin etmede hızlandırılmış yöntemler tercih edilmektedir. Katı ve sıvı yağlar yüksek sıcaklık (60-140 °C), kısmi basınç oksijeni, metal katalizörler gibi etkenlere maruz kaldıklarında bozulma reaksiyonları hızlanarak stabilite etkilenmektedir. Yağların oksidasyon kararlılıklarının tespit edilmesinde en çok kullanılan yöntemler ise Schaal oven testi, Aktif oksijen ve Ransimat metodlarıdır [38].

### **2.11. Tezin Amacı**

Bu çalışmada soğuk pres yöntemi kullanılarak Türkiye’de yetiştirilen, tescilli 6 farklı susam tohumundan elde edilen susam yağlarının renk, kırılma indisi, sabunlaşma sayısı, iyot sayısı, serbest yağ asitliği, toplam fenol miktarı, toplam klorofil ve toplam karotenoid miktarları gibi fizikokimyasal özellikleri belirlenerek, yağ asidi kompozisyonu, fenolik bileşik içeriği, sterol kompozisyonu, tokoferol içeriği gibi bazı biyoaktif bileşenlerinin de tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca yağların antioksidan aktiviteleri belirlenerek uygulanacak olan Schaal oven testi ile de oksidatif stabilitelerinin tespit edilmesi amaçlar arasında yer almaktadır. Bu kapsamda 0., 1., 2., 3., 4., 7., 9., 11., 14. ve 21. günlerde peroksit sayısı, konjuge-dien ve *p*-anisidin değerleri ölçülerek çeşitler arası oksidatif stabilite farkı ortaya konulmuş olacaktır. Bu amaç doğrultusunda elde edilecek soğuk pres susam tohumu yağlarında tam bir karakterizasyon tespitinin yapılması hedeflenmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada Türkiye’de yetiştirilen tescilli 6 farklı susam çeşidi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan susam çeşitleri Şekil 3.1 ve susam çeşitlerine ait renk özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Örnekler her çeşitten birer kilogram olmak üzere Antalya’da bulunan Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü’nden temin edilmiştir. Susam tohumları yağa işleninceye kadar kapalı paketlerde buzdolabında +4 °C’de depolanmıştır.



Şekil 3.1. Çalışmamızda kullanılan susam çeşitleri

**Tablo 3.1.** Susam çeşitlerine ait renk özellikleri

Çeşit Adı	Renk
Özberk-82	sarı-kahverengi
Gölmarmara	beyaz
Muganlı-57	sarı-kahverengi
Batem Aksu	kahverengi
Batem Uzun	sarı-kahverengi
Baydar-2001	sarı-kahverengi

### 3.2. Yöntemler

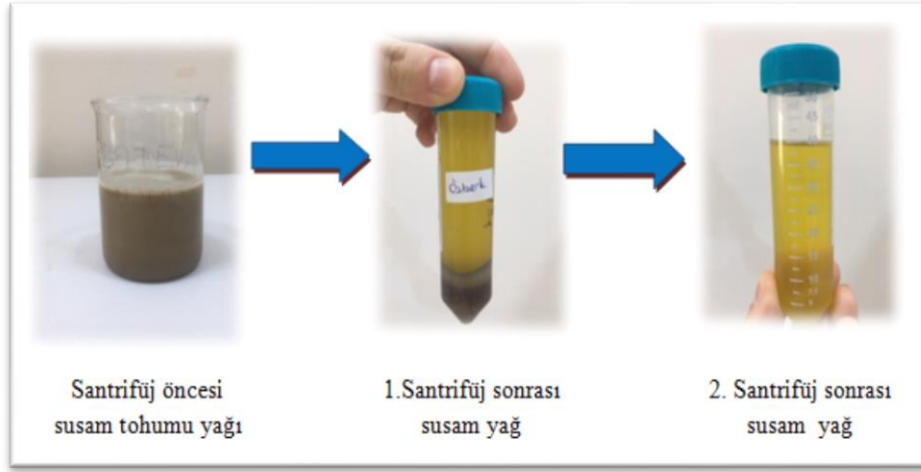
#### 3.2.1. Soğuk Pres Yöntemi ile Yağ Eldesi

Soğuk pres yöntemiyle yağ eldesinde Ergönül ve Özbek (2018) [39]'in uyguladığı yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla Toper marka soğuk pres makinesi kullanılmıştır. Soğuk pres yöntemiyle susam yağı eldesi Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Yağ sıkımı sırasında soğuk pres cihazının sıcaklığı 40 °C olarak ayarlanmıştır. Soğuk pres ünitesinden alınan yağlar, soğutmalı santrifüjde (Nüve, NF800R) 4000 devir/20 dk, 15 °C'de 2 kez santrifüj edilmiştir. Santrifüj öncesi ve sonrası susam yağlarının görünümü Şekil 3.3'de ve her bir çeşide ait santrifüjlenmiş soğuk pres susam yağları Şekil 3.4'de verilmiştir. Yağlar daha sonra azot gazı altında kapatılarak amber renkli cam şişelerde analiz edilinceye kadar +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

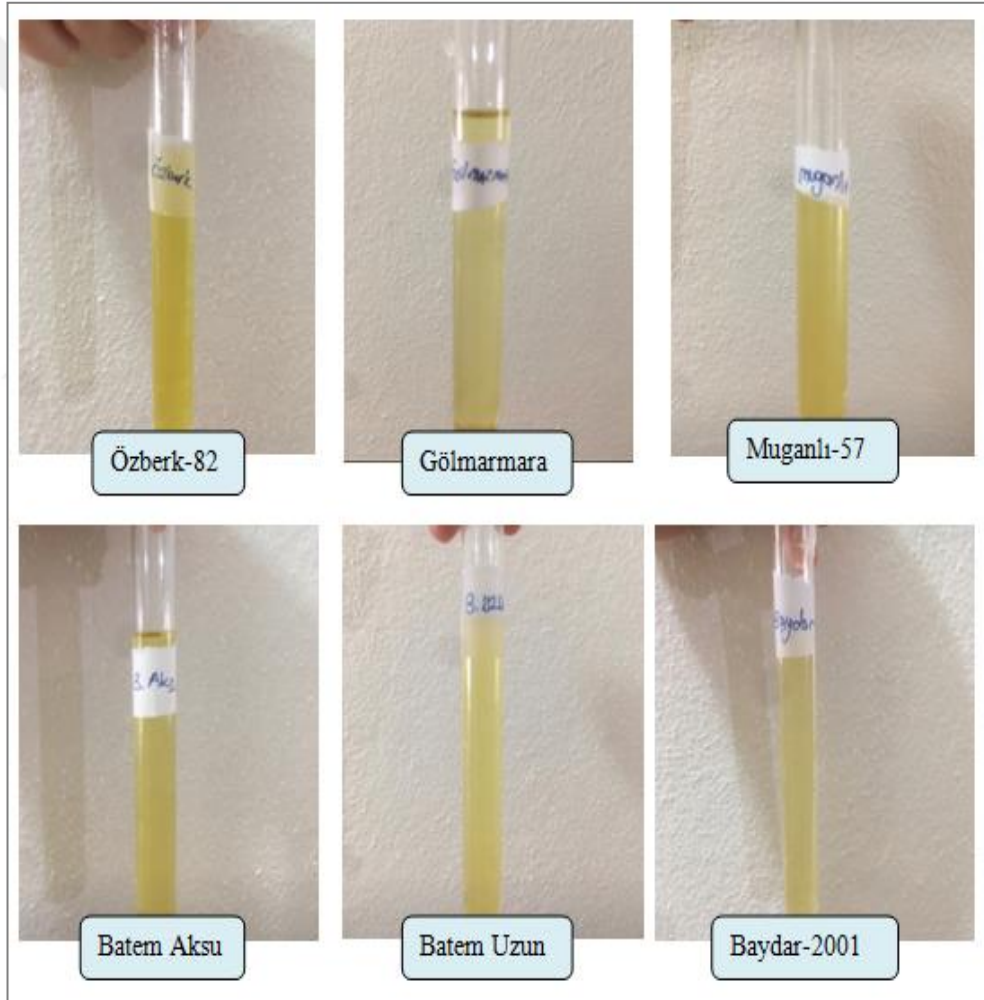


**Şekil 3.2.** Soğuk pres yöntemiyle susam yağı eldesi





Şekil 3.3. Santrifüj öncesi ve sonrası susam yağı görünümü



Şekil 3.4. Her bir çeşide ait santrifüjlenmiş soğuk pres susam yağları

### 3.2.2. Fizikokimyasal Analizler

#### 3.2.2.1. Renk Değerleri Tayini

Lovibond PFX880-Tintometre cihazı kullanılarak standart AOCS metoduna göre ölçüm yapılmıştır [40]. Renk ölçümünde CIE sistemi kullanılarak yağların L\* (100: beyaz, 0: siyah), a\* (+:kırmızı, -:yeşil) ve b\* (+:sarı , -:mavi) değerleri tespit edilmiştir.

#### 3.2.2.2. Kırılma İndisi

Yağ numunelerinin kırılma indisi tayini Türk Standardı'nda yer alan TS 4960 EN ISO 632 Metodu'na göre belirlenmiştir [41]. Kırılma indisi tayini Abbe Dijital Refraktometre (SOIF) kullanılarak yapılmıştır. Refraktometrenin kalibrasyonu için öncelikle saf suyun kırılma indisi 20 °C'de 1.3330 olacak şekilde ayarlanmıştır. İki prizma arası numune ile tamamen doldurulmuştur. Sıcaklığın en az 5 dk değişmemesi sağlandıktan sonra kırılma indisi virgülden sonra 4 haneye kadar okunmuştur. Okumanın yapıldığı sıcaklığa göre düzeltme yapılmıştır. Kırılma indisi değeri denklem 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$n_t = n_{t_1} + (t_1 - t) * F \quad (3.1)$$

t : Standart sıcaklık, 20 °C

t<sub>1</sub> : Okumanın yapıldığı sıcaklık, °C

n<sub>t</sub> : Standart sıcaklıktaki kırılma indisi

F : 20 °C civarında 0.00035 olan düzeltme katsayısı

#### 3.2.2.3. Sabunlaşma Sayısı Tayini

Susam yağının sabunlaşma sayısı IUPAC 2.202 Metoduna göre yapılmıştır [42]. Yaklaşık 2 g yağ örneği balon içerisine tartılmıştır. Üzerine 25 mL etanollü potasyum hidroksit çözeltisi konulmuştur. Balon geri soğutucuya bağlanıp, ara sıra karıştırmak suretiyle 60 dk süreyle kaynatılmıştır. Bu süre sonunda, geri soğutucunun içi balona doğru yıkanmıştır. 4-5 damla fenolftalein (%1; v/v) indikatörü damlatılarak 0.5 N hidroklorik asit (HCl) (%37; v/v) çözeltisi ile renksiz nokta yakalanıncaya kadar titrasyon edilmiştir. Aynı işlemler bir de kör çözelti için yapılmıştır. Sabunlaşma sayısı denklem 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Sabunlaşma sayısı (mg KOH/g)} : \frac{V_{Kör} - V_{Örnek}}{m} \times 28.05 \quad (3.2)$$

$V_{Kör}$  : kör (sahit) için harcanan HCl çözeltisinin mL'si

$V_{örnek}$  : yağ örneği için harcanan HCl çözeltisinin mL'si

$m$  : örnek miktarı (g)

#### 3.2.2.4. Serbest Yağ Asitliği Tayini

AOCS Ca 5a-40 metoduna göre tespit edilmiştir [43]. 2.5 g yağ örneği erlene tartılmış, 25 mL etil alkol/dietileter karışımı (1:1; v/v) içerisinde çözündürülmüştür. Daha sonra, 2-3 damla fenolftaleyin indikatörü damlatılarak 0.1 N etanollü potasyum hidroksit (KOH) çözeltisi ile kalıcı pembe renk oluşuncaya kadar titrasyon edilmiştir. Aynı işlemler kör çözelti için yapılmıştır. Yağların serbest yağ asitliği miktarı % oleik asit cinsinden denklem 3.3 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\% \text{ Serbest yağ asidi, oleik asit} = \frac{(V_1 - V_0) \times N \times 28,2}{m(g)} \quad (3.3)$$

$V_1$  : Örneğin Titrasyonda harcanan etanollü KOH çözeltisinin miktarı (mL)

$V_0$  : Kör (sahit) için harcanan etanollü KOH çözeltisinin miktarı (mL)

$N$  : Etanollü KOH normalitesi (0.1 N)

$m$  : Tartılan örnek ağırlığı (g)

#### 3.2.2.5. İyot Sayısının Belirlenmesi

Yağ örneklerinin iyot sayısı IUPAC 2.205 Metoduna göre belirlenmiştir [44]. Yağ örneğinden 0.2 g alınarak 0.001 g duyarlılıkta tartılmıştır. Yağ 10 mL karbontetraklorür ile çözündürülmüştür. Daha sonra üzerine 25 mL hanus çözeltisi ilave edilerek yavaşça çalkanmıştır ve erlenin kapağı kapatılarak bir saat karanlıkta bekletilmiştir. Süre sonunda 20 mL KI (potasyum iyodür) (%10; v/v) çözeltisi ve 100 mL saf su ilave edilmiştir. İndikatör olarak 1mL nişasta(%1; v/v) çözeltisi ilave edildikten sonra 0.1 N sodyum tiyosülfat çözeltisi ile renksiz (mavi renk kaybolana dek) hale gelinceye kadar titrasyon edilmiştir. Aynı işlemler kör çözelti için yapılmıştır. Yağların iyot sayıları denklem 3.4 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{İyot sayısı (g/100g)} = \frac{0.1269 \times (V_{\text{kör}} - V_{\text{örnek}}) \times N \times F \times 100}{m} \quad (3.4)$$

$V_{\text{kör}}$  : kör deneme için yapılan sarfiyat (mL)

$V_{\text{örnek}}$  : örnek deneme için yapılan sarfiyat (mL)

$N$  : ayarlı sodyum tiyosülfat çözeltisinin normalitesi (0.1 N)

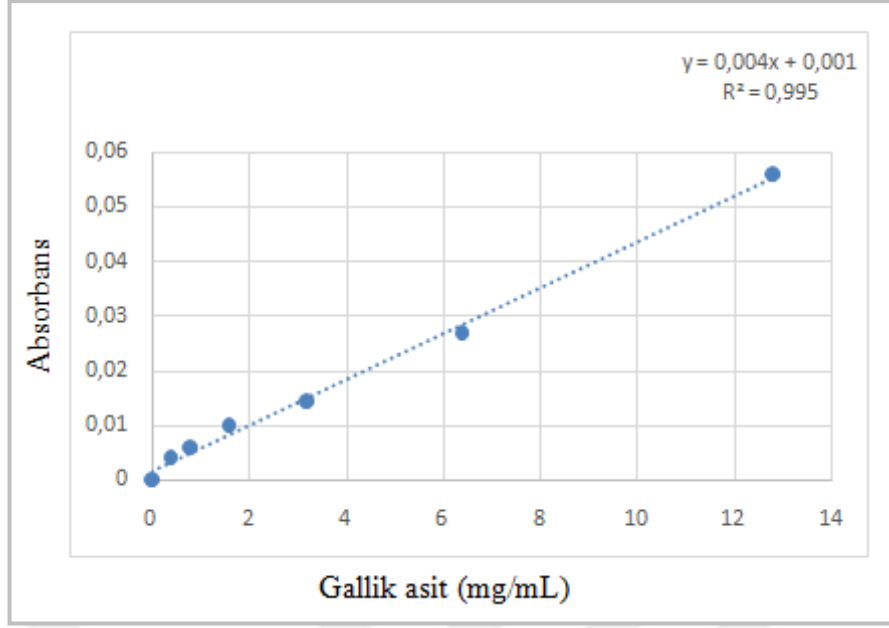
$F$  : ayarlı sodyum tiyosülfat çözeltisinin faktörü

$m$  : örnek miktarı (g)

### 3.2.3. Toplam Fenolik Madde Miktarının Belirlenmesi

Yağların toplam fenolik madde miktarının belirlenmesinde Gutfinger (1981) tarafından önerilen Folin-Ciocalteu Spektrofotometrik yöntem modifiye edilerek uygulanmıştır [45]. Fenolik madde ekstraksiyonu için 1 g yağ 5 mL n-hekzanda çözünerek 5 mL metanol/su (60;40: v/v) ile 2 dk vortekste karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra iki fazın kolaylıkla ayrılabilmesi için 3500 devir/10 dk sanrifüj edilmiştir. Tüplerin üst kısmında ayrılan metanolik fazdan pipetle 1 mL, 25 mL'lik balon jöjeye aktarılarak üzerine 5 mL saf su ve 0.5 mL Folin-Ciocalteu ayırıcından eklendikten sonra 3 dk karanlıkta bekletilmiştir. Süre sonunda balonjöjeye 1 mL sodyum karbonat (%17.5'lik) ilave edilerek saf suyla tamamlanıp 2 saat sonra absorbansları mikropilaka okuyucuda (Thermo Scientific, Multiskan Go) 725 nm de kör çözeltiye karşı ölçülmüştür.

Standart çözeltilerin hazırlanması ve kalibrasyon grafiğinin çizimi: Toplam fenolik madde analizinde, kalibrasyon grafiğinin hazırlanmasında gallik asit standart çözeltisi kullanılmıştır. Gallik asit standart kalibrasyon grafiği Şekil 3.5'de verilmiştir. Kalibrasyon grafiği hazırlığı için 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4 ve 12.8 mg/L konsantrasyonlarında gallik asit çözeltileri metanol ile hazırlanmıştır. Hazırlanan bu dilüsyonlara Folin-Ciocalteu metoduna göre örneklere uygulanan tüm işlemler uygulanmıştır. Sonrasında hazırlanan standart çözeltilerin mikropilaka okuyucuda (Thermo Scientific, Multiskan Go) 725 nm'de absorbans değerleri ölçülmüştür.

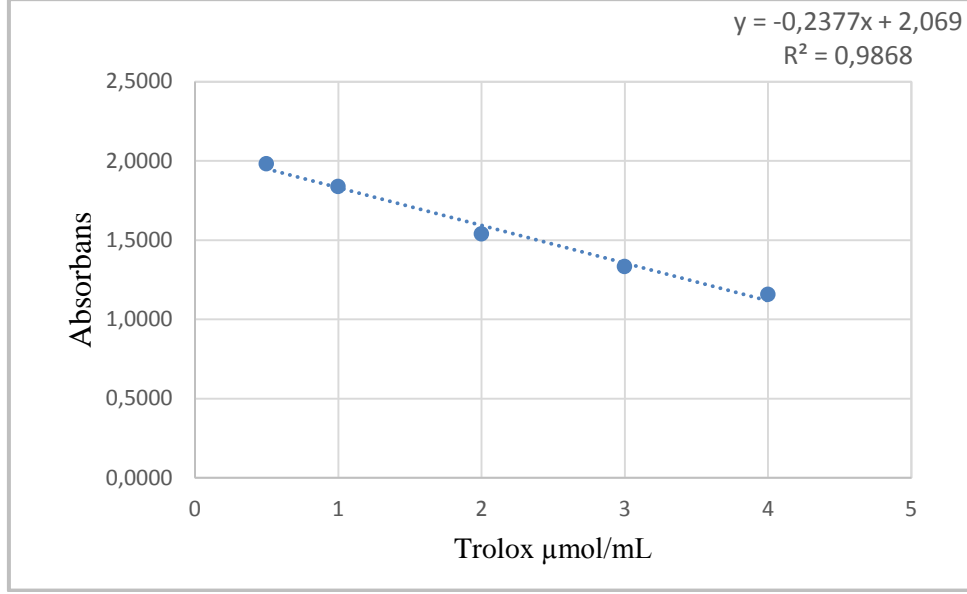


Şekil 3.5. Gallik asit standart kalibrasyon grafiği

#### 3.2.4. DPPH Metodu ile Antioksidan Aktivite Tayini

Rotondi ve ark'nın (2004) uyguladığı yöntem modifiye edilerek DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) radikali kullanılarak belirlenmiştir [46]. Metot ekstraktların bir proton verebilme yeteneğinin, mor renkli DPPH çözeltisinin rengini açması esasına dayanır. Reaksiyon karışımının absorbansının düşmesi yüksek serbest radikal giderme aktivitesinin göstergesidir. 0.5 g yağ alınarak üzerine 2.5 mL metanol ilave edilmiştir. 10 dk vortekste karıştırıldıktan sonra 3500 devir/10 dk santrifüj edilmiştir. Böylece metanolik ve yağ olmak üzere iki faz elde edilmiştir. Tüplerin üst kısmından ayrılan metanolik fazdan pipetle 0.2 mL 10 mL'lik kahverengi şişelere alınarak üzerine 3.8 mL DPPH (100µmol) çözeltisi ilave edilmiş ve 15 dk karanlıkta bekletilmiştir. Süre sonunda mikropilaka okuyucuda (Thermo Scientific, Multiskan Go) 517 nm dalga boyunda kör çözeltiliye (metanol) karşı absorbansları ölçülmüştür.

Standart çözeltilerin hazırlanması ve kalibrasyon grafiğinin çizimi: bu amaçla Troloks standart çözeltisi kullanılmıştır. Troloks standardı kalibrasyon grafiği Şekil 3.6'da verilmiştir. Kalibrasyon grafiği hazırlığı için 0.5, 1, 2, 3, ve 4 µmol/mL konsantrasyonlarında Troloks eşdeğer standart çözeltileri metanol ile hazırlanmıştır. Hazırlanan bu dilüsyonlara da DPPH metoduna göre örneklerle uygulanan tüm işlemler uygulandıktan sonra mikropilaka okuyucuda (Thermo Scientific, Multiskan Go) 517 nm'de absorbansları ölçülmüştür.



**Şekil 3.6.** Troloks standardı kalibrasyon grafiği

### 3.2.5. Biyoaktif Bileşenler Analizleri

#### 3.2.5.1. Toplam Klorofil ve Toplam Karotenoid İçeriklerinin Tespiti

Yağların toplam karotenoid miktarları Franke ve ark'nın (2010) uyguladığı yöntem modifiye edilerek tespit edilmiştir [47]. 2 g soğuk pres yağ 10 mL'lik balon joje içerisine tartılmış ve 8 mL petroleteri/aseton (1:1; v/v) çözeltisi içerisinde çözündürülmüştür. Örnek absorbansları, petrol eteri/aseton (1:1; v/v) kör çözeltisine karşı Spektrofotometrede (Shimadzu, UV-1601) 445 nm dalga boyunda ölçülerek toplam karotenoid miktarı mg/100g olarak ifade edilmiştir. Toplam karotenoid miktarı denklem 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Karotenoid miktarı (mg/100g)} = \frac{A \times Y_{mL} \times 10^6}{A_{1cm}^{\%} \times 1000 \times g} \quad (3.5)$$

A : 445 nm'de ölçülen absorbans miktarı

y : ekstraksiyon çözeltisinin miktarı (mL)

$A_{1cm}^{\%}$  : karotenoid molekülünün ortalama absorpsiyon katsayısı  
(2500 dL/g/cm)

g : örnek miktarı (gram)

Toplam klorofil miktarının tespitinde ise IUPAC standart metodu uygulanmıştır [48]. Örneklerin absorbansları Spektrofotometrede (Shimadzu, UV-

1601) sırasıyla 630, 670 ve 710 nm dalga boylarında ölçülmüştür. Toplam klorofil miktarı mg feofitin a/kg olarak ifade edilmiştir. Toplam klorofil miktarı denklem 3.6 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam klorofil miktarı (mg feofitin a/kg)} = \frac{345,3 \times (A_{670} - (0,5 \times A_{630}) - (0,5 \times A_{710}))}{L} \quad (3.6)$$

L: Spektrofotometre küvet kalınlığı (mm)

### 3.2.5.2. Yağ Asidi Kompozisyonunun Belirlenmesi

Yağ asidi metil esterleri AOCS Ce 2-66 standardına göre hazırlanmıştır [49]. 0.1 g yağ örneği santrifüj tüplerine tartılarak üzerine 0.5 mL 2N etanollü KOH çözeltisi ilave edilmiştir. Daha sonra 2.5 mL kromatografik saflıkta n-hekzan ilave edilerek 1 dk boyunca vorteksde karıştırılmıştır. 6000 devir/10 dk boyunca santrifüj edildikten sonra üstteki yağ asidi metil esterleri fazı pipet yardımıyla alınarak Gaz Kromatografisi viallerine aktarılmıştır. Gaz Kromatografisi cihazının özellikleri ve analiz şartları aşağıda verilmiştir:

GC kromatogram marka ve modeli : Agilent 6890N serisi

Kolon : SP-2380 fused silika kapiler kolon (uzunluk: 60 m; iç çap:0.25 mm; film kalınlığı: 0.2 µm)

Dedektör : Alev iyonizasyon dedektörü

Taşıyıcı gaz : Azot

Taşıyıcı gaz akış hızı : 1 mL/dk

Enjeksiyon hacmi : 1 µL

Split oranı : 1:20

Fırın sıcaklığı : İlk 120 °C/dk'da tutulmuş daha sonra 6 °C/dk artırılarak 240 °C'ye yükseltilmiş ve 240 °C/15 dk çalışılmıştır.

Enjektör sıcaklığı : 250 °C

Dedektör sıcaklığı : 250 °C

### 3.2.5.3. Fenolik Bileşenlerin Tespiti

Fenolik bileşenlerin tespitinde COI/T.20/Doc No 29 standart yöntem kullanılmıştır [50]. Yağ örneğinden 2 g test tüpüne tartılarak üzerine 5 mL metanollü sulu ekstraksiyon çözeltisi (%80: v/v) ilave edilmiştir. Elde edilen çözelti vorteksde

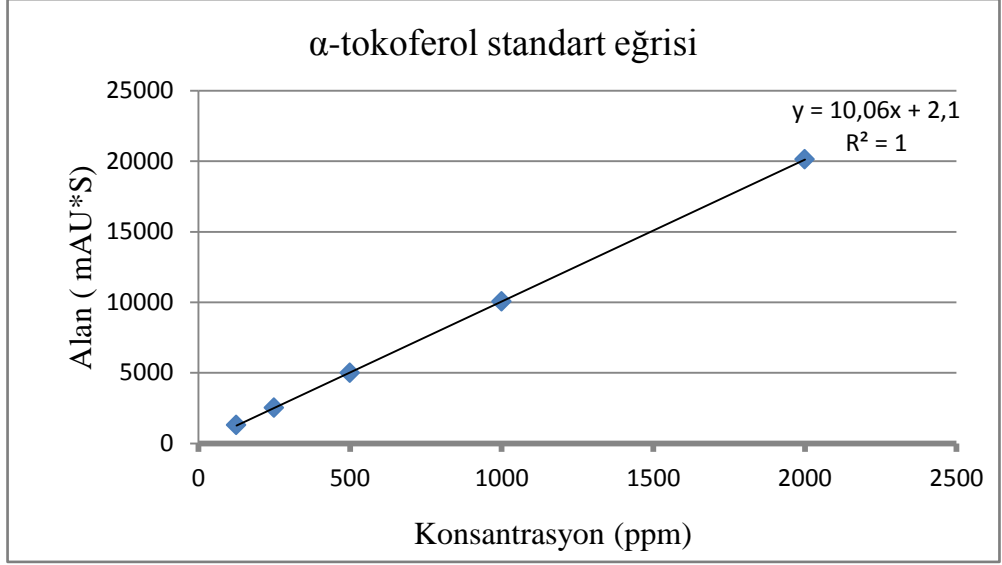
1 dk boyunca kuvvetlice çalkalanmıştır. Test tüpü oda sıcaklığında 15 dk ultrasonik banyoda tutularak 6000 devir/25 dk santrifüj edilmiştir. Yüzer kısım pipet yardımıyla alınmış ve metanolik faz 5 mL lik plastik bir şırınga ile 0.45 µm'lik filtreden geçirilerek kahverengi viallerin içerisine süzölmüştür ve daha sonra HPLC (Infinity, Agilent 1260) cihazına enjekte edilmiştir. Licospher PR18-5 (250mm × 4.0mm, 5m) özelliğinde kolon ve 280 nm dalga boyuna ayarlanmış diyot array dedektör ile % 0.2 sulu ortofosforik asit (mobil faz A), saf metanol (mobil faz B), saf asetonitril (mobil faz C) çözeltileri mobil faz olarak kullanılarak 20 µL numune sistemsel mL/dak akış hızında enjekte edilmiştir. Fenolik bileşiklerin tanımlanmasında örneklerin alıkonma süreleri saf standartların alıkonma süreleriyle karşılaştırılmıştır.

#### **3.2.5.4. Tokoferol Miktarının Belirlenmesi**

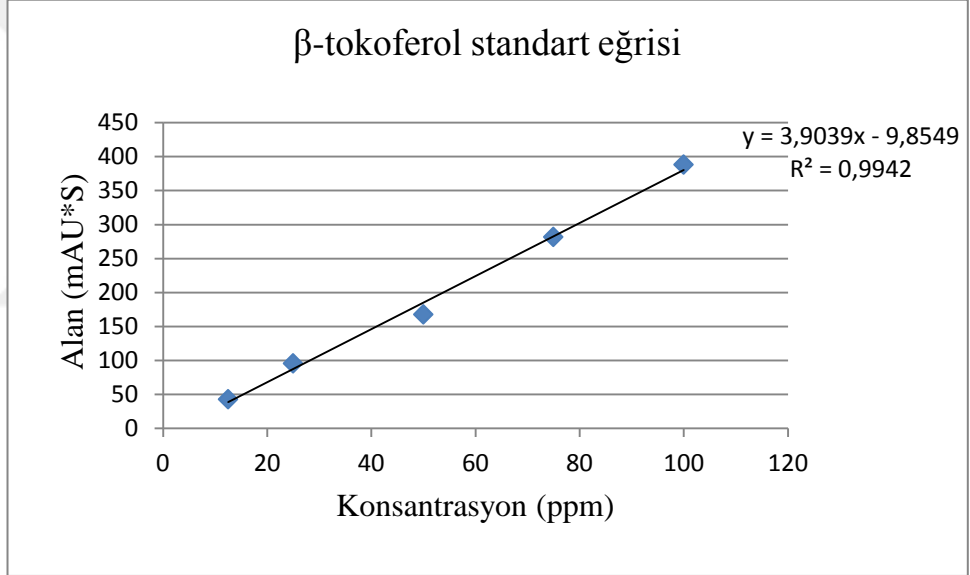
Tokoferol içeriği tespitinde IUPAC 2.432 standart yöntem kullanılmıştır [51]. Yağ örneklerinden yaklaşık 2 g 25 mL balon jöjeye tartıldıktan sonra propan-2-ol/n-hekzan (0.5:99.5; v/v) çözeltisi ile tamamlanmıştır. Yeterince çözüldükten sonra 5 mL lik plastik bir şırınga kullanılarak 0.45 µm'lik filtre ile kahverengi viallerin içerisine süzölmüş ve daha sonra HPLC (Infinity, Agilent 1260) cihazına enjekte edilmiştir. α-, β-, γ- ve δ- tokoferol miktarları standart kalibrasyon eğrilerinin pik alanlarına göre hesaplanmıştır. α-, β-, γ- ve δ-tokoferol standart kalibrasyon grafikleri sırasıyla Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da verilmiştir. HPLC cihazının çalışma koşulları aşağıdaki gibidir;

Dedektör	: diyot array dedektör, 292 nm
Kolon	: Hypersil H5 (250 mm× 4.6mm, 5m)
Mobil akış hızı	: 0.9 mL/dk
Mobil faz	: 2-propanol/n-hekzan (0.5:99.5;v/v)
Kolon sıcaklığı	: 25 °C
Numune	: 20µL

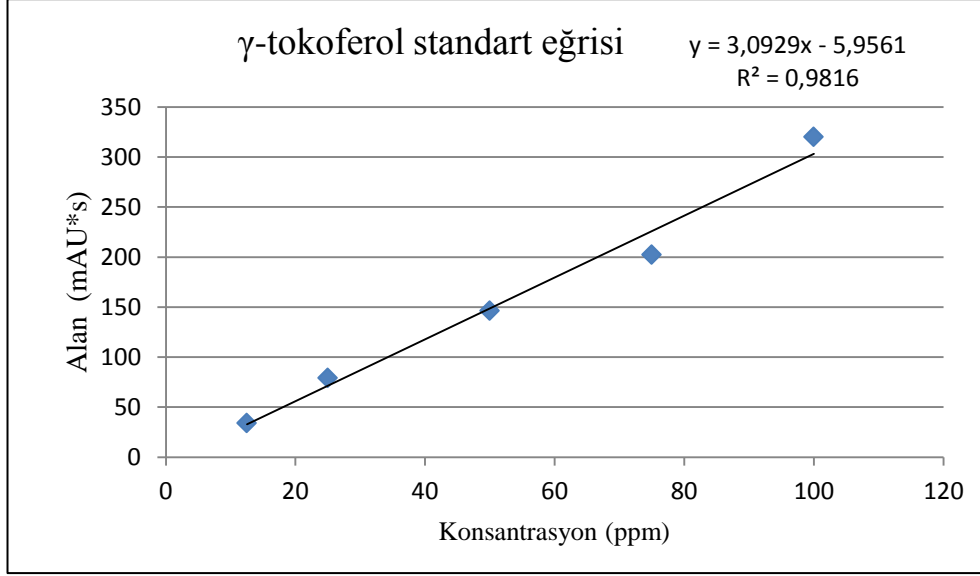




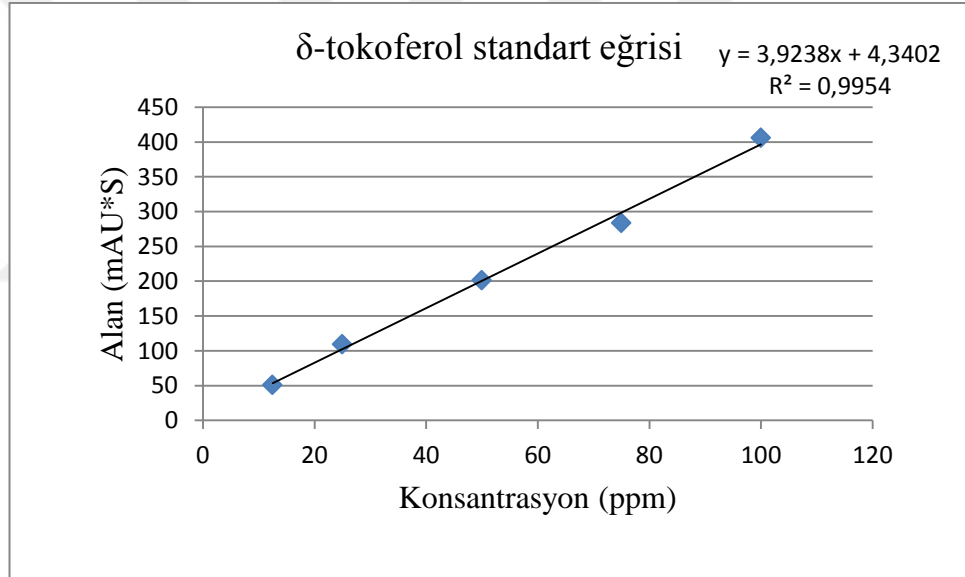
**Şekil 3.7.**  $\alpha$ -tokoferol kalibrasyon grafiği



**Şekil 3.8.**  $\beta$ -tokoferol kalibrasyon grafiği



**Şekil 3.9.**  $\gamma$ -tokoferol kalibrasyon grafiği



**Şekil 3.10.**  $\delta$ -tokoferol kalibrasyon grafiği

### 3.2.5.5. Sterol Kompozisyonunun Belirlenmesi

Sterol kompozisyonu nitelik ve nicelik olarak COI/T.20/Doc No.10/Rev.1 standart metoda göre Aybak Natura Analiz Laboratuvarı'nda hizmet alımı olarak gerçekleştirilmiştir [52]. Öncelikle yağdaki sabunlaşmayan maddeler etanolik potasyum hidroksit ile ekstrakte edilmiştir. İç standart olarak 5- $\alpha$ -kolestan kullanılmıştır. Ekstrakte edilen sabunlaşmayan maddelerden silika jel 60 F254 özelliğinde 20 × 20 cm ince tabakadasterol fraksiyonu ayrılmıştır. GC cihaz şartları aşağıda verilmiştir:

GC kromatogram marka ve modeli : Agilent 6890N serisi

Kolon : TYM5 kolon (30m×0.25mm ve kalınlık 0.10 ile 0.30 µm)

Taşıyıcı gaz : Hidrojen (30 ila 50 cm/s)

Taşıyıcı gaz akış hızı : 1 mL/dk

Enjeksiyon hacmi : 1 µL

Sütün sıcaklığı : 260 °C

Enjektör sıcaklığı : 280 °C

Dedektör sıcaklığı : 290 °C

### 3.2.6. Schaal Oven Testi

Schaal testi olarak bilinen etüv testi yağ ve yağlı gıdaların kalitesinin belirlenmesi için basit, hızlandırılmış ve genellikle 60 °C'de gerçekleştirilen bir testtir. Bu metotta yağ veya yağlı gıda numunesi gevşek kapatılmış bir cam kap içerisinde genellikle 60 °C'de tutulan etüve yerleştirilir. Böylece yağ hızlandırılmış oksidasyona maruz bırakılarak ne kadar süre dayandığı test edilebilmektedir. Ürün bozulmaya başladığı anda üründe renk değişimi de belirgin bir şekilde gerçekleşmektedir. Schaal fırın testinde peroksit sayısı değeri (PV), *p*-anisidin değeri (AV), Totox (toplam oksidasyon) değeri ve Gaz Kromatografisi ile toplam uçucu maddeler tayiniyle de uç nokta tayini mümkün olabilmektedir [38].

Susam tohumu yağlarının oksidatif stabilitelerini belirlemek amacıyla Schaal oven yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem, Zou ve ark (2018) [53]'nın uyguladığı şekilde soğuk preslenmiş yağların her birinden 5 g örnek alınarak kahverengi şişede ışık almayacak şekilde kapatılarak 60°C'ye ayarlanmış inkübatöre (Nüve, EN-400) koyularak, 0., 1., 2., 3., 4., 7., 9., 11., 14. ve 21. günlerde peroksit sayısı, konjuge-dien, *p*-anisidin ve Totox değerleri hesaplanmıştır. Soğuk pres susam yağlarının bekletildiği inkübatör Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.11.** Soğuk pres susam yağlarının bekletildiği inkibatör

### 3.2.6.1. Oksidatif Stabilite Analizleri

#### 3.2.6.1.1. Peroksit Sayısı

Yağ örneklerinin peroksit değerleri AOCS (Cd 8b-90) Standart Metodu kullanılarak belirlenmiştir [54]. Yaklaşık 0.3 g yağ örneği kapaklı erlene tartılmış 10 mL asetik asit/kloroform çözeltisi (3:2; v/v) içerisinde çözündürülmüştür. Daha sonra erlene 0.5 mL doymuş potasyum iyodür çözeltisi ilave edilmiş ve erlen 1 dk boyunca karıştırılmıştır. Erlen, oda sıcaklığında 5 dk karanlık ortamda bekletilmiştir. Süre sonunda erlene 10 mL saf su ve indikatör olarak 0.5 mL nişasta çözeltisi (%1; w/v) ilave edilmiştir. İlave edilen karışım mavi renk kaybolana dek 0.002 N sodyum tiyosülfat çözeltisi ile titrasyon edilmiştir. Aynı işlemler bir de kör çözelti için yapılmıştır. Yağların Peroksit değeri denklem 3.7 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Peroksit Sayısı (meq } O_2/\text{kg yağ)} = \frac{(S-B) \times N \times 1000}{M} \quad (3.7)$$

S : Örneğin Titrasyonda harcanan sodyum tiyosülfat çözeltisinin miktarı (mL)

B : Kör (sahit) için harcanan sodyum tiyosülfat çözeltisinin miktarı (mL)

N : Sodyum tiyosülfat çözeltisinin normalitesi

M : Tartılan örnek miktarı (g)

#### 3.2.6.1.2. Konjuge-dien Değeri

Konjuge dien değeri AOCS yöntemi (Ti 1a-64) kullanılarak belirlenmiştir [55]. Buna göre 250 mg yağ örneği 50 mL hacimli balon jöjeye tartılmış ve spektrofotometrik saflıktaki izooktan içerisinde çözündürülmüştür. Balon jöje oda sıcaklığında karanlık ortamda 15 dk bekletilmiştir. Süre sonunda çözeltinin

absorbansı Spektrofotometrede (Shimadzu, UV-1601) izooktana karşı 234 nm'de ölçülmüştür. Konjuge-dien değeri denklem 3.8 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Konjuge-dien değeri(\%)} = \frac{0.84 \times (A_S - K_0)}{b \times c} \quad (3.8)$$

Burada;

$A_S$  = örneğin absorbansı

$K_0$  = ester grupları için düzeltme katsayısı (0.07)

$b$  = kuvvet uzunluğu (1 cm)

$c$  = örnek konsantrasyonu (g/L)

### 3.2.6.1.3. *P*-anisidin Değeri

*p*-anisidin değeri yöntemi hidroperoksitlerin ayrışması sırasında oluşan aldehitlerin içeriğini ölçer. Prensipte *p*-metoksianilin (anisidin) ve aldehidik bileşiklerin renk reaksiyonuna dayanır. *p*-anisidin reaktifinin asidik koşullar altında aldehitler ile reaksiyonu 350 nm'de absorbe edilen sarımsı ürünler sağlar.

Yağların *p*-anisidin değerleri AOCS Cd 18-90 Standart Metod kullanılarak belirlenmiştir [56]. Yaklaşık 0.5 g yağ örneği, 25 mL hacimli balon jöje içerisinde tartılmış ve spektrofotometrik saflıktaki izooktan ile çözündürülmüştür. Bu çözeltinin absorbansı ( $A_b$ ), spektrofotometrede izooktana karşı 350 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Daha sonra, bir deney tüpüne bu çözeltilerden 5 mL alınmış ve üzerine 1 mL *p*-anisidin çözeltisi (glasiyal asetik asit içerisinde %0.25'lik; w/v) ilave edilmiştir. Aynı anda başka bir deney tüpüne 5 mL izooktan ve üzerine 1 mL *p*-anisidin çözeltisi ilave edilmiştir. Deney tüpleri kapakları kapatılarak karıştırılmış ve oda sıcaklığında karanlıkta 10 dk bekletilmiştir. Süre sonunda 1. tüpte yer alan yağlı çözeltinin ( $A_S$ ) 2. deney tüpünde hazırlanan izooktanlı ve *p*-anisidinli kör çözeltiliye karşı spektrofotometrede (Shimadzu, UV-1601) 350 nm'de absorbansı ölçülmüştür. *p*-anisidin değeri denklem 3.9 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$p\text{-anisidin değeri} = \frac{25 \times (1.2 \times A_S - A_B)}{W} \quad (3.9)$$

Burada;

$A_S$  : son absorbans

$A_B$  : ilk absorbans

W : örnek miktarı (g)

#### 3.2.6.1.4. Totox (Toplam oksidasyon) Değeri

Toplam oksidasyon değerinin hesaplanmasında Gracka ve ark (2017) [57]'nın uyguladığı aşağıdaki denklem 3.10 kullanılmıştır:

$$\text{Totox Değeri} = 2 \times (\text{peroksit değeri}) + (p - \text{anisidin değeri}) \quad (3.10)$$

Lipid oksidasyonu sırasında, peroksit sayısının ilk önce yükseldiği daha sonra hidroperoksitlerin ayrışması halinde düştüğü görülür. Peroksit ve  $p$ -anisidin değerleri oksidasyon reaksiyonunun erken ve sonraki aşamalarında oksidasyon seviyesini yansıtmaktadır. Totox değeri hem hidroperoksitleri hem de parçalanmış ürünlerin seviyesini ölçerek yağların ileri oksidatif bozulmasının daha iyi tahminini sağlamaktadır [58].

#### 3.2.7. İstatistiksel Değerlendirme

Susam tohumu yağlarının tüm analizlerde her bir paralel değeri ortalama  $\pm$  standart sapma olarak ifade edilmiştir. Susam çeşitleri arasındaki farklılıkların ortaya konması amacıyla sonuçlar SAS İstatistiksel Analiz Paket Programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Fizikokimyasal, biyoaktif bileşenler, toplam fenolik madde miktarı ve DPPH metodu ile antioksidan aktivite analiz sonuçlarının karşılaştırılmasında CR tamamen rasgele desen analizi uygulanmış ancak oksidatif stabilite analiz sonuçlarının karşılaştırılmasında faktöriyel desen analizi uygulanmıştır. Yapılan çalışma boyunca gerçekteştirilen analizler ayrı ayrı değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Örneklerin  $p < 0.05$  düzeyinde istatistiksel olarak önemli farklılıkları olup olmadığı ortaya konulmuş ayrıca Duncan testi ile de harflendirme yapılmıştır. Pearson korelasyon katsayıları ve  $p$  değerleri SAS Ver.8.2. paket programında PROC CORR prosedürü kullanılarak hesaplanmıştır [59].

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Renk Değerleri

Soğuk pres susam tohumu yağlarının renk değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Susam tohum yağlarının  $L^*$  değerleri ele alındığında en yüksek parlaklık 62.40 değeriyle Göl marmara örneğinde olurken, en düşük parlaklık 41.11 değeriyle Baydar-2001 örneğinde tespit edilmiştir.  $a^*$  değeri en düşük Batem Aksu (-0.09), en yüksek Baydar-2001 (1.76),  $b^*$  değeri ise en yüksek Özberk-82 (55.23) çeşidinde en düşük Baydar-2001 (36.20) çeşidinde tespit edilmiştir. Susam tohumu çeşidinin soğuk pres susam yağlarının renk değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemlidir ( $p < 0.05$ ).

**Tablo 4.1.** Soğuk pres susam yağı örneklerinin renk değerleri

Örnekler /Değer	$L^*$	$a^*$	$b^*$
Özberk-82	51.39±0.30 <sup>c*</sup>	-1.47±0.10 <sup>d</sup>	55.23±0.10 <sup>a</sup>
Göl marmara	62.40±0.18 <sup>a</sup>	-2.11±0.10 <sup>e</sup>	44.34±0.04 <sup>d</sup>
Muganlı-57	52.24±0.76 <sup>c</sup>	0.22±0.00 <sup>b</sup>	49.85±0.71 <sup>c</sup>
Batem Aksu	47.63±0.21 <sup>d</sup>	-0.09±0.01 <sup>c</sup>	49.56±0.32 <sup>c</sup>
Batem Uzun	56.97±2.18 <sup>b</sup>	-2.25±0.13 <sup>e</sup>	52.73±1.94 <sup>b</sup>
Baydar-2001	41.11±1.58 <sup>e</sup>	1.76±0.06 <sup>a</sup>	36.20 ±1.00 <sup>e</sup>

\*Aynı sütun içerisinde farklı üstel harfe sahip değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ( $p < 0.05$ ). Sonuçlar, ortalama  $\pm$  standart sapmaları ile birlikte verilmiştir

Kurtkaya (2018) yaptığı tez çalışmasında Türkiye tescilli susam tohumlarından soğuk ekstraksiyon yöntemi ile elde ettiği susam yağlarının tokoferol, yağ asidi kompozisyonu, lignan ve antioksidan aktivitesini incelemiştir. Özberk-82, Göl marmara, Muganlı-57, Batem Aksu, Batem Uzun ve Baydar-2001 örneklerinin  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerini sırasıyla 69.12, -5.73, 28.43; 69.36, -5.86, 28.53; 69.24, -5.85, 28.97; 69.21, -5.59, 26.31; 69.46, -5.49, 26.26 ve 69.35, -5.77, 27.91 olarak tespit etmiştir [14].

Teh ve Birch (2013) yaptıkları çalışmada soğuk pres kenevir, kanola ve keten tohum yağlarının  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerini sırasıyla 8.13, 2.40, 30.87; 46.08, 15.56, 78.91; 42.05, 11.87 ve 71.08 olarak belirlemişlerdir. Kenevir tohum yağının yeşilimsi renkte olduğunu bunun nedeninin sahip olduğu yüksek miktarda klorofil içeriğinden kaynaklı olabileceğini, keten ve kanola tohum yağlarının ise yoğun

sarımsı renge sahip olduğunu bunun da yağın  $\beta$ -karoten içeriğinden kaynaklı olabileceği sonucuna varmışlardır [61].

Bitkisel yağlar klorofil, karotenoid ve ksantofil gibi renk maddeleri içermektedir. Uygun olmayan depolama koşulları, işlenmemiş yağ ve oksidatif bileşenler yağın görünümünü etkilemektedir [61]. Çalışmamızda susam yağı örneklerinden Özberk-82 çeşidinin yoğun sarı renginin  $\beta$ -karoten içeriğinden, Batem Aksu yağ örneğinin yeşilimsi renginin içerdiği klorofil miktarından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Yukarıda örnek verilen çalışmalara bakıldığında susam tohum yağlarının  $L^*$  değerlerinin keten ve kanola yağından daha yüksek olduğu görülmüştür. Çalışmamızdaki  $L^*$  değerleri ile soğuk ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen susam yağlarının  $L^*$  değerlerinin de uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca çalışmamızda, renk değerleri ile toplam klorofil ve karotenoid değerleri arasındaki korelasyon incelenmiştir.  $a^*$  değeri ile toplam klorofil değerleri arasında düşük seviyede negatif ilişki olduğu saptanırken,  $b^*$  değeri ile toplam karotenoid değeri arasında orta düzeyde pozitif ilişki olduğu saptanmıştır (sırasıyla *Pearson*  $r=-0.40298$ ;  $p=0.1940$ ) (*Pearson*  $r=0.50786$ ;  $p=0.0919$ ) (Ek A.2 ).

#### 4.2. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Kırılma İndisi Değerleri

Çalışmamızda kullanılan susam yağı örneklerinin kırılma indisi değerleri Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Kırılma indisi değerlerinin 1.4724 ile 1.4733 arasında değiştiği görülmüştür. Susam çeşidinin yağların kırılma indisi değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı sonucuna varılmıştır ( $p>0.05$ ).

**Tablo 4.2.** Soğuk pres susam yağ örneklerinin kırılma indisi değerleri

Örnekler	Kırılma indisi
Özberk-82	1.4727 $\pm$ 0.00 <sup>a*</sup>
Gölmarmara	1.4724 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
Muganlı-57	1.4732 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
Batem Aksu	1.4730 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
Batem Uzun	1.4733 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
Baydar-2001	1.4730 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>

\*Aynı sütun içerisinde benzer üstel harfe sahip değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ( $p>0.05$ ). Sonuçlar, ortalama  $\pm$  standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.



Elkhier ve ark (2008) yaptıkları bir çalışmada 10 farklı Sudan susam çeşidi kullanarak solvent ekstraksiyonu yöntemiyle elde ettikleri susam yağlarının kırılma indisi değerlerinin 1.472 ile 1.473 arasında değişiklik gösterdiğini tespit etmişlerdir [62].

Gharby ve ark (2017) tarafından yapılan bir başka çalışmada Fas çeşidi soğuk pres susam tohumu yağlarının kırılma indisi değeri 1.472 olarak tespit edilmiştir [63]. Olaleye ve ark (2018) ise Nijerya çeşidi solvent ekstraksiyonu ile elde edilmiş susam tohumu yağlarının kırılma indisi değerini ortalama 1.4684 olarak bulmuşlardır [64].

Warra ve ark (2016) ise kahverengi ve beyaz olmak üzere iki farklı Nijerya çeşidi susam tohumundan hekzan ekstraksiyonu yöntemiyle elde ettikleri yağların kırılma indisi değerlerini sırasıyla 1.4112 ve 1.4429 olarak tespit etmişlerdir [65]. Bu sonuçlardan da görüldüğü üzere hekzan ekstraksiyonuyla elde edilen yağların kırılma indisi değerleri soğuk pres yöntemi ile elde edilen yağların kırılma indisi değerlerinden daha düşük bulunmuştur.

Kırılma indisi esas olarak yağın hidrojenasyon sonrasında doymamışlık derecesini ölçmek amacıyla kullanılmaktadır. Yağların kırılma indisi moleküler ağırlıklarına, yağ asitleri ve esterlerinin zincir uzunluğuna, doymamışlık derecesine ve konjuge çift bağ yapısına bağlıdır [22]. Codex Alimentarius standardı tarafından belirtilen susam yağı kırılma indisi sınır değerleri 1.469-1.479 aralığında olmalıdır [73]. Çalışmamızda elde edilen susam yağlarının kırılma indisi değerleri bu sınırlar arasında yer almaktadır. Yağların kırılma indisi değerlerinin Fas çeşidi soğuk pres susam yağı değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir [63].

### **4.3. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Sabunlaşma Sayısı Değerleri**

Soğuk pres susam tohumu yağı örneklerinin sabunlaşma sayısı değerleri Tablo 4.3'de verilmiştir. Susam yağlarının sabunlaşma sayısı değerlerinin 214.52 mg KOH/g ile 220.77 mg KOH/g arasında değiştiği görülmektedir. Susam çeşidinin, yağların sabunlaşma sayısı değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p < 0.05$ ).

**Tablo 4.3.** Soğuk pres susam tohumu yağlarının sabunlaşma sayısı değerleri

Örnekler	Sabunlaşma Sayısı (mg KOH/g yağ)
Özberk-82	214.52 ± 0.15 <sup>e*</sup>
Gölmarmara	220.77±0.28 <sup>a</sup>
Muganlı-57	217.17 ±0.02 <sup>c</sup>
Batem Aksu	217.87 ±0.01 <sup>b</sup>
Batem Uzun	217.84±0.29 <sup>b</sup>
Baydar-2001	215.08±0.11 <sup>d</sup>

\*Aynı sütun içerisinde farklı üstel harfe sahip değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ( $p<0.05$ ).Sonuçlar, ortalama ± standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Warra ve ark (2016) kahverengi ve beyaz renklere iki farklı Nijerya çeşidi susam tohumlarından hekzan ekstraksiyonu yöntemiyle elde ettikleri yağların sabunlaşma sayılarını sırasıyla 203 mg KOH/g ve 112.8 mg KOH/g olarak tespit etmişlerdir [65]. Yine Nijerya çeşidi susam tohumu kullanılarak yapılan başka bir çalışmada yağların sabunlaşma sayısı 212.45 mg KOH/g olarak tespit edilmiştir [64].

Farklı tohum çeşitleri üzerine yapılan çalışmalarda soğuk pres buğday ruşeymi (Ören, 2013), ayçiçek (Nadeem ve ark., 2015), limon çekirdeği (Yılmaz ve Güneşer, 2017) ve mısırözü yağlarının (Güneşer ve ark., 2017) sabunlaşma sayıları sırasıyla 197, 186, 199.95 ve 205.43 mg KOH/g olarak tespit edilmiştir [66, 67, 68, 69].

Çalışmamızda elde edilen sabunlaşma sayısı değerleri susam yağı için literatürde rapor edilenlerden daha yüksek bulunmuştur. Aynı zamanda yapılan çalışmalar ile çalışmamızda elde edilen sonuçlar kıyaslandığında çalışmamızdaki susam yağının farklı soğuk pres tohum ve Nijerya çeşidi susam tohum yağlarından daha yüksek sabunlaşma değerine sahip olduğunu söyleyebiliriz. Yüksek değerlerin sebepleri tohum farklılığı, farklı iklim koşullarında büyüme ve olgunlaşma olarak yorumlanabilir. Yüksek sabunlaşma değeri yağın sıvı sabun, şampuan ve tıraş köpüğü üretiminde kullanılabilirliğinin de bir göstergesidir [64].

#### **4.4. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Serbest Yağ Asitliği Miktarları**

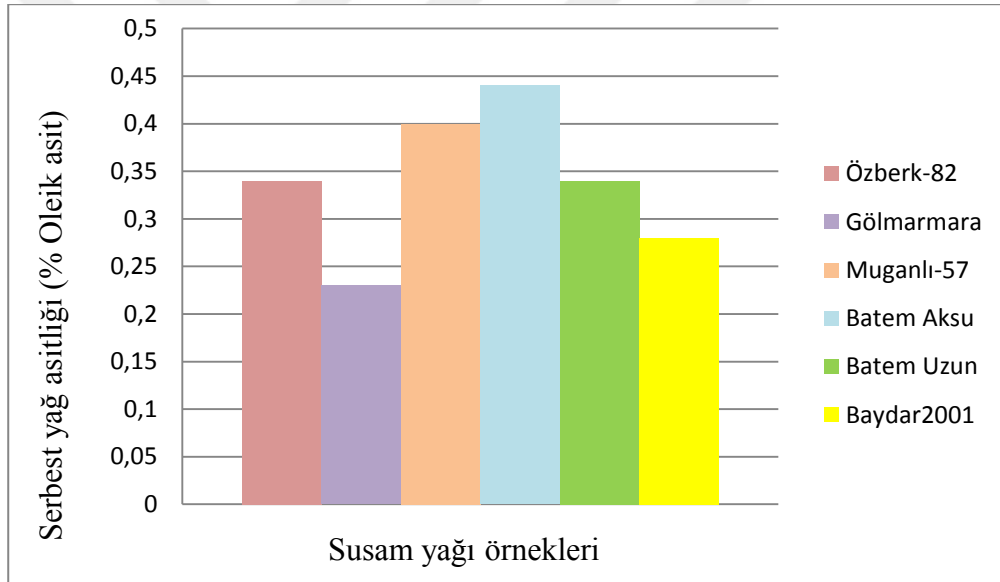
Soğuk pres susam tohumu yağlarının serbest yağ asidi değerleri Tablo 4.4’de, yağ asitliğinin çeşide bağlı olarak değişimi ise Şekil 4.1’de verilmiştir. İncelenen

susam yağı örneklerinin serbest yağ asidi değerlerinin %0.23 ile %0.44 arasında değiştiği görülmüştür. Susam çeşidinin, yağların serbest yağ asidi değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ( $p<0.05$ ).

**Tablo 4.4.** Soğuk pres susam yağlarının serbest yağ asidi değerleri

Örnekler	Serbest Yağ Asidi (%Oleik asit)
Özberk-82	0.34 ±0.00 <sup>c*</sup>
Gölmarmara	0.23 ±0.00 <sup>e</sup>
Muganlı-57	0.40 ±0.01 <sup>b</sup>
Batem Aksu	0.44±0.00 <sup>a</sup>
Batem Uzun	0.34 ±0.00 <sup>c</sup>
Baydar-2001	0.28±0.00 <sup>d</sup>

\*Aynı sütun içerisinde farklı üstel harfe sahip değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ( $p<0.05$ ). Sonuçlar, ortalama ± standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.



**Şekil 4.1.** Soğuk pres susam yağlarının serbest yağ asitliğinin çeşide bağlı olarak değişimi

Fas çeşidi susam tohumlarında yapılan bir çalışmada soğuk pres susam yağlarının serbest yağ asitliği ortalama %0.92 olarak belirlenmiştir [63].Teh ve Birch (2013) ise soğuk pres keten, kanola ve kenevir yağlarının serbest yağ asitliğini sırasıyla %0.75, %0.72 ve %0.89 olarak bulmuşlardır [61].

Konuskan ve ark (2019) Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yetiştirilen ayçiçeği, yer fıstığı, kolza, hardal ve zeytin tohumlarından elde ettikleri soğuk pres yağlarının

serbest yağ asidi (% oleik asit) değerlerini sırasıyla %0.81, %1.36, %0.65, %0.43 ve %0.82 olarak tespit etmişlerdir [70].

Soğuk pres ve ham yağların serbest yağ asidi içeriğinin Codex Alimentarius sınır değeri %2 olarak belirlenmiştir [71]. Asitliğin %2'yi geçtiği durumlarda yağda acılaşıma ve yakıcı lezzet olacağından tüketiciler açısından kabul edilmeyen ürün haline gelmektedir [63, 72]. Çalışmamızda elde edilen % serbest yağ asitliği değerleri Codex'in belirlediği sınırlar içerisinde yer almakta, yapılan çalışmalar ile elde ettiğimiz sonuçlar kıyaslandığında susam yağının diğer soğuk pres tohum ve Fas çeşidi susam tohum yağlarına göre düşük yağ asidi değerine sahip olduğu görülmektedir. Düşük serbest yağ asidi içeriği soğuk pres yağlar için iyi bir kalite göstergesidir ve tüketime uygun olduğunu ifade etmektedir [72, 73]. Serbest yağ asitleri tohumun olgunlaşma aşamasında oluşabileceği gibi tohumda meydana gelen hasar, depolama ve taşıma koşullarının etkisiyle de oluşabilmektedir. Yağlı tohumlara uygulanan ön işlemler ve yağ elde etme metotlarında serbest yağ asiti üzerine etkisi olduğu birçok araştırmacı tarafından ifade edilmiştir [72].

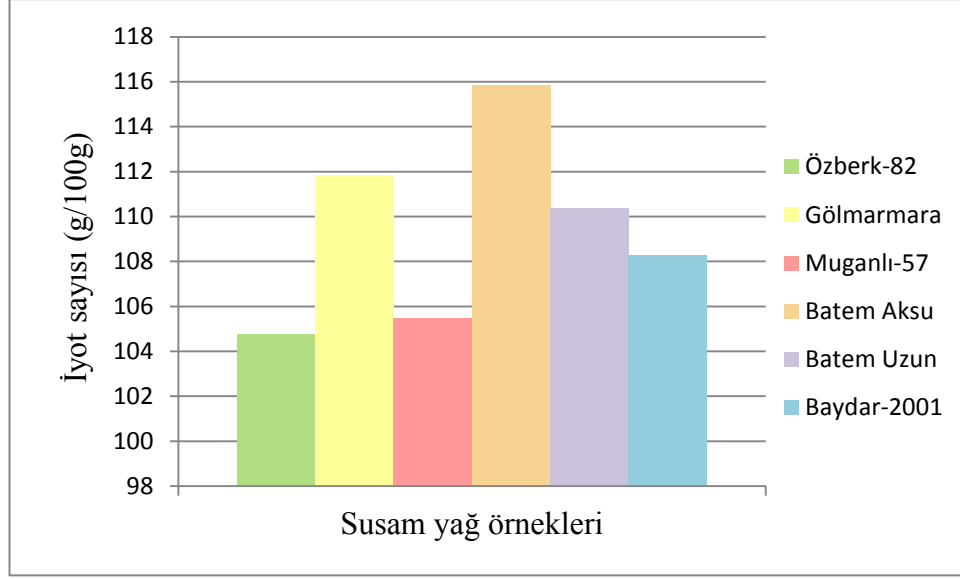
#### 4.5. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının İyot Sayısı Değerleri

Çalışmamızda kullanılan susam yağlarının iyot sayısı değerleri Tablo 4.5 ve iyot sayısı değerlerinin susam çeşidine bağlı olarak değişimi Şekil 4.2'de verilmiştir. En yüksek iyot sayısı değeri Batem Aksu çeşidinde (115.84 g/100g), en düşük değer ise Özberk-82 çeşidinde (104.75 g/100g) saptanmıştır. Susam çeşidinin, yağların iyot sayısı değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p<0.05$ ).

**Tablo 4.5.** Soğuk pres susam yağlarının iyot sayısı değerleri

Örnekler	İyot Sayısı (g / 100g)
Özberk-82	104.75± 0.03 <sup>e*</sup>
Gölmarmara	111.84±0.42 <sup>b</sup>
Muganlı-57	105.45±0.58 <sup>e</sup>
Batem Aksu	115.84±0.52 <sup>a</sup>
Batem Uzun	110.39 ±0.49 <sup>c</sup>
Baydar-2001	108.28±0.17 <sup>d</sup>

\*Aynı sütun içerisinde farklı üstel harfe sahip değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ( $p<0.05$ ). Sonuçlar, ortalama ± standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.



**Şekil 4.2.** Soğuk pres susam yağlarının iyot sayısı değerlerinin çeşide bağlı olarak değişimi

Gharby ve ark (2017) Fas çeşidi susam tohumu yağlarının iyot değerini ortalama 117 g/100g olarak bulmuşlardır [63]. Warra ve ark (2016) kahverengi ve beyaz olmak üzere iki farklı Nijerya çeşidi susam tohumundan hekzan ekstraksiyonu yöntemiyle elde ettikleri yağların iyot sayısı değerlerini sırasıyla 129.8 g/100 g ve 112.8 g/100 g olarak belirlemişlerdir [65].

Güneşer ve ark (2017) yaptıkları çalışmada Bursa'da bulunan tesisten temin ettikleri mısır özü tohumlarından soğuk pres yöntemiyle elde ettikleri yağda iyot sayısı değerini 98.30 g/100 g olarak tespit etmişlerdir [69].

Nadeem ve ark (2015) yaptıkları çalışmada Pakistan çeşidi ayçiçeği tohumlarının soğuk pres yöntemiyle elde ettikleri yağın iyot sayısı değerini 133.7 g/100g olarak tespit etmişlerdir [67].

Doğu Akdeniz Bölge'sinde yetiştirilen yer fıstığı ve kolza tohumları ile zeytin meyvesinden elde edilen soğuk pres yağların iyot sayısı değerleri sırasıyla 111.19 g/100 g, 107.51 g/100 g ve 80.03 g/100 g olarak bulunmuştur [70].

Mohammed ve ark (2016) çalışmalarında Malezya çeşidi çörek otu tohumu kullanmışlardır. Soğuk pres yöntemiyle elde edilen yağların iyot değerini ortalama 104.37 g/100g olarak tespit etmişlerdir [73].

İyot değeri, yağın doymamışlık derecesi ve kuruma özelliğinin yanısıra yağın hidrojenlenme derecesi hakkında da bilgi vermektedir. Yüksek iyot sayılı yağ düşük iyot sayılı yağa kıyasla daha fazla sayıda çift bağ içermekte ve genellikle yağın oksidatif duyarlılığını göstermektedir [26]. Çalışmamızda susam yağlarının iyot değerleri Codex Alimentarius standardının belirlediği 104-120 g/100 g aralığında yer almaktadır [71]. Yukarıda verilen farklı tohumların literatür bulguları değerlendirildiğinde çalışmamızda kullanılan susam yağı örneklerinin iyot değerleri Nijerya çeşidi ve Fas çeşidi susam yağları ile Malezya çeşidi çörek otu ve yerfıstığı yağlarıyla yakın bulunmuştur. Toplam çoklu doymamış yağ asidi miktarı ve iyot sayısı değerleri arasında zayıf pozitif bir ilişki olduğu saptanmıştır (Pearson  $r=0.19568$ ;  $p=0.5422$ ) (EK A.1).

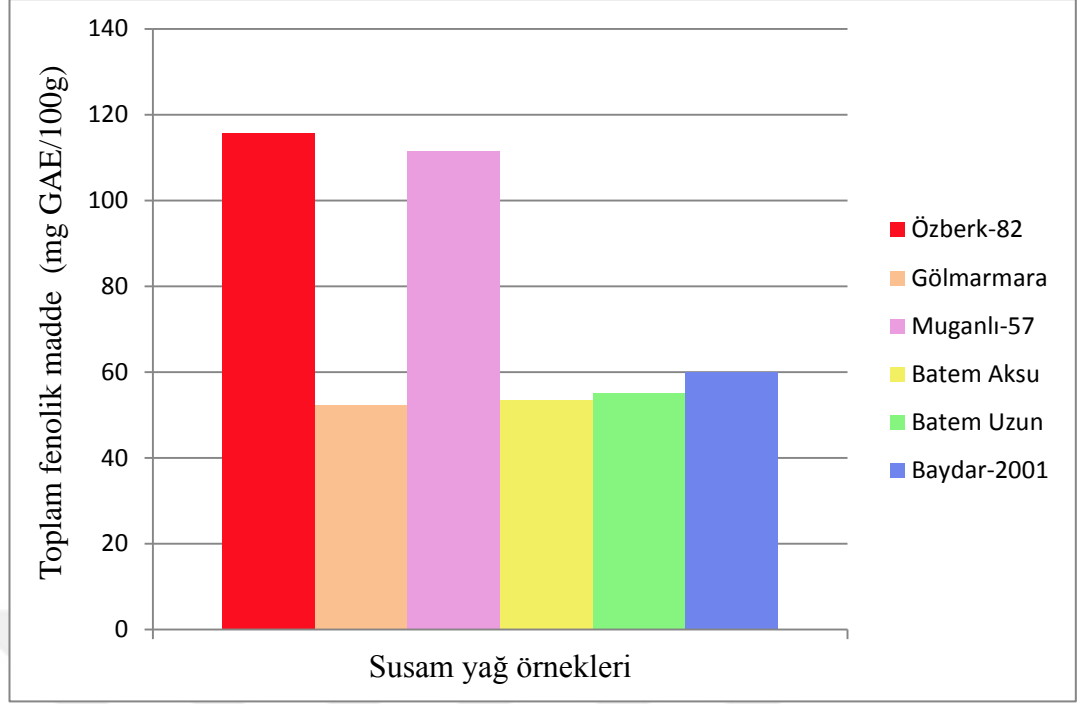
#### 4.6. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Toplam Fenolik Madde Miktarları

Soğuk pres susam tohumu yağlarının toplam fenolik madde miktarları Tablo 4.6. ve fenolik madde miktarlarının çeşide bağlı olarak değişimi Şekil 4.3'de verilmiştir. İncelenen susam yağı örneklerinin toplam fenolik madde değerlerinin 52.29 mg GAE/100g ile 115.66 mg GAE/100g arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek toplam fenolik madde içeriğine sahip çeşidin 115.66 mg GAE/100g ile Özberk-82 olduğu tespit edilmiştir. Susam çeşidinin, yağların toplam fenolik madde değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p<0.05$ ).

**Tablo 4.6.** Soğuk pres susam yağlarının toplam fenolik madde değerleri

Örnekler	Toplam Fenolik Madde Miktarı (mg GAE/100g)
Özberk 82	115.66±1.76 <sup>a*</sup>
Gölmarmara	52.29 ± 3.99 <sup>c</sup>
Muganlı 57	111.61±4.20 <sup>a</sup>
Batem Aksu	53.62±0.87 <sup>cb</sup>
Batem Uzun	55.26 ± 0.26 <sup>cb</sup>
Baydar 2001	59.93 ± 0.45 <sup>b</sup>

\*Aynı sütun içerisinde farklı üstel harfe sahip değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ( $p<0.05$ ). Sonuçlar, ortalama ± standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.



**Şekil 4.3.** Soğuk pres susam yağlarının toplam fenolik madde miktarlarının çeşide bağlı olarak değişimi

Ergönül ve Özbek (2018) yaptıkları bir çalışmada soğuk pres aspir ve ketencik tohumu yağlarının toplam fenolik madde (mg GAE/100g) içeriklerinin sırasıyla ortalama olarak 27.22 ile 52.53 ve 2.59 ile 11.27 aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir [39].

Teh ve Birch (2013), soğuk pres kanola, keten ve kenevir tohum yağlarının toplam fenolik madde içeriklerini sırasıyla 59.12, 136.93 ve 188.23 mg GAE/100g olarak belirlemişlerdir [61].

Yılmaz ve Güneşer (2017), soğuk pres yöntemiyle elde ettikleri limon çekirdeği yağlarının toplam fenolik madde içeriğini 4916.0 mg GAE/100g olarak bulmuşlardır [68].

Kıralan ve ark (2014), soğuk pres çörek otu tohum yağının toplam fenolik madde miktarını 3.605 mg GAE/100 g olarak tespit etmişlerdir [74].

Aljuhaimi ve ark (2018), badem, fındık, yerfıstığı, kayısı çekirdeği ve fıstık olmak üzere 5 farklı kabuklu yemiş çeşidinden soğuk pres yöntemiyle yağ elde

etmişler ve toplam fenolik madde içeriklerini sırasıyla 1.56, 1.29, 0.98, 1.32 ve 1.13 mg GAE/100g olarak saptamışlardır [75].

Fenolik bileşikler bir veya birden fazla hidroksil grubu taşıyan aromatik yapıda ikincil metabolitlerdir. Gıdaların renk ve aroma özelliklerinin oluşmasına katkıda bulunarak aynı zamanda yüksek antioksidan özelliklerinden dolayı diyabet, kanser ve kronik hastalıkları önleyici olarak da katkı sağlamaktadırlar [28]. Çalışmamızda elde ettiğimiz soğuk pres susam tohumu yağlarının toplam fenolik madde miktarı yapılan literatür çalışmaları ile karşılaştırıldığında susam yağının limon çekirdeği, keten ve kenevir yağlarından düşük ancak aspir, ketencik, fındık, fıstık, yerfıstığı, kayısı çekirdeği yağlarından yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Soğuk preslenmiş susam yağlarının toplam fenol içeriğinin diğer yağlardan daha düşük olmasında tohum çeşidi, iklim, olgunluk, depolama ve hasat öncesi ve sonrası faktörlerin etkili olduğu söylenebilir [39].

#### 4.7. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının DPPH Antioksidan Aktivite Değerleri

Bu yöntem, antioksidanların kararlı bir serbest radikal olan DPPH (1,1-difenil-2- pikrilhidrazil) radikalini süpürücü etkilerini ölçmeye dayalı bir yöntem olup yağın oksidatif bozulmasına karşı direncini açıklayan bir parametredir [76]. Soğuk pres susam tohumu yağlarının antioksidan aktivite değerleri Tablo 4.7'de verilmiştir. Yağların antioksidan aktivite değerleri 2.50-4.70  $\mu\text{mol}/100\text{g}$  aralığında değişiklik göstermiştir. Susam çeşidinin, yağların antioksidan aktivite değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p<0.05$ ).

**Tablo 4.7.** Soğuk pres susam yağlarının DPPH antioksidan aktivite değerleri

Örnekler	DPPH Antioksidan Aktivite Miktarı (TE $\mu\text{mol}/100\text{g}$ )
Özberk 82	4.70 $\pm$ 0.31 <sup>a*</sup>
Gölmarmara	2.50 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
Muganlı 57	2.73 $\pm$ 0.65 <sup>b</sup>
Batem Aksu	3.50 $\pm$ 0.25 <sup>b</sup>
Batem Uzun	3.55 $\pm$ 0.65 <sup>b</sup>
Baydar 2001	2.62 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>

\*Aynı sütun içerisinde benzer üstel harfe sahip değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ( $p<0.05$ ). Sonuçlar, ortalama  $\pm$  standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.



Titizce (2014), kabuklu susam tohumlarına farklı sıcaklıkta ve 0 ile 150 dk arasında değişen sürelerde kavurma işlemi uygulamıştır. Başlangıç DPPH antioksidan aktivite değeri 2.439  $\mu\text{mol TE/g}$  iken kavurmanın 80.dakikasında herhangi bir değişiklik meydana gelmemiş ancak kavurma süresi 175. dakikaya kadar çıktığında antioksidan aktivite değeri 1.335  $\mu\text{mol TE/g}$ 'a düşmüştür [3].

Riziki ve ark (2015), susam tohumlarının antioksidan aktivitesinin mikrodalga fırında kavurma sıcaklığından önemli ölçüde etkilendiğini, en yüksek antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde içeriğini elde etmek için susam tohumlarının mikrodalgada 9 dakika kavurulması gerektiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca toplam fenolik madde miktarı ve DPPH antioksidan aktivite arasında iyi bir korelasyon olduğunu ortaya koymuşlardır ( $R=0.897$ ) [77].

Güneşer ve ark (2017), soğuk pres mısır yağının TEAC metodu ile antioksidan aktivite miktarını 127.73  $\mu\text{mol TE/kg}$  olarak belirlerken [69], Keskin (2018) soğuk pres vişne ve kiraz çekirdek yağlarının antioksidan kapasitesini ABTS yöntemine göre sırasıyla 9.00 ve 10.40  $\mu\text{mol TE/100g}$  olarak tespit etmişlerdir [78].

Koç (2016) yaptığı çalışmada soğuk pres üzüm çekirdeği yağlarını incelemiştir. Çalışmasında Türkiye'de yetiştirilen 5 farklı üzüm çekirdeği kullanmıştır. Üzüm çekirdek yağlarının antioksidan aktivitesinin ortalama 0.152-0.278  $\mu\text{mol TE/g}$  aralığında değiştiğini tespit etmiştir [79].

Bu çalışmadaki DPPH antioksidan aktivite ile toplam fenolik madde miktarı arasındaki ilişkiye ait korelasyon katsayıları Ek A.3'de verilmiştir. DPPH antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarı arasında zayıf düzeyde pozitif ilişki olduğu tespit edilmiştir (Pearson  $r=0.39815$ ;  $p=0.1999$ ). Soğuk pres susam yağı diğer yağlara göre orta derecede yüksek antioksidan aktivite potansiyeline sahip bir yemeklik yağ olarak kategorize edilebilir. Susamın antioksidan aktivitesine yağında bulunan minör bileşiklerin önemli etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 4.8. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Toplam Karotenoid ve Toplam Klorofil Miktarları

Çalışmamızda kullanılan susam yağlarının toplam karotenoid ve toplam klorofil değerleri Tablo 4.8’de verilmiştir. Gölarmara çeşidinin en yüksek (1.07 mg/100g), Baydar-2001 çeşidinin ise en düşük (0.13mg/100g) toplam karotenoid içeriğine sahip olduğu görülmektedir. İncelenen susam yağlarının toplam klorofil değerleri ise 0.47-1.93 mg feofitin a/kg arasında tespit edilmiştir. Susam çeşidinin, yağların toplam karotenoid ve toplam klorofil değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p<0.05$ ).

**Tablo 4.8.** Soğuk pres susam yağlarının toplam karotenoid ve toplam klorofil değerleri

Örnekler	Toplam Karotenoid Miktarı (mg/100g)
Özberk 82	0.43±0.06 <sup>d*</sup>
Gölarmara	1.07±0.06 <sup>a</sup>
Muganlı 57	0.96 ± 0.01 <sup>b</sup>
Batem Aksu	0.37 ± 0.01 <sup>d</sup>
Batem Uzun	0.56 ± 0.02 <sup>c</sup>
Baydar 2001	0.13 ± 0.01 <sup>e</sup>
Örnekler	Toplam Klorofil Miktarı (mg feofitin a/kg)
Özberk 82	1.78 ±0.02 <sup>b*</sup>
Gölarmara	0.61 ±0.04 <sup>d</sup>
Muganlı 57	0.94 ± 0.01 <sup>c</sup>
Batem Aksu	1.93 ± 0.01 <sup>a</sup>
Batem Uzun	1.74 ± 0.01 <sup>b</sup>
Baydar 2001	0.47 ± 0.04 <sup>e</sup>

\*Aynı sütun içerisinde farklı üstel harfe sahip değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ( $p<0.05$ ). Sonuçlar, ortalama ± standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Tuberoso ve ark (2007) ise yaptıkları çalışmada soğuk pres keten, üzüm çekirdeği, yerfıstığı, kabak çekirdeği, kolza, ayçiçek ve mısır yağlarının toplam klorofil miktarlarını sırasıyla 3.40, 8.40, 1.50, 30.80, 9.40, 2.30 ve 4.90 mg feofitin a/kg olarak tespit etmişlerdir [31].

Güneşer ve ark (2017) yaptıkları çalışmada soğuk pres mısır yağının toplam karotenoid miktarını 0.74 mg/100g olarak bulmuşlardır [69].

Konuşkan ve ark (2019), Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yetişen ayçiçek, yer fıstığı, kolza ve hardal tohumlarından soğuk pres yöntemiyle elde ettikleri yağların toplam karotenoid miktarlarını sırasıyla 0.306, 0.183, 1.201 ve 1.893 mg/100g olarak tespit etmişlerdir [70].

Aljuhaimi ve ark (2019), badem, ceviz, fındık, yerfıstığı ve kayısı çekirdeği yağlarının toplam karotenoid miktarlarını sırasıyla 0.68, 0.76, 0.560 ve 0.57 mg/100g olarak belirlemişlerdir [75].

Klorofiller, oksijenin doymamış yağ asitlerinin oksidasyonuna neden olan tekli forma dönüşmesini kolaylaştırırken, karotenoidler doğal antioksidan olarak görev yapan biyoaktif bileşenlerdir [80]. Çalışmamızda elde ettiğimiz soğuk pres susam yağlarının toplam klorofil miktarı yapılan literatür çalışmalarıyla karşılaştırıldığında keten, üzüm, kabak, kolza, ayçiçek ve mısır yağlarınınkinden düşük bulunmuştur. Klorofil pigmenti içeriği tohumun çeşidine, olgunluk derecesine bağlı olarak değişmektedir [31, 80]. Susam yağlarının karotenoid değerlerinin ise literatür sonuçlarıyla yakın olduğu görülmektedir.

#### **4.9. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Yağ Asidi Kompozisyonu**

Çalışmamızda kullanılan soğuk pres susam tohumu yağlarının yağ asidi kompozisyonu Tablo 4.9'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en fazla bulunan yağ asitlerinin palmitik (%9.23-9.83), stearik (%4.99-5.55), oleik (%42.08-45.28) ve linoleik (%38.73-41.69) asitler olduğu görülmektedir. Oleik asit değeri en yüksek çeşit Batem Aksu (%45.28), linoleik asit değeri en yüksek çeşit ise Göl marmara (%41.69) olarak tespit edilmiştir. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, susam çeşidinin yağların yağ asidi kompozisyonu üzerine etkisi önemli bulunmuştur ( $p < 0.05$ ).

**Tablo 4.9.** Soğuk pres susam yağlarının yağ asidi kompozisyonu

% Yağ asitleri / Örnekler	% Yağ Asidi Kompozisyonu					
	Özberk-82	Gölmarmara	Muganlı-57	BatemAksu	BatemUzun	Baydar-2001
Palmitik asit (C16:0)	9.60 ± 0.00 <sup>c*</sup>	9.73±0.00 <sup>b</sup>	9.32±0.04 <sup>d</sup>	9.23±0.00 <sup>e</sup>	9.66±0.01 <sup>c</sup>	9.83±0.04 <sup>a</sup>
Palmitoleik asit (C16:1)	0.14±0.00 <sup>bc</sup>	0.15 ±0.00 <sup>ba</sup>	0.13±0.00 <sup>c</sup>	0.14±0.00 <sup>bac</sup>	0.15±0.01 <sup>a</sup>	0.15±0.00 <sup>ba</sup>
Stearik asit (C18:0)	5.36 ±0.02 <sup>b</sup>	5.42 ±0.03 <sup>b</sup>	5.55±0.07 <sup>a</sup>	5.21±0.01 <sup>c</sup>	4.99±0.00 <sup>d</sup>	5.44±0.00 <sup>b</sup>
Oleik asit (C18:1)	44.03±0.00 <sup>d</sup>	42.08±0.04 <sup>f</sup>	44.72±0.06 <sup>c</sup>	45.28±0.07 <sup>a</sup>	43.50±0.02 <sup>e</sup>	44.92±0.12 <sup>b</sup>
Linoleik asit (C18:2)	39.89±0.01 <sup>c</sup>	41.69±0.07 <sup>a</sup>	39.33±0.05 <sup>d</sup>	39.23±0.06 <sup>d</sup>	40.81±0.00 <sup>b</sup>	38.73±0.08 <sup>e</sup>
Linolenik asit (C18:3)	0.37±0.00 <sup>a</sup>	0.33±0.00 <sup>dc</sup>	0.34±0.00 <sup>dc</sup>	0.35±0.00 <sup>b</sup>	0.32±0.01 <sup>d</sup>	0.34±0.00 <sup>c</sup>
Araşidik asit (C20:0)	0.61±0.03 <sup>a</sup>	0.60±0.00 <sup>ba</sup>	0.62±0.01 <sup>a</sup>	0.56±0.00 <sup>b</sup>	0.57±0.00 <sup>b</sup>	0.60±0.00 <sup>ba</sup>
∑ Doymuş yağ asitleri	15.57±0.01 <sup>a</sup>	15.76±0.03 <sup>a</sup>	15.49±0.12 <sup>ba</sup>	15.00±0.01 <sup>c</sup>	15.21±0.02 <sup>bc</sup>	15.87±0.04 <sup>a</sup>
∑ Tekli doymamış yağ asitleri	44.17±0.00 <sup>d</sup>	42.22±0.04 <sup>f</sup>	44.85±0.07 <sup>c</sup>	45.42±0.07 <sup>a</sup>	43.65±0.01 <sup>e</sup>	45.07±0.12 <sup>b</sup>
∑ Çoklu doymamış yağ asitleri	40.25±0.01 <sup>c</sup>	42.02±0.07 <sup>a</sup>	39.66±0.05 <sup>d</sup>	39.58±0.06 <sup>d</sup>	41.14±0.00 <sup>b</sup>	39.07±0.08 <sup>e</sup>

\*Aynı satır içerisinde farklı üstel harfe sahip değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ( $p<0.05$ ). Sonuçlar, ortalama ± standart sapmaları ile birlikte verilmiştir

Ünal ve Yalçın (2008) yaptıkları bir çalışmada, Antalya ve Menemen Bölgeleri'nde yetiştirilen Göl marmara, Muganlı 57, Özberk 82 ve Çamdibi susam tohumlarından hekzan ekstraksiyonu ile elde edilen yağların palmitik asit, stearik asit, oleik ve linoleik asit içeriklerinin sırasıyla ortalama %8.9, %5.43, %41.5 ve %42.7 olarak tespit etmişlerdir [23].

Gharby ve ark (2017), Fas çeşidi soğuk pres susam yağının yağ asidi kompozisyonunu inceledikleri çalışmada, palmitik, stearik, oleik ve linoleik asitlerin % değerlerini sırasıyla 11.3, 4.9, 41.9 ve 42.1 olarak tespit etmişlerdir [63].

Thakuar ve ark (2017) ise 7 farklı susam tohumu yağında yağ asidi kompozisyonunu incelemişlerdir. Yağların palmitik, stearik, oleik ve linoleik yağ asitleri oranları sırasıyla %8.33-10.15, %5.34-7.00, %39.88-48.81 ve %31.84-41.73 olarak belirlenmiştir [81].

Kurtkaya (2018) çalışmasında Özberk-82, Göl marmara, Muganlı-57, Batem Aksu, Batem Uzun ve Baydar-2001 susam tohumu çeşitlerinden soğuk ekstraksiyon yöntemi ile elde ettiği yağların yağ asidi kompozisyonunu belirlemiştir. Yağların palmitik asit, stearik asit, oleik asit ve linoleik asit içerikleri sırasıyla ortalama %8.18, %5.79, %43.32 ve %40.96 olarak tespit edilmiştir [14].

Bir başka çalışmada, Güneydoğu Bölgesi'nde yetiştirilen susam çeşitlerinin palmitik ve oleik asit oranları sırasıyla ortalama %9.7 ve %45.3 olarak tespit edilmiştir [81]. Susam yağlarının toplam yağ asitlerinin yaklaşık %95'ini oleik asit (%44) oluştururken geri kalanını linoleik (%34), palmitik (%10) ve stearik (%7) asitler oluşturmaktadır [82].

Yağ asidi bileşimi, yağın besin değeri, stabilitesi ve fiziksel özellikleri ile ilişkilidir [39]. Yukarıda verilen literatür bulguları değerlendirildiğinde çalışmamızda kullanılan soğuk pres susam tohum yağlarının yağ asidi bileşimi değerleri Fas çeşidi susam yağı, Antalya ve Menemen'de yetiştirilen susam tohumu yağları ile yakın bulunmuştur. Susam tohumlarının yağ asidi bileşimi, iklim durumu, toprak durumu ve bitkinin olgunluğu gibi farklı faktörlere bağlıdır [39]. Dünya çapında susam yağındaki yağ asitleri bileşimi, siyah, kahverengi ve beyaz olmak üzere farklı susam tohumları arasında değişkenlik göstermektedir [81].

#### **4.10. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Tokoferol Miktarları**

Soğuk pres susam yağlarının tokoferol içeriği Tablo 4.10'da verilmiştir. Tokoferollerden  $\alpha$ - ve  $\gamma$ - tokoferoller tespit edilmiştir ve miktarları sırasıyla 161.80-498.53 mg/100g ve 3.95-19.22 mg/100g olarak bulunmuştur. Ancak  $\beta$ - ve  $\delta$ -tokoferollere rastlanmamıştır. Susam çeşidinin yağların tokoferol içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p<0.05$ ).



**Tablo 4.10.** Soğuk pres susam tohumu yağlarının tokoferol içerikleri

	<b>Tokoferol İçeriği (mg/100g)</b>					
	Özberk-82	Gölmarmara	Muganlı-57	Batem Aksu	Batem Uzun	Baydar-2001
<b><math>\alpha</math>-Tokoferol</b>	418.91±16.47 <sup>a*</sup>	498.53±69.03 <sup>a</sup>	166.35±4.89 <sup>b</sup>	161.80±9.32 <sup>b</sup>	477.23±52.53 <sup>a</sup>	167.71±10.82 <sup>b</sup>
<b><math>\gamma</math>-Tokoferol</b>	8.75±0.92 <sup>c</sup>	19.22±4.88 <sup>a</sup>	3.95±0.07 <sup>c</sup>	5.01±0.24 <sup>c</sup>	13.90±0.70 <sup>b</sup>	4.68±0.35 <sup>c</sup>
<b><math>\Sigma</math> Tokoferol</b>	427.67±17.39 <sup>b</sup>	517.75±64.15 <sup>a</sup>	170.30±4.96 <sup>c</sup>	166.81±9.56 <sup>c</sup>	491.13±53.22 <sup>ba</sup>	172.39±11.17 <sup>c</sup>

\*Aynı satır içerisinde farklı üstel harfe sahip değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ( $p<0.05$ ). Sonuçlar, ortalama  $\pm$  standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Bozkurt (2006), 22 farklı Türkiye çeşidi susam tohumu kullanarak yaptığı tez çalışmasında, soğuk ekstraksiyon yöntemiyle elde ettiği yağlarda lignan ve tokoferol içeriklerini araştırmıştır. Özberk-82, Gölarmara, Muganlı-57 ve Baydar-2001 çeşitlerinin  $\alpha$ -,  $\gamma$ - ve  $\delta$ -tokoferol içeriklerini sırasıyla 4.6, 705.1 ve 29.7 mg/100g; 7.7, 511.4 ve 10.1 mg/100g; 4.6, 737.9 ve 8.6 mg/100g; 8.9, 554.9 ve 26.9 mg/100g olarak tespit etmiştir [11].

Gharby ve ark (2017) yaptığı bir çalışmada Fas çeşidi soğuk pres susam yağının  $\alpha$ -tokoferol,  $\gamma$ -tokoferol ve  $\delta$ -tokoferol içeriklerini sırasıyla %2.2, %90.5 ve %7.3 olarak tespit etmişlerdir. Toplam tokoferol miktarı ise 446 mg/kg olarak bulunmuştur [63].

Kurtkaya (2018), soğuk ekstraksiyon yöntemi ile elde ettiği Özberk-82, Gölarmara, Muganlı-57, Batem Aksu, Batem Uzun ve Baydar-2001 susam tohumu yağlarının  $\alpha$ -tokoferol ve  $\gamma$ -tokoferol miktarlarını sırasıyla ortalama 0.094 mg/mL ve 0.316 mg/mL olarak tespit etmiştir [14].

Ergönül ve Özbek (2018) yaptıkları çalışmada soğuk pres yöntemiyle elde ettikleri farklı çeşit aspir ve ketencik yağlarının  $\alpha$ -tokoferol ve  $\gamma$ -tokoferol miktarlarının sırasıyla 110.41 ile 129.91 mg/100g; 1.93 ile 2.56 mg/100g; 1.83 ile 8.79 mg/100g ve 2.29 ile 5.82 mg/100g değerleri arasında olduğunu tespit etmişlerdir [39].

Bozkurt (2006) ise yine yerli çeşit Özberk-82, Gölarmara, Muganlı-57 ve Baydar-2001 susam tohumlarından soğuk ekstraksiyon yöntemi ile elde ettiği yağların  $\alpha$ -tokoferol ve  $\gamma$ -tokoferol miktarlarını sırasıyla ortalama 6.45 mg/kg ve 625.32 mg/kg olarak tespit etmiştir [11].

Bitkisel yağlardaki tokoferol miktarları, çeşit, bitki genotipi, büyüme, iklimsel koşullar, depolama koşulları ve yağ üretim yöntemlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir [27, 39]. Literatür çalışmalarıyla karşılaştırıldığında, çalışmamızda  $\alpha$ -tokoferol miktarı  $\gamma$ -tokoferol miktarına göre daha yüksek oranda tespit edilmiştir. Bu fark tohum çeşidi ve olgunluk, iklim koşulları ile yağın üretim yöntemi gibi faktörlerden kaynaklıdır. Çalışmamızda tespit ettiğimiz tokoferol



içeriklerinin yapılan literatür çalışmaları ile kıyaslandığında aspir ve ketencik yağlarının tokoferol içeriklerinden daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

#### **4.11. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Sterol İçerikleri**

Çalışmamızda kullanılan susam yağı örneklerinin sterol kompozisyonu Tablo 4.11'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde,  $\beta$ -sitosterol, kampesterol ve stigmasterol başlıca tespit edilen sterol çeşitleridir. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre susam çeşidinin yağların sterol kompozisyonu üzerine etkisi önemli bulunmuştur ( $p<0.05$ ).



**Tablo 4.11.** Soğuk pres susam tohumu yağlarının sterol kompozisyonu değerleri

Desmetil Sterol / Örnekler	Sterol Kompozisyonu (mg / kg)					
	Özberk-82	Gölmarmara	Muganlı-57	BatemAksu	BatemUzun	Baydar-2001
Brasikasterol	6.20±0.32 <sup>b*</sup>	19.51± 0.41 <sup>a</sup>	5.41±0.98 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	2.41±0.02 <sup>c</sup>	1.45±0.00 <sup>c</sup>
Kampesterol	103.85±0.44 <sup>a</sup>	85.31±2.41 <sup>b</sup>	73.40±14.23 <sup>b</sup>	115.30±0.38 <sup>a</sup>	108.87±0.37 <sup>a</sup>	115.08±0.44 <sup>a</sup>
Stigmasterol	39.03±3.43 <sup>a</sup>	30.23±0.21 <sup>c</sup>	26.55±3.95 <sup>c</sup>	39.64±0.15 <sup>a</sup>	31.58±0.11 <sup>bc</sup>	36.72±0.12 <sup>ba</sup>
Toplam β-Sitosterol	443.21±0.79 <sup>ba</sup>	367.86±2.54 <sup>dc</sup>	316.25±70.68 <sup>d</sup>	498.06±1.07 <sup>a</sup>	423.39±1.16 <sup>bc</sup>	475.83±1.11 <sup>ba</sup>
Δ <sup>7</sup> Stigmasterol	8.03±0.71 <sup>a</sup>	7.13±0.08 <sup>a</sup>	2.91±0.69 <sup>c</sup>	5.13±0.29 <sup>b</sup>	4.54±0.23 <sup>b</sup>	4.43±0.07 <sup>b</sup>
Δ <sup>7</sup> Avenasterol	4.18± 0.45 <sup>a</sup>	1.97±0.17 <sup>cb</sup>	2.98±0.68 <sup>b</sup>	1.37±0.23 <sup>c</sup>	2.72±0.22 <sup>b</sup>	2.00±0.08 <sup>cb</sup>
Eritroldiol	0.49 ±0.05 <sup>c</sup>	1.81±0.04 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	1.24±0.48 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>
Uvaol	4.71 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.40±0.27 <sup>cb</sup>	0.47±0.12 <sup>cd</sup>	2.08±0.86 <sup>b</sup>	0.42±0.01 <sup>d</sup>	0.53±0.00 <sup>cd</sup>
Toplam Sterol	609.71	515.21	427.97	662.83	573.92	636.03

\*Aynı satır içerisinde farklı üstel harfe sahip değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ( $p<0.05$ ). Sonuçlar, ortalama ± standart sapmaları ile birlikte verilmiştir

Ünal ve Yalçın (2008) yaptıkları çalışmada Türkiye’de yetiştirilen susam tohumlarından hekzan ekstraksiyonuyla elde ettikleri yağlarda yağ asitleri, trigliserit ve sterol kompozisyonunu incelemişlerdir. Çalışmalarında Antalya ve Menemen’de yetiştirilen Özberk, Gölarmara ve Muganlı çeşitlerinde  $\beta$ -sitosterol (%62.08), kampesterol (%18.42), stigmasterol (%7.17) ve  $\Delta^5$ -avenasterol (%6.53) baskın olarak tespit edilmiştir [23].

Gharby ve ark (2017) ise Fas çeşidi soğuk pres susam yağının  $\beta$ -sitosterol, kampesterol ve  $\Delta^5$  avenasterol içeriklerini sırasıyla %59.9, %17.8 ve %7.5 olarak tespit etmişlerdir [63].

Sterol kompozisyonu her bitkisel yağ için parmak izi özelliği taşımakta olup yağın orjinalliğini tespit etmek amacıyla değerlendirilen çok önemli bir parametredir. Dismetilsterollerden  $\beta$ -sitosterol antioksidan aktivitesi ve anti-karsinojen, anti-inflamatuar ve kolesterol düşürücü olarak insan sağlığı üzerindeki yararlı ve fizyolojik etkileri nedeniyle önem taşımaktadır [27]. Çalışmamızda susam yağlarının belirlenen sterollerden  $\beta$ -sitosterolce zengin olduğu yapılan çalışmalarla da bu açıdan uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

#### **4.12. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Fenolik Bileşen İçerikleri**

Analizini yaptığımız fenolik maddeler ve alıkonma süreleri sırasıyla gallik asit=6-6.2 dk, 3-hydroxytyrosol=8-8.5 dk, protokateşik asit=9-10 dk, tyrosol=11 dk, 4-hidroksibenzoik asit=12-13 dk, kateşin=14 dk, kaffeik asit=16.5 dk, vanillik asit=15-16 dk, siringik asit=17 dk, p-coumarik asit=21-22 dk, veratrik asit=22 dk, ferulik asit=22 dk, sinapik asit=23-24 dk, o-coumarik asit=26 dk, ellagik asit=27 dk, oleuropein=28 dk, pinosresinol=32 dk, luteolin=35 dk, kuersetin=35-36 dk, apigenin=39 dk olarak belirlenmiştir. Ancak çalışmamızda soğuk pres susam yağlarında pik veren alıkonma süreleri içerisinde üstteki fenolik bileşikler tespit edilememiştir.

### **4.13. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Oksidatif Stabilite Analizi Sonuçları**

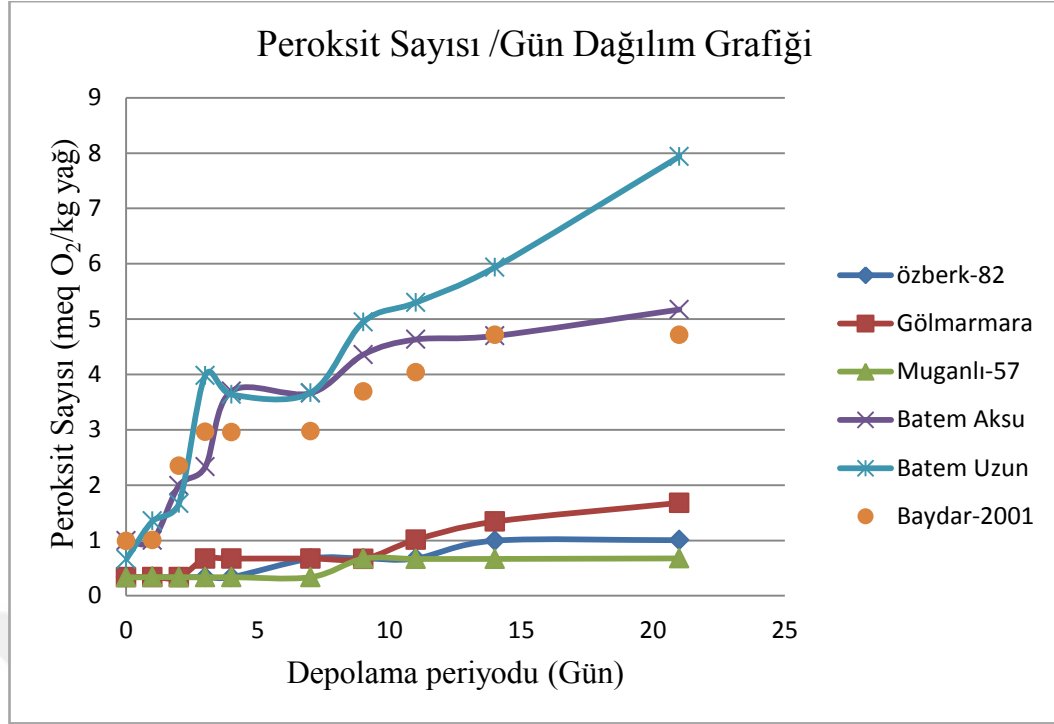
#### **4.13.1. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Peroksit Sayısı Değerleri**

Schaal oven testi (60 °C) koşullarında soğuk pres susam yağlarının peroksit sayısı değerleri Tablo 4.12 ve peroksit sayısının günlere göre değişimi Şekil 4.4'de verilmiştir. İncelenen susam yağı çeşitlerinden Munganlı-57 çeşidinin peroksit değeri depolama sonunda 0.33 meq  $O_2$ /kg değerinden 0.68 meq  $O_2$ /kg değerine kadar yükselerek en düşük peroksit değerli çeşit olarak tespit edilmiştir. Buna karşın Batem Uzun örneğinin peroksit değeri 0.66 meq  $O_2$  /kg iken depolama sonunda 7.94 meq  $O_2$  /kg'a yükselerek en yüksek peroksit değerine sahip çeşit olarak belirlenmiştir. Depolama süresi  $\times$  susam çeşidi interaksyonunun yağların peroksit sayısı değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p < 0.05$ ).

**Tablo 4.12.** Soğuk pres susam yağlarının peroksit sayısı sonuçları ve istatistiksel etkileşim değerleri

<b>Peroksit Sayısı Değerleri (meq O<sub>2</sub>/kg)</b>										
<b>Çeşit /Günler</b>	<b>0.Gün</b>	<b>1.Gün</b>	<b>2.Gün</b>	<b>3.Gün</b>	<b>4.Gün</b>	<b>7.Gün</b>	<b>9.Gün</b>	<b>11.Gün</b>	<b>14.Gün</b>	<b>21.Gün</b>
Özberk-82	0.34±0.00	0.34±0.00	0.34±0.00	0.34±0.00	0.34±0.00	0.67±0.00	0.68±0.00	0.67±0.02	1.00±0.04	1.01±0.01
Gölmarmara	0.34±0.00	0.33±0.00	0.34±0.00	0.67±0.01	0.67±0.01	0.67±0.00	0.67±0.00	1.01±0.01	1.34±0.00	1.68±0.02
Muganlı-57	0.33±0.00	0.34±0.00	0.34±0.00	0.33±0.00	0.34±0.00	0.34±0.00	0.67±0.01	0.67±0.01	0.67±0.02	0.68±0.00
Batem Aksu	0.99±0.01	1.00±0.00	1.99±0.04	2.33±0.06	3.70±0.02	3.66±0.05	4.36±0.00	4.63±0.00	4.70±0.01	5.17±0.04
Batem Uzun	0.66±0.00	1.35±0.00	1.67±0.01	3.98±0.05	3.64±0.02	3.67±0.02	4.95±0.04	5.30±0.05	5.94±0.01	7.94±0.10
Baydar-2001	0.99±0.00	1.00±0.01	2.35±0.00	2.96±0.06	2.96±0.00	2.97±0.01	3.69±0.01	4.04±0.01	4.72±0.02	4.71±0.00
P değeri	< 0.0001									
LSD	0.0421									

\*Sonuçlar, ortalama ± standart sapmaları ile birlikte verilmiştir



**Şekil 4.4.** Soğuk pres susam tohumu yağlarının peroksit sayısı değerlerinin günlere göre değişimi

Şekil 4.4'den de görüleceği üzere Batem Aksu, Batem Uzun ve Baydar-2001 çeşitlerinin peroksit sayısının diğer çeşitlerden daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Peroksit sayısı değerlerinde gözlenen farklılıkların, çeşit özelliklerinin yanı sıra yağ eldesi sırasındaki şartlardan da etkilenmiş olabileceği düşünülmektedir.

Çalık (2017) yaptığı tez çalışmasında soğuk pres keten tohumu, üzüm çekirdeği ve çörekotu tohum yağlarının farklı depolama koşullarında oksidatif stabilitelelerini araştırmıştır. Schaal oven hızlandırılmış oksidasyon testi 60 °C'de 6 gün uygulanmıştır. Keten tohumu yağında peroksit değeri 2. gün ani bir artış göstermiş ve 29.97 meq  $O_2$ /kg değerine ulaşmış ve depolamanın geri kalanında da bu yüksek peroksit değerleri görülmeye devam etmiştir. Üzüm çekirdeği yağı ise depolamanın 1. gününde ciddi bir artış göstermiş, depolamanın son gününe kadar dalgalı da olsa devam etmiş ve 6. gün sonunda ciddi bir düşüş göstermiştir. Çörekotu yağı depolamanın 4. gününe kadar paralel bir seyir göstermesine karşın bundan sonra hafif artış göstererek 5. gün en yüksek peroksit değeri olan 53.53 meq  $O_2$ /kg değerine yükselmiştir [83].

Kıralan ve Kıralan (2017) soğuk pres ayçiçek yağının farklı depolama koşullarındaki oksidatif stabilitesini incelemişlerdir. 60 °C'de 6 gün depolanarak Schaal oven testi uygulanmıştır. Depolamanın başlangıcında 29.58 meq  $O_2$ /kg olan peroksit değeri 6 günün sonunda 79.68 meq  $O_2$ /kg değerine yükselmiştir [84].

Kayahan (2017) gerçekleştirdiği tez çalışmasında soğuk pres erik çekirdeği ve kayısı çekirdeği yağlarının oksidatif stabilitesini 60 °C'de 12 gün etüvde depolayarak incelemiştir. Depolama süresince erik çekirdeği yağının peroksit değeri 4.87 meq  $O_2$ /kg'dan 63.82 meq  $O_2$ /kg'a, kayısı çekirdeği yağının ise 2.42 meq  $O_2$ /kg'dan 24.41 meq  $O_2$ /kg'a ulaşmıştır. Depolama süresince erik çekirdeği yağının peroksit değerinin kayısı çekirdeği yağından daha yüksek olduğunu tespit etmiştir [85].

Kıralan ve ark (2018) ise soğuk pres ketencik yağının oksidatif stabilitesini Schaal oven testi (60 °C/10 gün) ile belirlemişlerdir. Soğuk pres ketencik yağının peroksit değeri depolamanın başlangıcında 3.57 meq  $O_2$ /kg iken depolamanın sonunda 107.30 meq  $O_2$ /kg olarak tespit etmişlerdir [86].

Kurtkaya (2018), soğuk ekstraksiyon ile elde ettiği Özberk-82, Göl marmara, Muganlı-57, Batem Aksu, Batem Uzun ve Baydar-2001 susam tohumu yağlarının peroksit sayısı değerlerini sırasıyla 1.15, 0.69, 1.01, 0.79, 0.86 ve 1.05 mg  $O_2$ /kg olarak tespit etmiştir [60].

Peroksit değeri yenilebilir yağların kalitesini ve oksidatif stabilitesini belirlemek amacıyla kullanılan en yaygın parametrelerden biridir [86]. Bitki adı ile Anılan Yemeklik Yağlar Tebliği'ne göre soğuk pres ve sızma yağlarda peroksit sayısı en çok 15 meq  $O_2$ /kg olarak belirlenmiştir [33]. Çalışmamızdaki susam yağı örneklerinin peroksit değerlerinin Tebliğ'de yer alan sınır değerinin altında olduğu görülmektedir. Ayrıca susam yağlarının peroksit sayısı değerleri yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında diğer yağlı tohum ve çekirdek yağlarına kıyasla oldukça düşük değerlerde bulunmuştur. Peroksit sayısı ile DPPH antioksidan aktivite değerleri arasında negatif seviyede düşük ilişki olduğu tespit edilmiştir. peroksit sayısı ve *p*-anisidin değerleri arasında ise kuvvetli negatif seviyede korelasyon olduğu görülmüştür (sırasıyla *Pearson r*= -0.10770; *p*=0.7390; *Pearson r*= -0.89556; *p*< .0001 ) (EK A.3).

#### 4.13.2. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Konjuge-dien Değerleri

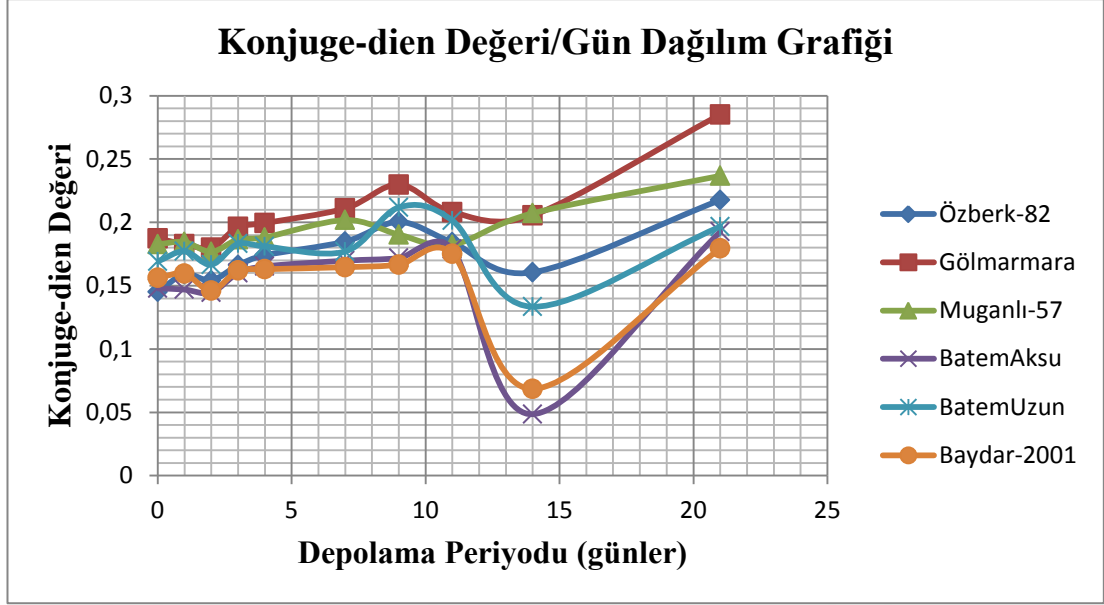
Soğuk pres susam yağlarının 60 °C’de 21 gün uygulanmış Schaal oven testi konjuge-dien değeri sonuçları Tablo 4.13’de ve konjuge-dien değerlerinin günlere göre değişimi Şekil 4.5’de verilmiştir. Tablo 4.13’de verilen sonuçlar incelendiğinde Özberk-82, Göl marmara ve Muganlı örneklerinin konjuge dien değerleri depolama boyunca dalgalı artış göstermesine karşın, Batem Aksu, Batem Uzun ve Baydar-2001 örneklerin konjuge-dien değerleri depolamanın başlangıcıyla paralel artış göstermiş, 14. günde azalmış ancak daha sonra yine artmıştır. Depolama süresi × susam çeşidi etkileşiminin yağların konjuge-dien değerleri üzerine istatistiksel olarak etkisi önemli bulunmuştur ( $p < 0.05$ ).



**Tablo 4.13.** Soğuk pres susam yağlarının konjuge-dien sonuçları ve istatistiksel etkileşim değerleri

<b>Konjuge-dien Değeri (%)</b>										
<b>Çeşit/Günler</b>	<b>0.Gün</b>	<b>1.Gün</b>	<b>2.Gün</b>	<b>3.Gün</b>	<b>4.Gün</b>	<b>7.Gün</b>	<b>9.Gün</b>	<b>11.Gün</b>	<b>14.Gün</b>	<b>21.Gün</b>
Özberk-82	0.15±0.00	0.16±0.00	0.15±0.00	0.17±0.00	0.17±0.00	0.18±0.00	0.20±0.00	0.18±0.01	0.16±0.00	0.22±0.01
Gölmarmara	0.19±0.00	0.18±0.00	0.18±0.00	0.20±0.00	0.20±0.00	0.21±0.00	0.23±0.01	0.21±0.00	0.21±0.00	0.29±0.01
Muganlı-57	0.18±0.00	0.18±0.00	0.18±0.00	0.19±0.00	0.19±0.00	0.20±0.00	0.19±0.00	0.18±0.00	0.21±0.01	0.24±0.00
Batem Aksu	0.15±0.00	0.15±0.01	0.14±0.00	0.16±0.00	0.17±0.00	0.17±0.00	0.17±0.00	0.18±0.00	0.05±0.00	0.19±0.00
Batem Uzun	0.17±0.00	0.18±0.00	0.17±0.00	0.18±0.00	0.18±0.00	0.18±0.00	0.21±0.00	0.20±0.01	0.13±0.00	0.20±0.02
Baydar-2001	0.16±0.00	0.16±0.00	0.15±0.00	0.16±0.00	0.16±0.01	0.16±0.00	0.17±0.00	0.18±0.01	0.07±0.01	0.18±0.00
P Değeri	<0.0001									
LSD	0.0066									

\*Sonuçlar, ortalama ± standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.



**Şekil 4.5.** Soğuk pres susam yağlarının konjuge-dien değerlerinin günlere göre değişimi

Çalık (2017) yaptığı tez çalışmasında soğuk pres keten tohumu, üzüm çekirdeği ve çörekotu tohum yağlarının 60 °C’de 6 gün boyunca oksidatif stabilitelerini araştırmıştır. Keten tohumu yağının konjuge dien değerinin sürekli bir artış gösterdiği ve 6 günlük depolamanın sonunda %6.68 değerine, üzüm çekirdeği yağında depolama süresince genel bir artış olduğu ve 5. günde en yüksek değer olan %16.63 değerine ulaştığı görülmüştür. Üzüm çekirdeği ve çörekotu yağının depolama sırasında konjuge dien değerleri keten tohumu yağına kıyasla daha yüksek değerler göstermiştir [83].

Kıralan ve Kıralan (2017) yaptıkları çalışmada istanbul’da yerel bir işletmeden temin ettikleri soğuk pres ayçiçek yağına hızlandırılmış oksidatif testlerden Schaal oven testini uygulamışlardır. Başlangıçtaki konjuge dien değeri %12.09 iken 60 °C’de 6 gün etüvde depolama sonunda sonunda %20.03 değerine ulaşmıştır. Konjuge dien değeri depolamanın başlangıcından itibaren artış göstermiş, depolama süresince dalgalanmalar gösterse de genel bir artış olduğu tespit edilmiştir [84].

Kayahan (2017) ise yaptığı tez çalışmasında soğuk pres erik çekirdeği ve kayısı çekirdeği yağlarının oksidatif stabilitelerini incelemiştir. Termal oksidasyon testlerinden Schaal oven testi 60 °C’de 12 gün boyunca etüvde uygulanmıştır. Erik

çekirdeği yağının konjuge dien değeri başlangıçta %1.93 iken depolama sonunda %12.38'e kadar yükselmiştir. Kayısı çekirdeği yağıninki ise %1.86'dan %4.75'e çıkmıştır [85].

Peroksit sayısı gibi konjuge dien değeri de birincil oksidasyon ürünleri hakkında fikir veren bir diğer parametredir [6]. Yağ çeşidine ve yağdaki oksidasyona bağlı olmakla birlikte bitkisel yağların konjusedien değerleri genellikle %0-6 arasında değişiklik göstermektedir [28]. Çalışmamızdaki susam yağı örneklerinin konjuge-dien değerlerinin belirtilen sınırlar içerisinde yer aldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarla kıyasladığımızda susam yağlarının diğer yağlı tohum ve çekirdek yağlarına kıyasla daha düşük konjuge dien değerine sahip olduğu görülmektedir.

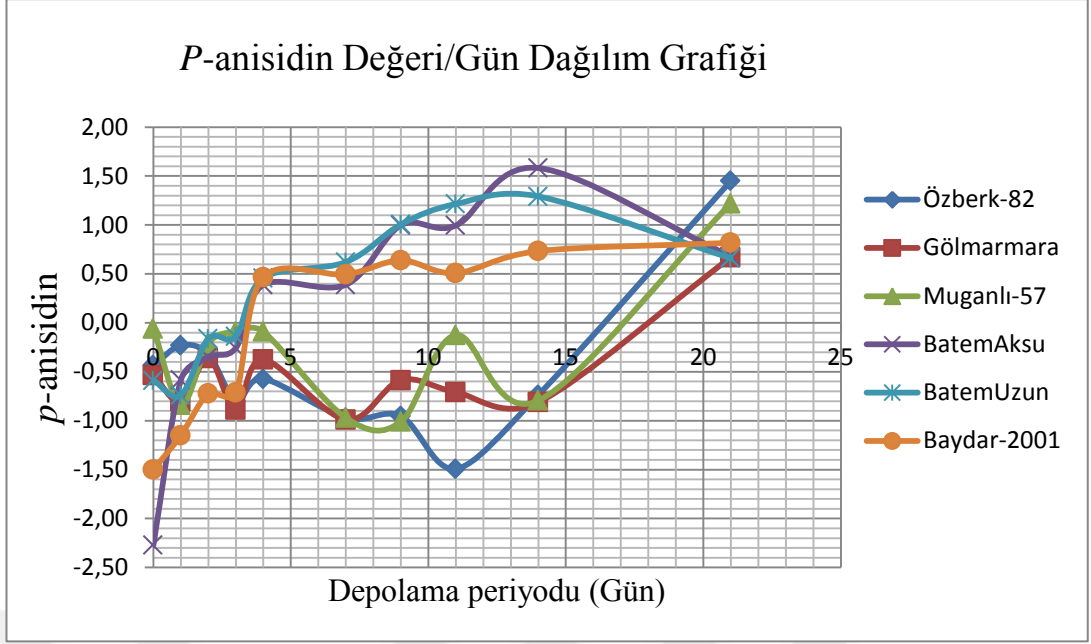
#### **4.13.3. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının *P*-anisidin Değerleri**

Soğuk preslenmiş susam yağlarının 60 °C'de 21 gün uygulanmış Schaal oven testi *p*-anisidin değeri sonuçları Tablo 4.14'de, *p*-anisidin değerlerinin günlere göre değişimi ise Şekil 4.6'da verilmiştir. Tablo 4.14'de verilen sonuçlar incelendiğinde Özberk-82 çeşidinin *p*-anisidin değeri depolama sonunda 1.45 değerine kadar yükselme göstermiştir ve *p*-anisidin değeri en yüksek çeşit olarak tespit edilmiştir. Buna karşın Batem Uzun örneğinin *p*-anisidin değeri depolama sonunda 0.66 değerine yükselerek en düşük *p*-anisidin değerine sahip çeşit olarak belirlenmiştir. Depolama süresi×susam çeşidi etkileşiminin *p*-anisidin değerleri üzerine istatistiksel olarak etkisi önemli bulunmuştur ( $p<0.05$ ).

**Tablo 4.14.** Soğuk pres susam yağlarının *p*-anisidin sonuçları ve istatistiksel etkileşim değerleri

<b><i>P</i>-anisidin Değeri</b>										
<b>Çeşit/Günler</b>	<b>0.Gün</b>	<b>1.Gün</b>	<b>2.Gün</b>	<b>3.Gün</b>	<b>4.Gün</b>	<b>7.Gün</b>	<b>9.Gün</b>	<b>11.Gün</b>	<b>14.Gün</b>	<b>21.Gün</b>
Özberk-82	-0.43±0.08	-0.23±0.03	-0.32±0.06	-0.79±0.07	-0.57±0.23	-0.97±0.01	-0.95±0.52	-1.49±0.23	-0.74±0.64	1.45±0.02
Gölmarmara	-0.53±0.01	-0.81±0.03	-0.36±0.01	-0.89±0.27	-0.37±0.01	-0.97±0.03	-0.59±0.13	-0.71±0.26	-0.81±0.42	0.67±0.01
Muganlı-57	-0.06±0.10	-0.84±0.19	-0.21±0.01	-0.09±0.04	-0.09±0.01	-0.09±0.03	-1.01±0.19	-0.13±0.12	-0.79±0.58	1.22±0.01
Batem Aksu	-2.27±0.12	-0.58±0.14	-0.35±0.06	-0.26±0.14	0.39±0.01	0.39±0.08	1.00±0.04	0.99±0.09	1.58±0.11	0.68±0.14
Batem Uzun	-0.59±0.19	-0.74±0.06	-0.16±0.01	-0.14±0.01	0.46±0.16	0.62±0.19	1.00±0.19	1.21±0.12	1.29±0.23	0.66±0.19
Baydar-2001	-1.50±0.25	-1.15±0.06	-0.72±0.08	-0.71±0.08	0.47±0.13	0.50±0.18	0.64±0.07	0.51±0.16	0.73±0.42	0.82±0.11
P değeri	<0.0001									
LSD	0.2758									

\*Sonuçlar, ortalama ± standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.



**Şekil 4.6.** Soğuk pres susam yağlarının *p*-anisidin değerlerinin günlere göre değişimi

Sadeghi ve ark (2019) soğuk pres susam, ayçiçek ve zeytin yağlarının farklı depolama koşullarında oksidatif stabilitesini incelemişlerdir. Çalışmalarında yağları üç ay 4 °C, 25 °C ve 37 °C sıcaklıklarda karanlıkta depolayarak peroksit, konjuge-dien ve *p*-anisidin değerlerini ölçmüşlerdir. Susam yağının 4 °C, 25 °C ve 37 °C sıcaklıklardaki *p*-anisidin değeri sırasıyla 0.26-0.8, 0.26-1.45 ve 0.26-0.96 olarak tespit edilerek sonuçlar karşılaştırıldığında susam yağının içerdiği sesamol, sesamolin ve sesamin antioksidanlarının ve tokoferol bileşiklerinin varlığına bağlı olarak, zeytin ve ayçiçek yağlarına kıyasla oksidasyona daha dirençli olduğu tespit edilmiştir [87].

İsmail ve ark. (2016) yağların yüksek omega-3 içeriğinin (örneğin krill veya somon) ve astaksantin renk maddesi içeriğinin *p*-anisidin değerlerine etki ederek ölçümler arası sapmaların fazla olduğunu bildirmişlerdir [88]. Bir başka çalışmada ise *p*-anisidin değeri sonuçlarının aynı numuneler içerisinde düzensizlik gösterdiği ve rasgele artıp azaldığı gözlenmiştir [89]

Dülger (2019) çalışmasında Palancı, VD1sn8, VD1sn6 ve Nussem olmak üzere dört farklı kabak çekirdeği çeşidinden elde ettiği soğuk pres yağları 60 °C'de 15 gün boyunca Schaal oven testine tâbi tutarak oksidatif stabilitesini incelemiştir. Soğuk pres kabak çekirdeği yağlarının depolama öncesi ve sonrasındaki *p*-anisidin

değerlerini sırasıyla; 2.89-3.48; 0.84-2.49; 0.83-2.45 ve 0.83-2.45 olarak tespit etmiştir. Depolama sonrası *p*-anisidin değerindeki değişim; Palancı ve VD1sn8 çeşitleri için sırasıyla %20.42 ve %196.43 olarak, VD1sn6 ve Nusem çeşitleri için ise % 195.18 olarak hesaplanmıştır [90].

*p*-anisidin değeri yağların oksidasyonu sırasında hidroperoksitlerin yıkımından oluşan ikincil oksidasyon ürünleri hakkında ve peroksit sayısı ile birlikte yağların ransiditesi ile ilgili fikir veren bir parametredir [90]. Bitkisel yağların *p*-anisidin değerleri ile ilgili bir spesifikasyon bulunmamaktadır. Ancak eikosapentaenoik asit (C20:5) ve dokosaheksaenoik asit (C22:6) gibi çoklu doymamış yağ asitlerini yüksek miktarda içeren balık yağı, balıkciğeri yağı, konsantre balık yağı ve konsantre balık yağı etil esterleri için Codex Alimentarius Komisyonu tarafından maksimum *p*-anisidin değeri 20 olarak belirlenmiştir [28]. Çalışmamızda soğuk pres susam yağlarının *p*-anisidin değerleri Codex'de belirlenen maksimum değerinin altında belirlenmiştir. Ayrıca çalışmamızda elde edilen negatif *p*-anisidin değerlerinin, düşük yöntem hassasiyeti, örneğin antioksidan içeriği ve kullanılan reaktif türü gibi faktörlerden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Yapılan literatür çalışması ile kıyasladığımızda susam yağının kabak çekirdeği yağına göre daha düşük *p*-anisidin değerine sahip olduğu görülmektedir.

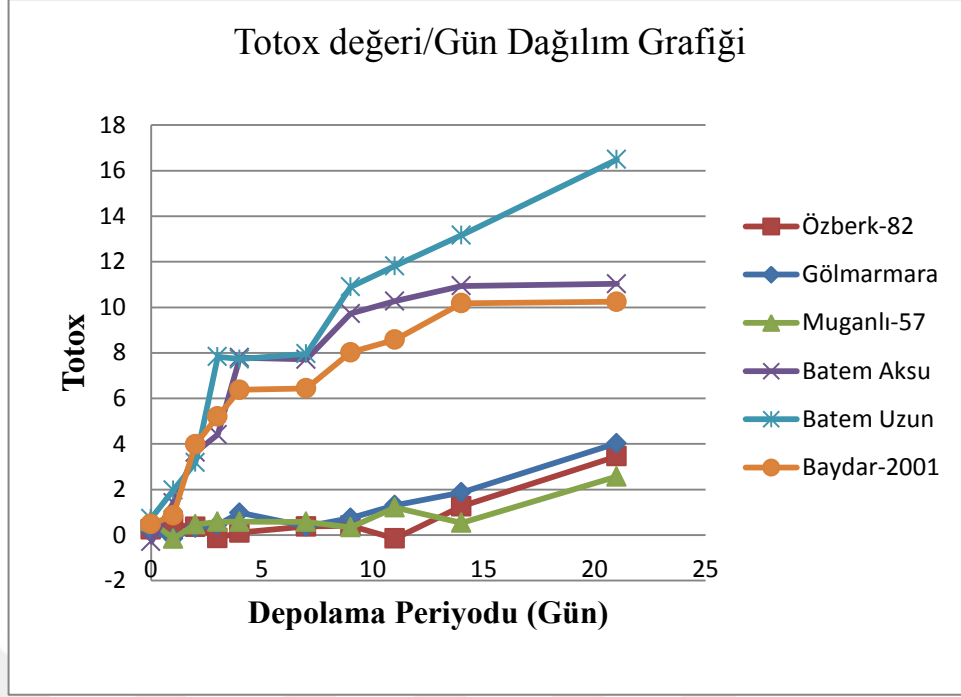
#### **4.13.4. Soğuk Pres Susam Tohumu Yağlarının Totox (Toplam Oksidasyon) Değeri**

Soğuk pres susam yağlarının 60 °C'de 21 gün uygulanmış Schaal oven testi Totox değeri sonuçları Tablo 4.15'de ve Totox değerlerinin günlere göre değişimi Şekil 4.7'de verilmiştir. Tablo 4.15'de verilen sonuçlar incelendiğinde 21. gün sonunda en yüksek Totox değeri 16.49 ile Batem Uzun çeşidinde, 2.57 değeri ile en düşük Muganlı-57 çeşidinde tespit edilmiştir. Depolama süresi × susam çeşidi interaksyonunun yağların Totox değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p < 0.05$ ).

**Tablo 4.15.** Soğuk pres susam yağlarının Totox değeri sonuçları ve istatistiksel etkileşim değerleri

<b>Totox Değeri</b>										
<b>Çeşit/Günler</b>	<b>0.Gün</b>	<b>1.Gün</b>	<b>2.Gün</b>	<b>3.Gün</b>	<b>4.Gün</b>	<b>7.Gün</b>	<b>9.Gün</b>	<b>11.Gün</b>	<b>14.Gün</b>	<b>21.Gün</b>
Özberk-82	0.25±0.08	0.45±0.03	0.36±0.06	-0.13±0.05	0.11±0.23	0.38±0.01	0.41±0.52	-0.15±0.25	1.26±0.64	3.46±0.04
Gölmarmara	0.15±0.01	-0.14±0.04	0.31±0.03	0.45±0.27	0.98±0.02	0.38±0.04	0.75±0.15	1.31±0.23	1.87±0.40	4.03±0.04
Muganlı-57	0.60±0.01	-0.16±0.18	0.47±0.01	0.58±0.03	0.59±0.01	0.58±0.02	0.34±0.19	1.21±0.13	0.54±0.57	2.57±0.03
Batem Aksu	-0.29±0.13	1.42±0.15	3.63±0.03	4.41±0.27	7.79±0.01	7.71±0.19	9.72±0.04	10.27±0.01	10.94±0.04	11.03±0.06
Batem Uzun	0.73±0.18	1.97±0.04	3.18±0.04	7.83±0.08	7.73±0.20	7.96±0.13	10.90±0.18	11.82±0.15	13.17±0.28	16.49±0.08
Baydar-2001	0.48±0.25	0.86±0.07	3.98±0.15	5.21±0.04	6.38±0.11	6.44±0.15	8.02±0.10	8.58±0.09	10.18±0.45	10.24±0.11
P değeri	<0.0001									
LSD	0.2774									

\*Sonuçlar, ortalama ± standart sapmaları ile birlikte verilmiştir



**Şekil 4.7.** Soğuk pres susam tohumu yağlarının Totox değerlerinin günlere göre değişimi

Dülger (2019) yaptığı tez çalışmasında kabak çekirdeklerinden soğuk pres yöntemiyle elde ettiği kabak yağlarının oksidatif stabilitesini belirlemek amacıyla Schaal oven testini 60 °C'de 15 gün boyunca etüvde depolayarak belirlemiştir. Palancı, VD1sn8, VD1sn6 ve Nussem çeşitlerinde depolama boyunca Totox değerinin arttığını ancak 9. gün azalıp sonraki günler tekrar artarak 14.gün sonunda sırasıyla 59.90, 59.61, 57.72 ve 82.61 olarak yüksek değerlere ulaştığını ortaya koymuştur. Nussem çeşidinin de en yüksek Totox değerine sahip çeşit olduğunu tespit etmiştir [90].

Bitkisel yağların Totox değerleri ile ilgili bir spesifikasyon bulunmamaktadır. Ancak *p*-anisidin değerinde olduğu gibi, eikosapentaenoik asit (C20:5) ve dokosaheksaenoik asit (C22:6) gibi çoklu doymamış yağ asitlerini yüksek miktarda içeren balık yağı, balık ciğeri yağı, konsantre balık yağı ve konsantre balık yağı etil esterleri için Codex Alimentarius Komisyonu tarafından maksimum Totox değeri 26 olarak belirlenmiştir. Diğer yandan kabul edilebilir yüksek Totox değerinin 30 olduğunu ifade eden araştırmacılar da vardır [28]. Soğuk pres susam yağı örneklerinin Totox değeri belirlenen sınırların altında tespit edilmiştir. Bahsedilen literatür çalışmalarındaki Totox değerlerinin çalışmamızda elde edilen değerlerden



oldukça yüksek olması çalışmamızda kullandığımız hızlandırılmış depolama yönteminde elde edilen düşük *p*-anisidin değerlerinden kaynaklı olduğu sonucunu doğrulamaktadır. Totox değeri ile DPPH antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarları arasındaki ilişkiye ait korelasyon katsayıları Ek A.3’de verilmiştir. Totox değerinin, DPPH antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarları arasında ilişki incelenmiş ancak anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir (*sırasıyla Pearson r=-0.16348; p=0.6117; Pearson r=0.23443; p=0.4633*). Ayrıca Totox değerinin toplam tokoferol, toplam karotenoid ve toplam fenolik madde miktarları arasında zayıf düzeyde pozitif ilişki olduğu saptanmıştır (Ek A.3).



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada farklı çeşit susam tohumlarından elde edilen soğuk pres yağların karakterizasyonu ve oksidatif stabilitesi belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları herbir susam tohumu örneğinden elde edilen yağların yağ asidi bileşimi açısından tüketime uygun olduğunu ve önemli biyoaktif özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara baktığımızda çeşit farkı gözletilmeksizin susam tohum yağlarını linoleik asit ve  $\beta$ -sitosterol açısından zengin bir yağ olarak tanımlayabiliriz. Susam tohumlarının sadece tahin ve tahin helvası, pasta, ekmek ve çörek gibi fırıncılık ürünlerinde değil zengin biyoaktif madde içeriğiyle yağ üretiminde de değerlendirilmesi hem insan beslenmesine önemli katkı sağlayacak hem de ekonomik değerini arttıracaktır.

Ülkemizde bitkisel yağ kaynaklarının sınırlı olması ve buna bağlı olarak da yağ üretimimizin yağ tüketimize göre oldukça düşük seviyelerde kalması susam tohumlarının yağ kaynağı olarak kullanılmasının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Elde edilen bulgulara göre çeşitler arasında yağ asidi bileşimi, tokoferol içeriği, sterol kompozisyonları, toplam karotenoid içerikleri bakımından istatistiksel olarak önemli fark tespit edilmiştir ( $p < 0.05$ ). Bu sonuçlar susam tohumu yağlarının biyoaktif bileşikleri üzerine susam çeşidinin önemli etkisinin olduğunu göstermektedir. Gölarmara susam çeşidi  $\Sigma$  tokoferol (517.75 mg/100g),  $\Sigma$  çoklu doymamış yağ asitleri (%42.02),  $\Sigma$  sterol (515.21 mg/kg) ve  $\Sigma$  karotenoid (1.07 mg/100g) miktarları açısından diğer susam çeşitlerine göre biyoaktif bileşence en zengin çeşit olarak belirlenmiştir.

Susam tohumlarından elde edilen yağların sabunlaşma sayısı miktarının yüksek olduğunu görmekteyiz. Yüksek sabunlaşma değeri yağın sıvı sabun, şampuan ve tıraş köpüğü üretiminde de kullanılabilirliğini göstermektedir.

Örneklerin oksidatif stabilite değerleride diğer kalite özelliklerinde olduğu gibi susam çeşidine göre farklılık göstermiştir. 21 gün hızlı oksidatif stabilite testi sonrasında Muganlı-57 ve Batem Uzun susam çeşitlerinin toplam oksidasyon

değerleri sırasıyla 0.60-2.57 ve 0.73-16.49 olarak tespit edilmiş, Muganlı-57 en dayanıklı ve Batem Uzun ise en dayanıksız yağ olarak belirlenmiştir.

Serbest yağ asitliği ve peroksit sayısı gibi değerler Codex Alimentarius Komisyonu tarafından belirlenen limit seviyelerde bulunmuştur. Sonuç olarak susam yağı susam çeşidine bağlı olarak önemli bir miktarda biyoaktif madde içeren fonksiyonel gıda olarak tüketilebilecek düzeyde, ekonomik değere sahip linoleik asit bakımından zengin bir yağ çeşididir. Soğuk pres susam tohumu yağı ile ilgili literatür verilerinin kısıtlı olduğu görülmüştür. Bu açıdan çalışmamızdan elde edilen verilerin literatüre önemli katkı sağlayacağı ayrıca susam tohumu yetiştiricilerine ve bitkisel yağ üreticilerine de kaynak olacağı kanısındayız.



## KAYNAKLAR

1. Abou-Gharbia, H., Shehata, A., Shahidi, F. Effect of processing on oxidative stability and lipid classes of sesame oil. *Food Research International*. 2000, 33, 331-340.
2. Yeniay, H. Türkiyede yetiştirilen bazı susam tohumu çeşitlerinin karakteristiklerinin objektif ve duyusal yöntemler kullanılarak belirlenmesi ve kavurma işleminin bu karakteristiklere etkisinin incelenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir, 2015, 120 s. (Doktora Tezi)
3. Titizce, H. Kavurma süresinin kabuklu susamın fitik asit içeriği ve bazı fiziko-kimyasal özellikleri üzerine etkisi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya, 2014, 45s. (Yüksek Lisans Tezi)
4. Şahin, G. Türkiye’de üretimi azalan önemli bir yağ bitkisi susam. *Journal of the Human and Social Science Researches*. 2014, 3(2), 404-433.
5. Özcan, M. Susam yağı ve tahinde fiziksel kimyasal analizler ve yağ asitleri bileşiminin belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Bilim ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Konya, 1993, 42s. (Yüksek Lisans Tezi)
6. Bailey, A.E. *Bailey’s Industrial oil and fat products*. (Ed: Fereidoon Shahidi), John Wiley & Sons Inc, New York, USA, 2005, 3616.
7. Karataş, G. Effects of pre-treatments on quality characteristics and oil yields of sesame seeds. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 2015, 89 s. (Yüksek Lisans Tezi)
8. Anilakumar, K., Pal, A., Khanum, F., Bawa, A.S. Nutritional, medicinal and industrial uses of sesame (*sesamum Indicum L.*) seeds an overview. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2010, 75, 159-168.
9. Sato, E., Miki, E., Gohtani, S., Yamano, Z. The effect of sesame contents on visco elasticity and microstructure of goma-dofu (sesame tofu). *Nippon Shokuhin Kagaku Kougaku Kaishi*. 1995, 42, 871–877.
10. Khaviani, M., Darjani, Z., Tomovska, J., Mazandarani, Z., Shariati, M.A. Comparing different extraction methods of sesame oil. *International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences*. 2015, 2, 22-25.
11. Bozkurt, G. Susam yağının antioksidan özellikteki başlıca bileşenlerinin nitelik ve nicelikleri Üzerine araştırmalar. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 2006, 63s. (Yüksek Lisans Tezi)
12. Moazzami, A., Kamal-Eldin, A. *Gourmet and health-promoting specialty oils Chapter 8: sesame seed oils*. (Ed: Robert A. Moreau and Afaf Kamal-Eldin). Academic Press and AOCS Press. 2009, 267-282s, DOI: <https://doi.org/10.1016/C2015-0-02415-7>
13. Onur, N. Türk mutfak kültüründe özel bir tat: Manavgat’ın altın susamı. *International Rural Tourism and Development Journal*. 2017, 1(1), 19-25s.
14. Kurtkaya, Z. Türkiye’de tescilli bazı susam çeşitlerinin lignan, tokoferol, yağ asidi bileşimleri ve antioksidan aktivitelerinin kıyaslanması. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 2018, 52 s. (Yüksek Lisans Tezi)
15. FAO (Food and Agriculture Organization) 2017. FAOSTAT. [2019-02-13]. <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>
16. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). 2018. [2020-05-01]. <http://tuik.gov.tr/Start.do>

17. Başak, M., Akdeniz susam kor koleksiyonunda genetik çeşitliliğin ve popülasyon yapısının belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Antalya, 2019. (Yüksek Lisans Tezi)
18. Khaviani, M., Darjani, Z., Tomovska, J., Mazandarani, Z., Shariati, M.A. Comparing different extraction methods of sesame oil. *International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences*. 2015, 2, 22-25.
19. Kahyaoğlu, T. Effect of roasting processes on some properties of sesame and sesame Paste: rheological, color, textural and moisture adsorption. University of Gaziantep, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gaziantep, 2005, 134s. (Doktora Tezi)
20. Elleuch, M., Bedigian, D., Zitoun, A. Nuts and seed in health and disease prevention Chapter 122: Sesame (*Sesamum indicum L.*) seeds in food, nutrition, and health. (Victor R. Preedy and Ronald Ross Watson). Academic Press. 2011, 1029-1036 s, DOI: 10.1016/B978-0-12-375688-6.10122-7.
21. Saygın Gümüşkesen, A., Yemişcioğlu, F. Bitkisel sıvı ve katı yağ üretim teknolojisi. Meta Basım, İzmir, Türkiye, 2010, 214s.
22. Pathak, N., Bhaduri, A., Rai, A. Bioactive molecules in food chapter 8 Sesame: Bioactive compounds and health benefits. (Jean-Michel Mérillon and K.G. Ramawat). Springer Cham. 182-194s. DOI:<https://doi.org/10.1007/978-3-319-54528-8>
23. Ünal, M., Yalçın, H. Proximate composition of turkish sesame seeds and characterization of their oils. *Grasas Y Aceites*. 2008, 59(1), 23-26s.
24. Alam, A., Sarker, Z., Ghafoor, K., Happy, R., Ferdosh, S. Recovering bioactive compounds from agricultural wastes chapter 2: Bioactive compounds and extraction techniques (Van Tang Nguyen). John Wiley and Sons. 2017, 33-53s. DOI:<https://doi.org/10.1002/9781119168850.ch2>
25. Lorenzo, J., Munekata, P., Gomez, B., Barba, F., Mora, L., Santaescolastica, C., Toldra, F. Bioactive peptides as natural antioxidants in food products. *Trends in Food Science & Technology*. 2018, 79, 136-147s.
26. Nas, S., Gökalg, H. Bitkisel yağ teknolojisi. Egeus Haydar Özbek Matbaacılık, izmir, Türkiye, 2017, 320s.
27. Yemişcioğlu, F., Özdikicierler, O., Saygın Gümüşkesen, A. Bitkisel yağ rafinasyonunda yeni bir yaklaşım: Minimal rafinasyon. *Akademik Gıda*. 2016, 14(2), 172-179.
28. Özbek, Z. Kabak çekirdeği yağının mikroenkapsülasyonun optimizasyonu. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 2018, 290s. (Doktora Tezi)
29. Pathak, N., Rai, A., Kumari, R., Bhat, K. Value addition in sesame: A perspective on bioactive components for enhancing utility and profitability. *Pharmacognosy Reviews*. 2014, 8(16), 147-155.
30. Karademir, S. Bazı polifenolik bileşiklerin antioksidan aktivitelerinin tayini. İstanbul üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, İstanbul, 2005, 85s. (Yüksek Lisans Tezi)
31. Tuberoso, G., Kowalczyk, A., Sarritzu, E., Cabras, P. Determination of antioxidant compounds and antioxidant activity in commercial oilseeds for food use. *Food Chemistry*, 2007, 103, 1494–1501.
32. Çakaloğlu, B., Özyurt, V., Ötleş, S. Cold press in oil extraction. *Ukrainian Food Journal*. 2018, 7(4), 640-654s.
33. T.G.K., (2012), Türk Gıda Kodeksi Bitki Adıyla Anılan Yağlar Tebliği, Tebliğ no: 2012/29.

34. İmer, Y., Taşan, M. Çeşitli Soğuk pres yağların bazı mikro ve makro element içeriklerinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2018, 15(1), 14-25s.
35. Karasu, S. Soğuk pres yağlar kullanılarak üretilen salata soslarının kalite özelliklerinin belirlenmesi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tekirdağ, 2015, 143s. (Doktora Tezi)
36. Ötleş, S., Büyükgök, E. Metaller ve zeytinyağının etkileşimi. *Zeytin Bilimi*. 2011, 2(2), 75-82.
37. Uluata, S. Bazı bitkisel yağların karakterizasyonu. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Malatya, 2010. (Doktora Tezi)
38. Baydır, A., Dıraman, H. Accelerated stability methods used to determine oxidation stability of oils and comparison of these methods. *Journal of Food and Feed Science - Technology*. 2017, 18(2), 35-41s.
39. Ergönül, P., Özbek, Z. Identification of bioactive compounds and total phenol contents of cold pressed oils from safflower and camelina seeds . *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2018, 12(4), 2313-2323.
40. AOCS (1993a), Official Methods and recommended practices of the American Oil Chemists Society, 3rd edn, Color Method Cc 13b–45.
41. Anon (2010), Turkish standard animal and vegetable fats and oils, determination of refractive index, TS 4960 EN ISO 6320.
42. IUPAC (1992). Standard method 2.202. Standards methods for the analysis of oils, fats and derivatives (7th ed.). Oxford, England: Blackwell, International Union of Pure and Applied Chemistry (1st supplement. To the 7th ed).
43. AOCS (1989). Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, 4th edn., edited by D. Firestone, American Oil Chemists' Society, Champaign, Free Fatty Acid Ca 5a-40 Method.
44. IUPAC (1992). Standard method 2.205. Standards methods for the analysis of oils, fats and derivatives (7th ed.). Oxford, England: Blackwell, International Union of Pure and Applied Chemistry (1st supplement. To the 7th ed.).
45. Gutfinger, T.J. Polyphenols in Olive Oil. *Am. Oil Chem. Soc.* 1981, 58, 966.
46. Rotondi, A., Bendini, A., Cerretani, L., Mari, M., Lercker, G., & Toschi, T. G. Effect of olive ripening degree on the oxidative stability and organoleptic properties of cv. Nostrana di Brisighella extra virgin olive oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52, 3649–3654. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf049845>.
47. Franke, S., Frohlich, K., Werner, S., Bohm, W., Schone, F. Analysis of carotenoids and vitamin E in selected oilseeds, press cakes and oils. *Europe Journal Science Technology*, 2010, 112, 1122-1129.
48. IUPAC (1995). Determination of chlorophyll pigments in crude vegetable oils. *Pure & Applied Chemistry*, 87(10), 1781-1789 (1st supplement. To the 7th ed.).
49. AOCS (2009). Official Method Ce 2-66 - Preparation of Methyl Esters of Fatty Acids. In: Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. 6th Edition. Ed.: Firestone D, Champaign, Illinois, American Oil Chemists Society.
50. IOOC (2009), COI/T.20/Doc No 29—Determination of Biophenols in Olive Oils By HPLC.
51. IUPAC (1992). Standard method 2.432. Standards methods for the analysis of oils, fats and derivatives (7th ed.). Oxford, England: Blackwell, International Union of Pure and Applied Chemistry (1st supplement. To the 7th ed.).
52. IOOC (2001), COI/T.20/Doc No 10/Rev.1—Determination of the Composition and Content of Sterols by Capillary-Column Gas Chromatography.

53. Zou, Y., Gao, Y., He, H., Yang, T. Effect of roasting on physico-chemical properties, antioxidant capacity and oxidative stability of wheat germ oil. *Science Direct*. 2018, 90, 246-253.
54. AOCS (2017), Cd 8b-90 peroxide value Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. 6th ed. Firestone, D., editor Champaign, Illinois, AOCS Pres.
55. AOCS (2017), Official Ti 1a-64 Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society 7th edn., edited by D. Firestone, American Oil Chemists' Society, Champaign, Spectrophotometric Determination of Conjugated Dienoic Acid in Dehydrated Castor Oils and Acids.
56. AOCS (2017), Official Methods and Recommended Practices of the AOCS 7th edn., edited by D. Firestone, American Oil Chemists' Society, Champaign Determination of *p*-Anisidine value, Cd 18-90 Method.
57. Gracka, A., Raczky, M., Hradecky, J., Hajslova, J., Jeziorski, S., Karlovits, G., Michalak, B., Bakowska, N., Jelen, H. Volatile compounds and other indicators of quality for cold-pressed rapeseed oils obtained from peeled, whole, flaked and roasted seeds. *Lipid Science Technology*. 2017, 119, 1-9.
58. Decker, E., Elias, R., Mclements, J. Oxidation in foods and beverages and antioxidant applications: management in different industry sectors, Elsevier, New Delhi, India, 2010, 552.
59. Anon (2001), Compression Test of Food Materials of Convex Shape. ASAE S368.4 DEC 00. IN: ASAE Standards, Published by The American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
60. Kurtkaya, Z. Türkiye tescilli bazı susam tohumu çeşitlerinin lignan, tokoferol, yağ asidi bileşimleri ve antioksidan aktivitelerinin kıyaslanması. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim dalı, konya, 2018, 53 s. (Yüksek Lisans Tezi)
61. Teh, S., Birch, J. Physicochemical and quality characteristics of cold-pressed hemp, flax and canola seed oils. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2013, 30, 26-31.
62. Elkhier, M. S., Ahmed Ishag, K., Ahmed Yagoub, A. Chemical composition and Oil Characteristics of Sesame Seed Cultivars Grown in Sudan. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 2008, 4(6), 761-766.
63. Gharby, S., Harhar, H., Bouzoubaa, Z., Asdadi, A., El Yadini, A., Charrouf, Z. Chemical characterization and oxidative stability of seeds and oil of sesame grown in morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2017, 16, 105.
64. Olaleye, O., Kukwa, R., Eke, R., Aondo, T. Extraction, physicochemical and phytochemical characterization of oil from sesame seed. *Asian Food Science Journal*. 2018, 1(4), 1-12.
65. Warra, A., Babatola, L., Abubakar, F., Abbas, A., Nasarawa, A. Quality characteristics and cold saponification of hexane extract of two varieties of sesame seed (*sesamun indicum L.*) oil. *Scientia Agriculturae*. 2016, 16(3), 83-88.
66. Ören, D. Soğuk pres ve süper akışkan karbondioksit ekstraksiyon metodu ile elde edilen buğday ruşeym yağlarının fizikokimyasal özelliklerinin karşılaştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya, 2013, 45 s. (Yüksek Lisans Tezi)

67. Nadeem, R., Iqbal, A., Zia, M., Anwar, F., Shahid, S., Mahmood, Z., Shafeeq, A., Akhtar, N. Effect of cold-pressing and soxhlet extraction on the physico-chemical attributes of sunflower (*Helianthus annuus L.*) seed oil. International Journal of Chemical and Biochemical Sciences. 2015, 7, 41-46.
68. Yılmaz, E., Güneşer, B. Cold pressed versus solvent extracted lemon (*Citrus limon L.*) seed oils: yield and properties. Journal food science technol. 2017,54(7), 1891-1900. DOI:<http://dx.doi.org/10.3989/gya.1168162>.
69. Güneşer, B., Yılmaz, E., Ok, S. Cold pressed versus refined winterized corn oils: quality, composition and aroma. Grasas Aceites. 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/gya.1168162>.
70. Konuskan, D., Arsalan, M., Oksuz, A. Physicochemical properties of cold pressed sunflower, peanut, rapeseed, mustard and olive oils grown in the Eastern Mediterranean region. Saudi Journal of Biological Sciences. 2019, 26, 340-344.
71. Codex Alimentarius. Codex Standard for Named Vegetable Oils: Codex Stan 210 (Amended 2003, 2005), pp. 13.
72. Emir, D. Soğuk pres yöntemiyle elde edilen haşhaş yağlarının, yağsız keklerinin ve protein izolatlarının teknolojik ve fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesi. Çanakkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Çanakkale, 2014, 152. (Doktora Tezi)
73. Mohammed, N., Abdmanap, M., Tan, C., Muhiaddin, B., Alhelli, A., Hussin, A. The Effects of different extraction methods on antioxidant properties, chemical composition, and thermal behavior of black seed (*Nigella sativa L.*) oil. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 2016, Doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/6273817>.
74. Kiralan, M., Özkan, G., Bayrak, A., Ramadan, M. Physicochemical properties and stability of black cumin (*Nigella sativa*) seed oil as affected by different extraction methods. Industrial Crops and Products. 2014, 57, 52–58.
75. Aljuhaimi, F., Özcan, M., Ghafoor, K., Babiker, E., Hussain, S. Comparison of cold-pressing and soxhlet extraction systems for bioactive compounds, antioxidant properties, polyphenols, fatty acids and tocopherols in eight nut oils. Journal food science technology. 2018, 55(8), 3163-3173.
76. Döğer, M. Ispıt'ın (*Trachystemon orientalis (L.) G. Don*) antioksidan aktivitesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, İstanbul, 2010. (Doktora Tezi)
77. Rizki, H., Kzaiber, F., Nablousi, A., Elharfi, M., Ennahli, S., Hanine, H. Effect of microwave roasting on the oxidative stability and physicochemical properties of sesame seeds (*Sesamum indicum*). International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology. 2015, 2(2), 392-397.
78. Keskin, O. Soğuk pres vişne ve kiraz Çekirdek yağlarının karakterizasyonu. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Çanakkale, 2018, 65s. (Yüksek Lisans Tezi)
79. Koç, M. Soğuk pres tekniğiyle elde edilen farklı üzüm çeşitlerine ait çekirdek yağlarının fizikokimyasal özellikleri ve oksidatif stabilitelerinin belirlenmesi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tekirdağ, 2016, 62. (Yüksek Lisans Tezi)
80. Mahoney, E., Milewska, M., Mironczuk-Chodakowska, I., Terlikwska, K. The influence of carotenoid and chlorophyll content on the oxidative processes in the selected vegetable oils. Prog Health Science, 2018, 8(2), 144-151.



81. Thakuar, V., Paroha, S., Mishra, R. Chemical characterization and fatty acid composition of different sesame varieties. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017, 6(12), 1936-1943.
82. Yoshida, A., Shigezaki, H., Takagi S., Kajimoto, G. Variation in the composition of various acyl lipid, tocopherols and lignans in sesame seed oil roasted in a microwave oven. Journal Science. Food Agriculture. 2000, 68, 407-415.
83. Çalık, G. Farklı Depolama Koşullarında Soğuk Pres Yağların Oksidatif Stabilitelerinin Değerlendirilmesi. Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bolu, 2017, 70. (Yüksek Lisans Tezi)
84. Kıralan, S., Kıralan, M. Soğuk pres ayçiçeği yağının farklı depolama koşullarındaki oksidatif stabilitesi. Akademik Gıda. 2017, DOI:10.24323/akademik-gıda.333672.
85. Kayahan, M. Soğuk pres kayısı ve erik çekirdek yağlarının oksidatif stabilitelerinin belirlenmesi. Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bolu, 2017, 60s. (Yüksek Lisans Tezi)
86. Kıralan, M., Kıralan, S., Subası, I., Aslan, Y., Ramadan, M. Fatty acids profile and stability of camelina (*camelina sativa*) seed oil as affected by extraction method and thermal oxidation. 2018, Doi:<https://hdl.handle.net/20.500.12462/5444>.
87. Sadeghi, E., Mahtabani, A., Karami, F. Considering the oxidative stability of cold-pressed sesame, sunflower and olive oils under different storage conditions. The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati-Food Technology. 2019, 43(2), 70-83.
88. İsmail, A., Bannenberg, G., Rice, H., Schutt, E., Mackay, D. Oxidation in EPA- and DHA-rich oils: an overview. Lipid Technology. 2016, 28(3-4), 55-59. Doi:10.1002/lite.201600013.
89. Lu, F. S. H. Food Chemistry. 2014, 157, 398–407.
90. Dülger, G. Çekirdeklik kabak çeşitlerinin farklı gelişme dönemlerindeki yağ özellikleri ile soğuk pres yöntemiyle elde edilen yağların kalitelerinin belirlenmesi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tekirdağ, 2019, 213s. (Doktora Tezi)

## **EKLER**

### **EK A. Korelasyon Tabloları**

- EK A1.** Soğuk pres susam tohum yağlarının iyot sayısı ile linoleik, linolenik yağ asitleri ve toplam çoklu doymamış yağ asidi miktarları arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon katsayıları ve *p* değerleri
- EK A 2.** Soğuk pres susam tohum yağlarının L\*, a\*, b\*, toplam klorofil ve toplam karotenoid miktarları arasındaki ilişkiye ait Pearson korelasyon katsayıları ve *p* değerleri
- EK A 3.** Soğuk pres susam tohum yağlarının peroksit sayısı, konjuge-dien, *p*-anisidin, Totox, DPPH antioksidan aktivite, toplam fenolik madde,  $\alpha$ - tokoferol,  $\gamma$ -tokoferol, toplam karotenoid, toplam klorofil ve toplam tokoferol miktarları arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon katsayıları ve *p* değerleri

### **EK B. Kromotogram Şekilleri**

- EK B.1.** Özberk-82 çeşidine ait soğuk pres susam tohumu yağının sterol içeriği kromatogramı
- EK B.2.** Göl marmara çeşidine ait soğuk pres susam tohumu yağının sterol içeriği kromatogramı
- EK B.3.** Muganlı-57 çeşidine ait soğuk pres susam tohumu yağının sterol içeriği kromatogramı
- EK B.4.** Batem Aksu çeşidine ait soğuk pres susam tohumu yağının sterol içeriği kromatogramı
- EK B.5.** Batem Uzun çeşidine ait soğuk pres susam tohumu yağının sterol içeriği kromatogramı
- EK B.6.** Baydar-2001 çeşidine ait soğuk pres susam tohumu yağının sterol içeriği kromatogramı

## EK A. Korelasyon Tabloları

**EK A.1.** Soğuk pres susam tohum yağlarının iyot sayısı ile linoleik, linolenik yağ asitleri ve toplam çoklu doymamış yağ asidi miktarları arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon katsayıları ve  $p$  değerleri

	İyot sayısı	Linoleik y.a	Linolenik y.a	$\Sigma$ Çoklu doymamış y.a
İyot sayısı	1.000	0.19711 0.5392	-0.16661 0.6048	0.19568 0.5422
Linoleik y.a	0.19711 0.5392	1.000	-0.41436 0.1805	0.99989 <.0001
Linolenik y.a	-0.16661 0.6048	-0.41436 0.1805	1.000	-0.40132 0.1960
$\Sigma$ Çoklu doymamış y.a	0.19568 0.5422	0.99989 <.0001	-0.40132 0.1960	1.000

**EK A.2.** Soğuk pres susam tohum yağlarının  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , toplam klorofil ve toplam karotenoid miktarları arasındaki ilişkiye ait Pearson korelasyon katsayıları ve  $p$  değerleri

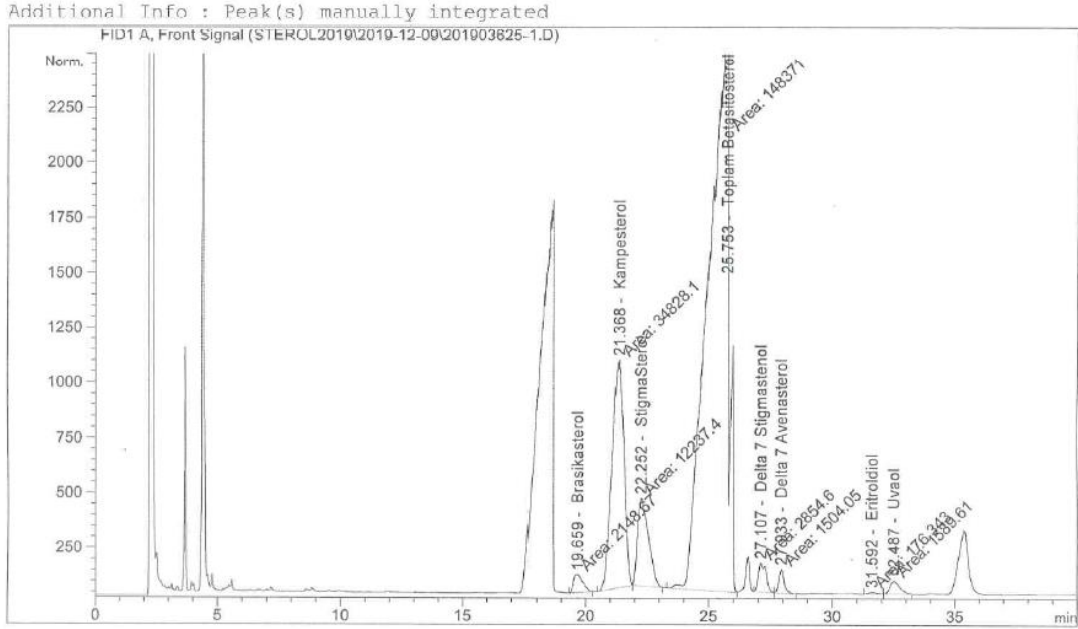
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Sigma$ Klorofil Miktarı	$\Sigma$ Karotenoid Miktarı
$L^*$	1.000	-0.87659 0.0002	0.38818 0.2124	0.03609 0.9114	0.40087 0.1966
$a^*$	-0.87659 0.0002	1.000	-0.60160 0.0385	-0.40298 0.1940	-0.21408 0.5041
$b^*$	0.38818 0.2124	-0.60160 0.0385	1.000	0.81085 0.0014	0.50786 0.0919
$\Sigma$ Klorofil Miktarı	0.03609 0.9114	-0.40298 0.1940	0.81085 0.0014	1.000	0.11118 0.7308
$\Sigma$ Karotenoid Miktarı	0.40087 0.1966	-0.21408 0.5041	0.50786 0.0919	0.11118 0.7308	1.000

**EK A.3.** Soğuk pres susam tohum yağlarının peroksit sayısı, konjuge-dien, *p*-anisidin, Totox, DPPH antioksidan aktivite, toplam fenolik madde,  $\alpha$ -tokoferol,  $\gamma$ -tokoferol, toplam karotenoid, toplam klorofil ve toplam tokoferol miktarları arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon katsayıları ve *p* değerleri

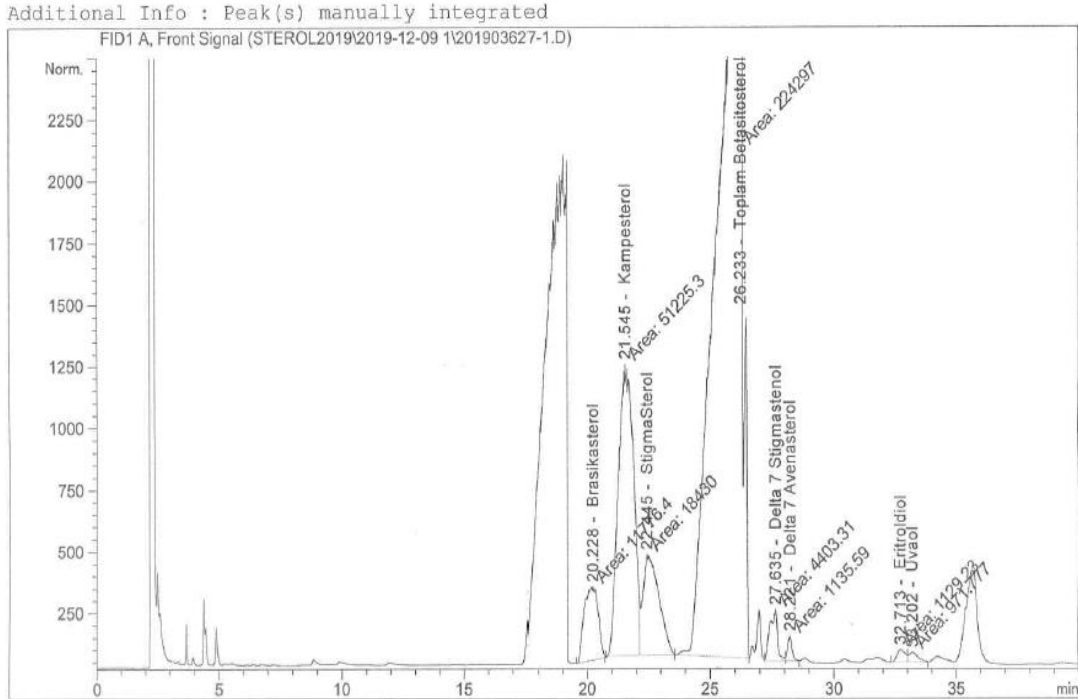
	<b>Peroksit Sayısı</b>	<b>Konjuge-dien</b>	<b><i>p</i>-anisidin</b>	<b>Totox Değeri</b>	<b><math>\Sigma</math> Fenolik madde</b>	<b>DPPH Antioksidan aktivite</b>	<b><math>\Sigma</math> Karotenoid Miktarı</b>	<b><math>\Sigma</math> Klorofil miktarı</b>	<b><math>\alpha</math>-Tokoferol</b>	<b><math>\gamma</math>-Tokoferol</b>	<b><math>\Sigma</math> Tokoferol</b>
<b>Peroksit Sayısı</b>	1.000	0.39892 0.1989	-0.89556 <.0001	-0.26214 0.4105	-0.61447 0.0335	-0.10770 0.7390	-0.61065 0.0349	0.10092 0.7550	-0.52569 0.0792	-0.41184 0.1834	-0.52445 0.0800
<b>Konjuge dien</b>	0.39892 0.1989	1.000	-0.51059 0.0898	-0.43713 0.1553	-0.22405 0.4839	0.14916 0.6436	-0.12750 0.6929	0.34394 0.2737	-0.28647 0.3667	-0.21016 0.5121	-0.28528 0.3688
<b><i>p</i>-anisidin</b>	-0.89556 <.0001	-0.51059 0.0898	1.000	0.66415 0.0185	0.58412 0.0461	0.00806 0.9802	0.63647 0.0261	-0.21015 0.5121	0.49142 0.1047	0.34183 0.2768	0.48869 0.1069
<b>Totox Değeri</b>	-0.26214 0.4105	-0.43713 0.1553	0.66415 0.0185	1.000	0.23443 0.4633	-0.16348 0.6117	0.35441 0.2583	-0.28621 0.3671	0.18256 0.5701	0.04941 0.8788	0.17872 0.5784
<b><math>\Sigma</math>Fenolik madde</b>	-0.61447 0.0335	-0.22405 0.4839	0.58412 0.0461	0.23443 0.4633	1.000	0.39815 0.1999	0.54242 0.0684	0.12507 0.6985	-0.11459 0.7229	-0.39723 0.2010	-0.12552 0.6975
<b>DPPH Antioksidan aktivite</b>	-0.10770 0.7390	0.14916 0.6436	0.00806 0.9802	-0.16348 0.6117	0.39815 0.1999	1.000	-0.08112 0.8021	0.76675 0.0036	0.23219 0.4677	-0.08963 0.7818	0.22174 0.4885
<b><math>\Sigma</math>Karotenoid Miktarı</b>	-0.61065 0.0349	-0.12750 0.6929	0.63647 0.0261	0.35441 0.2583	0.54242 0.0684	-0.08112 0.8021	1.000	0.11118 0.7308	-0.04713 0.8844	-0.07753 0.8107	-0.04850 0.8810
<b><math>\Sigma</math>Klorofil miktarı</b>	0.10092 0.7550	0.34394 0.2737	-0.21015 0.5121	-0.28621 0.3671	0.12507 0.6985	0.76675 0.0036	0.1118 0.7308	1.000	0.13448 0.6769	-0.09380 0.7718	0.12691 0.6943
<b><math>\alpha</math>-Tokoferol</b>	-0.52569 0.0792	-0.28647 0.3667	0.49142 0.1042	0.18256 0.5701	-0.11459 0.7229	0.23219 0.4677	-0.04713 0.8844	0.13448 0.6769	1.000	0.84298 0.0006	0.99981 <.0001
<b><math>\gamma</math>-Tokoferol</b>	-0.41184 0.1834	-0.21016 0.5121	0.34183 0.2768	0.04941 0.8788	-0.39723 0.2010	-0.08963 0.7818	-0.07753 0.8107	-0.09380 0.7718	0.84298 0.0006	1.000	0.85336 0.0004
<b><math>\Sigma</math> Tokoferol</b>	-0.52445 0.0800	-0.28528 0.3688	0.48869 0.1069	0.17872 0.5784	-0.12552 0.6975	0.22174 0.4885	-0.04850 0.8810	0.12691 0.6943	0.99981 <.0001	0.85336 0.0004	1.000

## EK B. Kromotogram Şekilleri

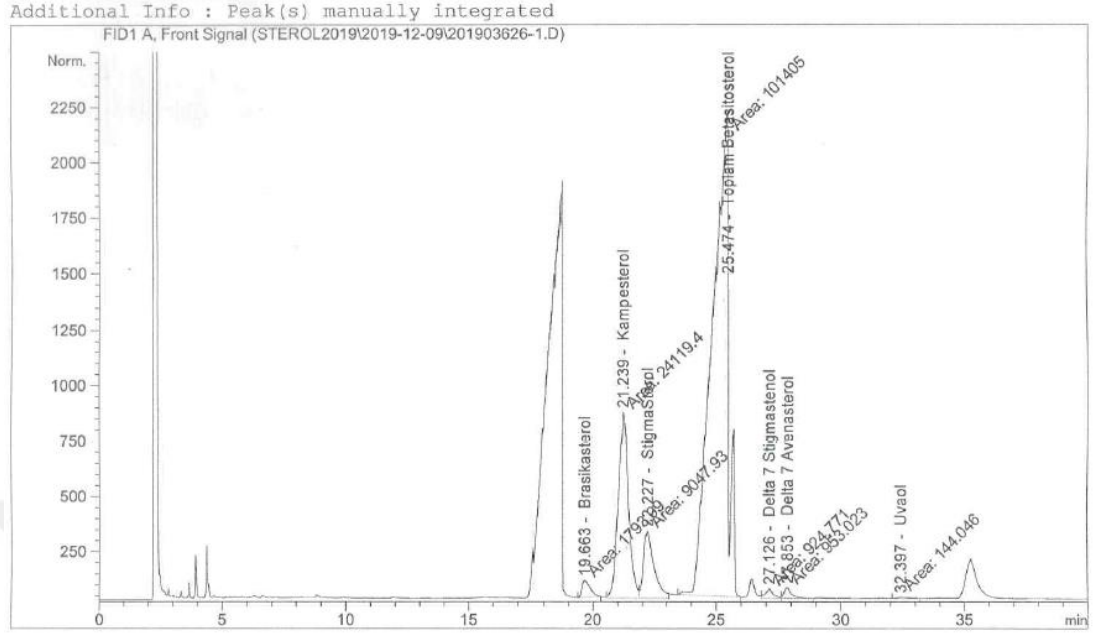
**EK B.1.** Özberk-82 çeşidine ait soğuk pres susam tohumu yağının sterol içeriği kromatogramı



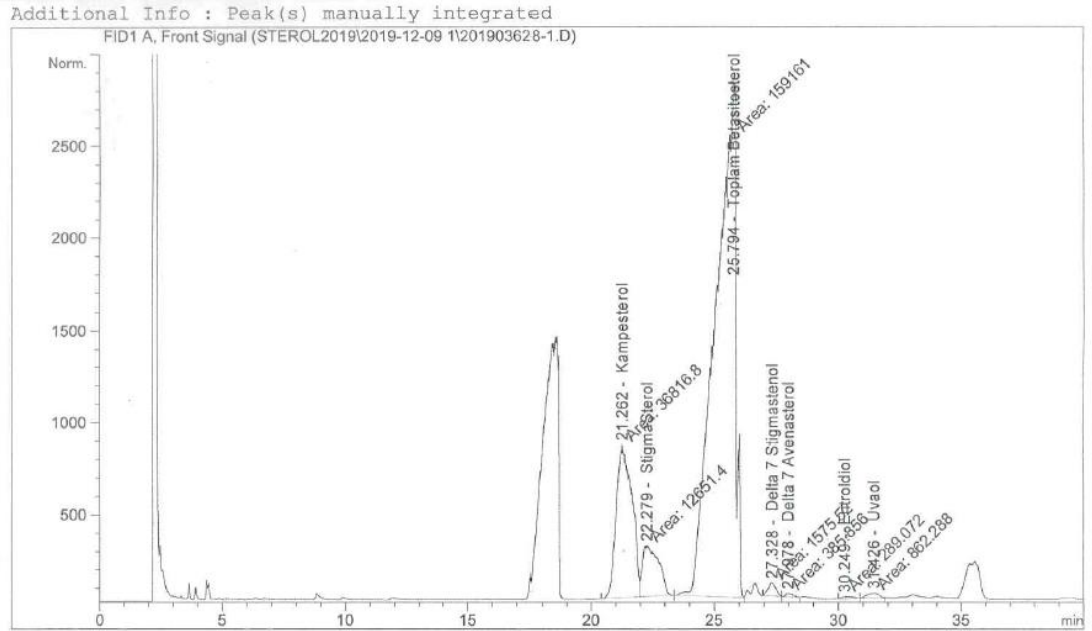
**EK B.2.** Gölarmara çeşidine ait soğuk pres susam tohumu yağının sterol içeriği kromatogramı



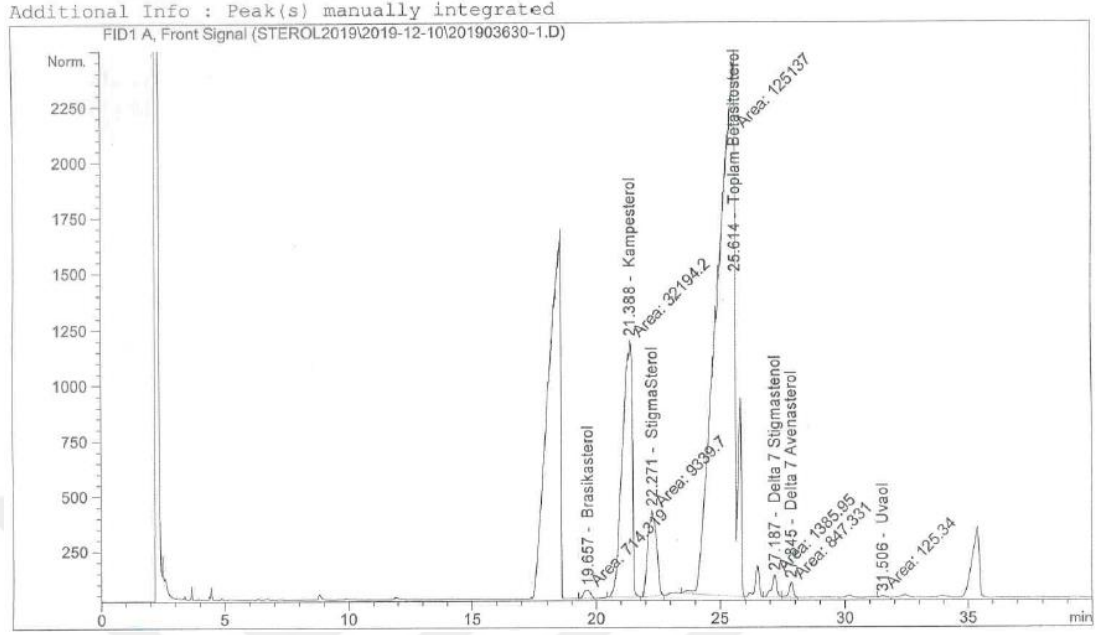
**EK B.3.** Muganlı-57 çeşidine ait soğuk pres susam tohumu yağının sterol içeriği kromatogramı



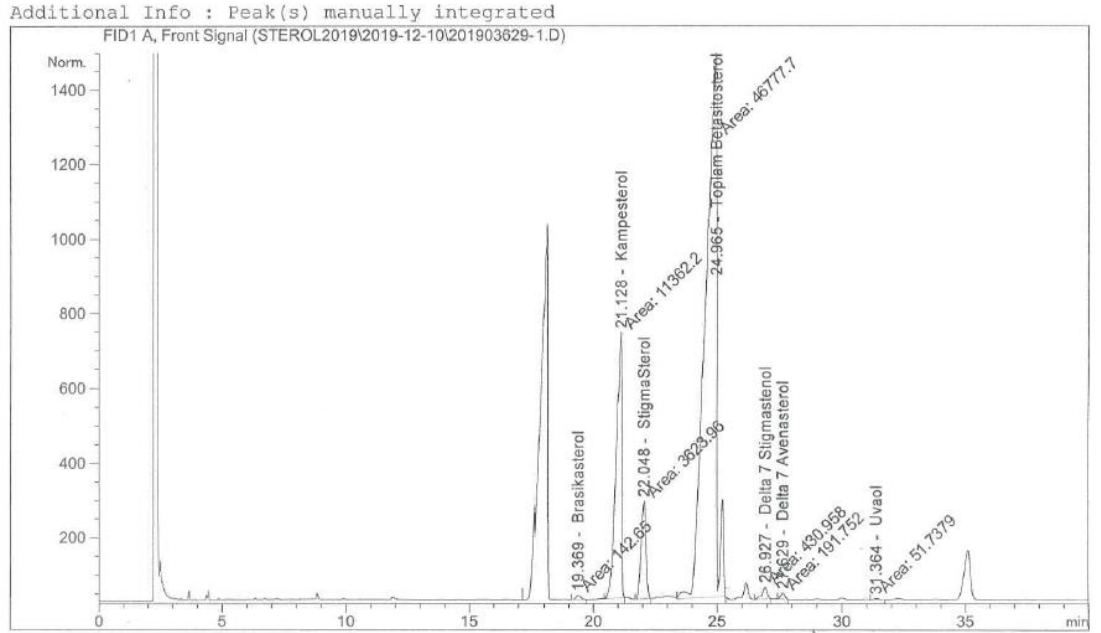
**EK B.4.** Batem Aksu çeşidine ait soğuk pres susam tohumu yağının sterol içeriği kromatogramı



**EK B.5.** Batem Uzun çeşidine ait soğuk pres susam tohumu yağının sterol içeriği kromatogramı



**EK B.6.** Baydar-2001 çeşidine ait soğuk pres susam tohumu yağının sterol içeriği kromatogramı



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Helbin JASAD

Doğum Yeri ve Yılı : Bornova, 1992

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : Arapça

E-posta : 171294005@ogr.cbu.edu.tr

### Eğitim Durumu

Lise : Mustafa Kemal Lisesi, 2015

Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü,  
2012-2016

Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü,  
2017-2020