



**T.C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİ İLE ÜRETİLEN ALTIN
SUSAM YAĞLARININ DEPOLAMA SÜRESİNCE KİMYASAL
VE METABOLOMİK BİLEŞENLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Büşra DÖKMETAS
(20219232004)**

**Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç.Dr. AYŞE BURCU AKTAŞ**

**SİVAS
ARALIK 2024**

Büşra DÖKMETAŞ'ın hazırladığı ve “**FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİ İLE ÜRETİLEN ALTIN SUSAM YAĞLARININ DEPOLAMA SÜRESİNCE KİMYASAL VE METABOLOMİK BİLEŞENLERİNİN BELİRLENMESİ**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç.Dr. Ayşe Burcu AKTAŞ

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

.....

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Hatice Aybüke KARAOĞLAN

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

.....

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Tuğba DEDEBAŞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

.....

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nail ALTUNAY

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu’nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)’nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından F-2023-695 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.



Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

Büşra DÖKMETAS, 2024

Çalışma sırasında bana destek olan canım aileme, eşime ve danışman hocama...

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

23.12.2024

Büşra DÖKMETAS

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimin ve tez çalışmamın her aşamasında engin bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, eğitim hayatım boyunca desteğini esirgemeyen, titiz ve hevesli olarak beni çalışmaya yönlendiren, örnek aldığım saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Ayşe Burcu AKTAŞ' a,

Tezimin deneysel analizlerinde bana destek veren değerli arkadaşım Gıda Yüksek Mühendisi Aleyna Öner POYRAZ'a,

Eğitim hayatım boyunca ve her koşulda yanımda olan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşime,

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden asla esirgemeyen, her zaman ve her koşulda yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından F-2023-695 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

ÖZET

FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİ İLE ÜRETİLEN ALTIN SUSAM YAĞLARININ DEPOLAMA SÜRESİNCE KİMYASAL VE METABOLOMİK BİLEŞENLERİNİN BELİRLENMESİ

Büşra DÖKMETAŞ

Yüksek Lisans Tezi

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Ayşe Burcu AKTAŞ

2024, 85+XIV sayfa

Altın susam ülkemizin kıyı kesimlerinde yetiştirilen endemik bir yağlık tohumdur. Bu yağlık tohum kendine özgü altın rengi, tadı, aroması, içeriğinde bulunan yağ asitleri ve fenolik bileşenler açısından diğer susam türlerinden ayrılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, farklı kurutma teknikleriyle kurutulmuş altın ve beyaz susam tohumlarından elde edilen susam yağlarının depolama süresince metabolomik ve kimyasal bileşenlerindeki değişimlerin incelenmesidir. Bu amaçla iki farklı susam çeşidi (Altın ve Beyaz susam), kurutma tekniği (dondurarak, vakum, konveksiyonel kurutma) ve depolama süresi (0-3-6-9-12 aylar) faktör olarak düşünülerek bir faktöriyel deneme deseni oluşturulmuştur. Bu deneme desenine göre 30 farklı susam yağı elde edilmiş ve +4 °C’de depolanmıştır. Depolamanın 0-3-6-9-12. aylarında susam yağı örneklerinin metabolomik bileşenleri, yağ asidi profilleri, toplam fenolik madde miktarı, peroksit sayısı, serbest yağ asitliği ve toplam antioksidan kapasitesi değerleri belirlenmiştir. Seçilen faktörlerin ve seviyelerinin susam yağlarının kimyasal ve metabolomik bileşenleri üzerine olan etkisi varyans analizi ve Temel Bileşenler Analizi istatistiksel yöntemleri ile çözümlenmiştir. Altın susam tohumları için konveksiyonel ya da vakum altında, beyaz susam tohumları için ise dondurarak veya vakum altında kurutma işlemlerinin uygulanmasının susam yağlarının kalite özellikleri açısından uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Altın ve beyaz susam yağlarının +4°C’de en fazla 9 ay depolanması önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: altın susam yağı, metabolomikler, liyofilizasyon, Q-TOF -LC MS, fenolikler

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE CHEMICAL AND METABOLOMIC COMPONENTS OF GOLD SESAME OILS PRODUCED BY DIFFERENT DRYING METHODS DURING STORAGE

Büşra DÖKMETAŞ

Master of Science Thesis

Department of Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ayşe Burcu AKTAŞ

2024, 85+XIV pages

Golden sesame is an endemic oilseed that is grown in the coastal areas of Türkiye. This oil seed is differentiated from other sesame species by its unique golden color, aroma compounds, smell and as well as the fatty acids and phenolic components. The purpose of this study was to investigate the changes in metabolomics and chemical components of sesame oils obtained from golden and regular sesame seeds produced by using different drying techniques throughout storage. For this purpose, a factorial design was created by considering the sesame seed type (golden and regular), drying technique (freeze, vacuum, convectional drying) and storage time (0-3-6-9-12 months) as factors. According to the design table, 30 different sesame oils were obtained and stored at +4 °C. The metabolomics, fatty acid profile, total phenolic content, total antioxidant capacity, peroxide value and free fatty acid content of sesame oils were determined. The effects of factors and their levels on metabolomics and chemical components of sesame oils were statistically analyzed by ANOVA and Principal Components Analysis. It was concluded that, the utilization of convection or vacuum drying for golden sesame seeds and vacuum or freeze drying for white sesame seeds are effective in terms of the qualitative characteristics of sesame oils. Golden and white sesame oils should be kept at +4°C maximum 9 months.

Keywords: metabolomics, golden sesame oil, lyophilization, Q-TOF-LC MS, phenolics

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	viii
ABSTRACT	ix
İÇİNDEKİLER	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1 Susam Tohumu ve Genel Özellikleri.....	3
2.2 Altın Susam Tohumu ve Genel Özellikleri	5
2.3 Susam Yağı ve Genel Özellikleri	6
2.4 Susam Yağı Üretimi	8
2.5 Gıda Endüstrisinde Kullanılan Kurutma Yöntemleri	11
2.5.1 Konveksiyonel Kurutma	12
2.5.2 Vakum Kurutma	13
2.5.3 Dondurarak Kurutma	14
2.6 Metabolomik Kavramı.....	15
2.7 Foodomik.....	17
2.8 Temel Bileşenler Analizi	18
3. MATERYALLER VE YÖNTEMLER.....	20
3.1 Materyaller.....	20
3.2 Susam Tohumlarından Susam Yağı Elde Edilmesi ve Depolanması	20
3.3 Yöntemler	22
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	27
4.1 Susam Yağlarının Toplam Fenolik Madde İçerikleri	27
4.2 Susam Yağlarının Toplam Antioksidan Kapasite Değerleri	31
4.3 Susam Yağlarının Serbest Yağ Asitliği Değerleri	35
4.4 Susam Yağlarının Peroksit Sayısı Değerleri	38
4.5 Susam Yağlarının Yağ Asidi Profilleri.....	44
4.6 Susam Yağlarının Metabolomik Bileşenleri.....	51
4.6.1 Susam Yağlarının Lignan İçerikleri.....	52
4.6.2 Susam Yağlarının Fenolik Asit İçerikleri	61
4.6.3 Susam Yağlarının Flavonoid İçerikleri.....	66
4.7 Susam Yağı Örneklerinin Temel Bileşenler Analizi	70
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	72
KAYNAKLAR	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Ülkemizde Yetiştirilen Farklı Renklerdeki Susam Tohum Çeşitleri.....	3
Şekil 2.2 Gıdalarda Görülen Farklı Reaksiyonların Hızlarının Su Aktivitesine Bağlı Değişim Grafiği	12
Şekil 4.1 Altın Susam Yağlarının TFM İçerikleri	28
Şekil 4.2 Beyaz Susam Yağlarının TFM İçerikleri.....	29
Şekil 4.3 Susam Yağlarının TFM Değerleri Üzerine Seçilen Faktörlerin Temel Etki Grafikleri.....	30
Şekil 4.4 Susam Yağlarının TFM Değerleri Üzerine Seçilen Faktörlerin İnteraksiyon Grafiği.....	30
Şekil 4.5 Altın Susam Yağlarının TAK Değerleri	32
Şekil 4.6 Beyaz Susam Yağlarının TAK Değerleri	33
Şekil 4.7 Susam Yağlarının TAK Değerleri Üzerine Seçilen Faktörlerin Temel Etki Grafikleri.....	34
Şekil 4.8 Susam Yağlarının TAK Değerleri Üzerine Seçilen Faktörlerin (Depolama Süresi ve Susam Çeşidi) Etkileşim Grafiği.....	34
Şekil 4.9 Susam Yağlarının TAK Değerleri Üzerine Seçilen Faktörlerin (Depolama Süresi ve Kurutma Tipi) Etkileşim Grafiği.....	35
Şekil 4.10 Altın Susam Yağlarının SYA Yüzdeleri	36
Şekil 4.11 Beyaz Susam Yağlarının SYA Yüzdeleri.....	36
Şekil 4.12 Susam Yağlarının SYA Yüzdeleri Üzerine Seçilen Faktörlerin Temel Etki Grafikleri.....	37
Şekil 4.13 Altın Susam Yağlarının PS Değerleri.....	39
Şekil 4.14 Beyaz Susam Yağlarının PS Değerleri	39
Şekil 4.15 Susam Yağlarının PS Değerleri Üzerine Faktörlerin Temel Etki Grafikleri	40
Şekil 4.16 Susam Yağlarının PS Değerleri Üzerine Seçilen Faktörlerin (Depolama Süresi ve Kurutma Tipi) Etkileşim Grafiği.....	41
Şekil 4.17 Susam Yağlarının PS Değerleri Üzerine Seçilen Faktörlerin (Depolama Süresi ve Susam Çeşidi) Etkileşim Grafiği.....	41
Şekil 4.18 Altın Susam Yağlarının MUFA Yüzdeleri	45
Şekil 4.19 Altın Susam Yağlarının PUFA Yüzdeleri	45
Şekil 4.20 Altın Susam Yağlarının SFA Yüzdeleri	46
Şekil 4.21 Beyaz Susam Yağlarının MUFA Yüzdeleri	46
Şekil 4.22 Beyaz Susam Yağlarının PUFA Yüzdeleri.....	46
Şekil 4.23 Beyaz Susam Yağlarının SFA Yüzdeleri	47
Şekil 4.24 Susam Yağlarının PUFA Yüzdeleri Üzerine Kurutma Tipi ve Susam Çeşidi Faktörlerinin Etkileşim Grafiği	48
Şekil 4.25 Susam Yağı Örnekleri İçin Q-TOF/LCMS Cihazından Elde Edilen Bir Kromatogram.....	52
Şekil 4.26 Altın Susam Yağlarının (+)-Pinoresinol Yüzde Değerleri	55
Şekil 4.27 Beyaz Susam Yağlarının (+)-Pinoresinol Yüzde Değerleri	55
Şekil 4.28 Altın Susam Yağlarının Sesamin Yüzde Değerleri	56
Şekil 4.29 Beyaz Susam Yağlarının Sesamin Yüzde Değerleri	56
Şekil 4.30 Altın Susam Yağlarının Sesamolin Yüzde Değerleri	58

Şekil 4.31 Beyaz Susam Yağlarının Sesamolin Yüzde Değerleri	58
Şekil 4.32 Altın Susam Yağlarının Sesamol Yüzde Değerleri	59
Şekil 4.33 Beyaz Susam Yağlarının Sesamol Yüzde Değerleri	59
Şekil 4.34 Susam Yağlarının TL Değerleri Üzerine Faktörlerin Temel Etki Grafikleri	61
Şekil 4.35 Susam Yağlarının TL Değerleri Üzerine Faktörlerin Etkileşim Etki Grafığı.....	61
Şekil 4.36 Altın Susam Yağlarının m-kumarik Asit Yüzde Değerleri	63
Şekil 4.37 Beyaz Susam Yağlarının m-kumarik Asit Yüzde Değerleri.....	63
Şekil 4.38 Susam Yağlarının TFAS Değerleri Üzerine Faktörlerin Temel Etki Grafikleri	64
Şekil 4.39 Susam Yağlarının TFAS Değerleri Üzerine Faktörlerin Etkileşim Etki Grafığı	65
Şekil 4.40 Altın Susam Yağlarının Apigenin-7-Rutinozit Yüzde Değerleri	67
Şekil 4.41 Altın Susam Yağlarının Apigenin-7-Rutinozit Yüzde Değerleri	67
Şekil 4.42 Susam Yağlarının Apigenin-7-Rutinozit Değerleri Üzerine Faktörlerin Temel Etki Grafikleri.....	68
Şekil 4.43 Susam Yağlarının Apigenin-7-Rutinozit Değerleri Üzerine Faktörlerin Etkileşim Grafikleri	68
Şekil 4.44 TBA Modelinin Dağılım Grafığı ve Ağırlık Düzlemi (Altın Susam Yağları: Kırmızı Renkle, Beyaz Susam Yağları: Mavi Renkle Gösterilmektedir).....	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Susam Tohumunun Kimyasal Özellikleri.....	5
Çizelge 2.2 Susam Yağlarının Genel Kimyasal Özellikleri ve Miktarları.....	8
Çizelge 3.1 Susam Yağlarının Hazırlanması ve Depolanması İçin Oluşturulan Deneme Deseni	21
Çizelge 3.2 Q-TOF LC/MS Analizinde Kullanılan Cihazın Özellikleri ve Analiz Koşulları	23
Çizelge 3.3 Gaz Kromatografisi Analizinde Kullanılan Cihazın Özellikleri ve Analiz Koşulları	24
Çizelge 4.1 Altın Susam Yağlarının Bazı Kimyasal Özellikleri.....	42
Çizelge 4.2 Beyaz Susam Yağlarının Bazı Kimyasal Özellikleri.....	43
Çizelge 4.3 Altın Susam Yağlarının Baskın Yağ Asitleri Yüzdeleri.....	49
Çizelge 4.4 Beyaz Susam Yağlarının Baskın Yağ Asitleri Yüzdeleri	50
Çizelge 4.5 Q-TOF/LCMS Cihazı ile Belirlenen Susam Yağı Metabolomiklerine İlişkin Bilgiler.....	51
Çizelge 4.6 Susam Yağlarının Lignan Bağlı Yüzdeleri.....	54
Çizelge 4.7 Susam Yağlarının Fenolik Asitler Bağlı Yüzdeleri	62
Çizelge 4.8 Susam Yağlarının Apigenin-7-Rutinozit (A-7-R) Bağlı Yüzdeleri....	66
Çizelge 4.9 Susam Yağı Örneklerinin Kimyasal ve Metabolomik Bileşenleri İçin Oluşturulan ANOVA Çizelgesi	69

KISALTMALAR DİZİNİ

DPPH	: 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
GC	: Gaz Kromatografisi
MUFA	: Tekli Doymamış Yağ Asitleri
PS	: Peroksit Sayısı
PUFA	: Çoklu Doymamış Yağ Asitleri
SFA	: Doymuş Yağ Asitleri
SYA	: Serbest Yağ Asitliği
TAK	: Toplam Antioksidan Kapasite
TBA	: Temel Bileşenler Analizi
TFA	: Trans Yağ Asitleri
TFAS	: Toplam Fenolik Asitler
TFL	: Toplam Flavonoidler
TL	: Toplam Lignanlar
Q-TOF/LCMS	: Sıvı Kromatografi Uçuş Zamanlı Kütle Spektrometresi

1. GİRİŞ

Susam (*Sesamum indicum L.*) Uzak Doğu, Asya, Ortadoğu ve Türkiye’de yaygın olarak yetiştirilen yağlık bir tohum çeşididir. Uzun yıllar önce kültüre alınmış olan bu tohumun tarımsal üretimi halen yüksek oranlarda devam etmektedir (Elkhaleefa ve Shigidi, 2015). Kendine has kokusu, tadı ve aroması olan susam tohumu gıda endüstrisinden ilaç sanayisine kadar farklı alanlarda kullanılmaktadır. Susam tohumları beyaz, sarı, kahverengi ve siyah olmak üzere 4 farklı renge sahip olabilirler (Islam vd., 2016; Özpolat vd., 2021).

Altın Susam tohumu ülkemizde Muğla'nın Gökova havzasında ve Akdeniz bölgesinin kıyı kesimlerinde yetiştirilebilen endemik bir yağlık tohumdur. Bu tohum irilik ve altın renk bakımından ülkemizin en kaliteli ve değerli susam çeşididir. Altın susam tohumu gıda endüstrisinde tahin ve susam yağı üretiminde kullanılmaktadır. Bu kadar kıymetli olan tohumun coğrafi işaret alması için çalışmalar halen devam etmektedir. Bu nedenle altın susam tohumunun kimyasal ve fiziksel özelliklerinin detaylıca araştırılması, bu tohumun tarımsal üretiminin ve gıda endüstrisinde kullanım alanlarının genişletilmesi gerekmektedir (Özpolat vd., 2021).

Metabolomik, bir hücre veya dokuda bulunan metabolitlerin miktarlarının ölçüldüğü ve tanımlandığı bir disiplindir (Kaplan ve Çelebier, 2020). Foodomiks, gıda bileşenlerinin ve besin maddelerinin moleküler düzeyde belirlenmesi için kullanılan bir araçtır. Son zamanlarda, gıda alanındaki araştırmalar, proteomik, metabolomik, lipidomik, nutrigenomik, metagenomik ve transkriptomik gibi farklı omik disiplinleri aracılığıyla analitik teknikler kullanılarak devam ettirilmektedir. Metabolomik çalışmalarda lipitler, karbohidratlar, vitaminler, hormonlar ve diğer hücre bileşenlerinden ortaya çıkan küçük moleküllü metabolitlerin yüksek verimli teknolojiler kullanılarak saptanması, miktarlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır (Balkır vd., 2021; Liu vd., 2018)

Bu yüksek lisans tezinde farklı kurutma teknikleri ile kurutulmuş altın susam tohumlarından elde edilen yağların depolama süresince metabolomik ve kimyasal bileşenlerindeki değişimlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Dondurarak, vakum

altında ve konveksiyonel kurutma yöntemleri ile altın susam tohumları kurutulmuştur. Kurutulan tohumlardan, soğuk sıkım yöntemiyle susam yağları elde edilmiştir. Bu yağların 12 ay süren depolama periyodu boyunca kimyasal ve metabolomik bileşenlerindeki değişimler izlenmiştir. Ayrıca, beyaz susam tohumlarına da aynı kurutma yöntemleri uygulanmış, soğuk sıkım yöntemiyle beyaz susam yağları elde edilmiş ve bu yağlar kontrol grubu olarak örnekler arası karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Depolama süresince belirli aralıklarla (0-3-6-9-12 ay) susam yağlarının kimyasal ve metabolomik bileşenlerinde oluşan değişimler belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, altın ve beyaz susam yağları için en uygun kurutma teknikleri ve depolama süreleri tespit edilmiştir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Susam Tohumu ve Genel Özellikleri

Susam tohumu, *Sesamum indicum L.* adıyla bilinen, kültüre alınmış en eski yağ yağlık tohumlardan birisidir. Farklı kültürlerde gastronomik olarak sıklıkla kullanılmakla birlikte gıda endüstrisi açısından da oldukça önemli bir tohumdur. Besin öğeleri ve kendine özgü duyuşal özelliklerine bağli olarak susam, gıda endüstrisinde gıda katkı maddesi olarak, tahin, tahin helvası, susam yağı ve margarin üretimlerinde kullanılmaktadır (Islam, 2016).



Şekil 2.1 Ülkemizde Yetiştirilen Farklı Renklerdeki Susam Tohum Çeşitleri

Susam tohumu dünyada üretimi yapılan diğerk yağlık tohumlar arasında 8.sırada yer almaktadır (Tan, 2011). Susam tohumu çoğunlukla Hindistan, Çin, Afganistan, Pakistan, Bangladeş gibi Asya ülkelerinde yetiştirilmektedir (Onur, 2017). Ülkemiz, susamın ikinci gen merkezi olarak bilinmektedir. Ülkemizde susam yetiştiriciliğı daha çok Akdeniz, Ege ve Marmara bölgelerinde gerçekleştirilmektedir (Ümmetoğlu vd., 2015). Tarımı için yıllık yağışın fazla, sulama imkanlarının ise daha kolay olduğu bölgeler tercih edilmektedir (Özpolat vd., 2021). Ülkemizde yetiştirilen susam tohumları renklerine bağli olarak beyaz, sarı, kahverengi ve siyah olmak üzere 4 farklı grupta toplanabilir (Şekil 2.1.). Ayrıca gıda endüstrisinde kullanım alanlarına bağli

olarak pastalık, bisküvilik, simitlik, hulled susam gibi farklı gruplandırmalar da mevcuttur (Islam vd., 2016).

Susamın kimyasal bileşimi tohumun çeşidine, rengine ve büyüklüğüne, tarımsal üretim ve iklimsel koşullara göre değişiklikler göstermektedir (Çizelge 2.1). Susam tohumu önemli bir yağ (%48-55) ve protein (%20-28) kaynağıdır (Wei vd., 2022). 5 susam dokusunun (yapraklar, taze tohumlar, beyaz-mor çiçekler ve taze karpeller) metabolomik bileşenlerinin belirlendiği bir çalışmada, taze tohumlarda lignanların, amino asitlerin ve türevlerinin, ayrıca lipidlerin yüksek oranlarda bulunduğu tespit edilmiştir (Dossou vd., 2021). Farklı ülkelerde yetiştirilen susam tohumlarının protein ve yağ içeriklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, yağ içeriklerinin (Mozambik) %44,69 ile %55,37 (Nijer-Kany) arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek protein miktarları ise, Hindistan, Nijer-Kany ve Mozambik ülkelerinde yetiştirilen susam tohumu örneklerinde bulunmuştur (Ahmed vd., 2020b). Etiyopya'da yetiştirilen beyaz ve siyah susam tohum çeşitlerinin kimyasal özelliklerinin karşılaştırıldığı bir araştırmada, beyaz susam tohumu örneklerinin, siyah susam tohumu örneklerinden daha fazla toplam fenolik ve flavanoid madde içeriklerine sahip oldukları ve antioksidan aktivitelerinin de yüksek olduğu bulunmuştur (Agidew vd., 2021). Gana'da yetiştirilen susam tohumlarının antioksidan, fitokimyasal ve fizikokimyasal özellikleri incelediğinde, susam örneklerinin yüksek antioksidan aktivite gösterdikleri ve mineral içerikleri açısından magnezyum (182,47 mg/100g) ilk sırada yer alırken, sodyum (105,52 mg/100g), demir (7,37 mg/100g) ve çinko (4,47 mg/100g) içeriklerinin de yüksek olduğu ortaya çıkarılmıştır (Dravie vd., 2020). 7 farklı susam çeşidi 116 °C'de 90 dakika kavrulmuş ve uygulanan kavurma işleminin susam tohumlarının polifenol ve flavonoid içeriklerinde düşüslere yol açtığı görülmüştür. Ancak, kavurma işlemi sırasında antioksidan aktivitesi yüksek olan yeni bileşenlerin oluşumuna bağlı olarak antioksidan aktivite değerlerinde atışlar gözlemlenmiştir (Akele vd., 2024). 2018-19 hasat yıllarında Çukurova bölgesinde yetiştirilen, Arslanbey, Batem-Aksu, Batem-Uzun, Baydar-2001, Boydak, Cumhuriyet-99, Gölarmara, Hatipoğlu, Kapsut-99, Muganlı-57, Orhangazi-57, Osmanlı-99, Özberk-82, Sarısu, Tan-99, Tanas ve Sarı olmak üzere 16 farklı susam çeşitlerinin yağ asidi profilleri analiz edilmiştir. Sonuç olarak, susam çeşitlerinin oleik (C18:1nc) ve linoleik

(C18:2n6) yağ asitleri yüzdeleri açısından her iki hasat yılında istatistiksel olarak farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir (Bakal, 2022).

Çizelge 2.1 Susam Tohumunun Kimyasal Özellikleri (Agidew vd.,2015)

Susam Çeşidi	Yağ Miktarı (%)	C18:2n6 (%)	C18:1nc (%)	TFM (mg/kg)
Beyaz Susam	58,20	43,7	37,98	5,26
Siyah Susam	47,60	43,30	38,18	4,19
Altın Susam	50-60	44,70	39,70	5,72

*TFM=Toplam Fenolik Madde Miktarı

2.2 Altın Susam Tohumu ve Genel Özellikleri

Ülkemizin 7 farklı coğrafi bölgesinde her bölgeye özgü çok çeşitli endemik ürünlerin tarımı yapılmaktadır. Altın susam tohumu, Ege Bölgesi'nin Muğla ilinin Gökova ilçesinde ve Akdeniz bölgesinin kıyı kesimlerinde yetiştirilebilen endemik bir yağlık tohumdur. Altın susam tohumunun coğrafi işareti bulunmamaktadır. Özellikle Gökova bölgesinde her yıl yaklaşık 20 bin dekarlık bir alanda tarımı yapılan altın susam tohumunun yıllık üretim miktarı yaklaşık 2 bin tondur. (Özpolat vd., 2021). Altın susam tohumu tarım ihracatı açısından ülkemiz için önemli bir gelir kaynağıdır. Bu tohumun üretim hacminin yaklaşık %90'ı ihraç edilmekte, %10'u ise tahin ve susam yağı gibi farklı gıda ürünlerinin üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır (Seçer, 2016).

Bu yağlık tohum kendine özgü altın rengi, aroma bileşenleri, içerdiği yağ asitleri ve fenolik bileşenler açısından diğer susam tohumlarından ayrılmaktadır (Akdeniz ve Sert, 2019). İçeriğinde bulunan sesamin ve sesamolin gibi antioksidan özelliği yüksek bileşenler altın susam tohumunu oksidatif reaksiyonlara karşı daha dayanıklı kılmaktadır. Altın susam, diğer susam çeşitlerine göre daha yüksek oranlarda (%50-60) yağ içermektedir. Manavgat bölgesinde yetiştirilen altın susamların 7,67 gr doymuş yağ asitlerini, 20,59 gr tekli doymamış yağ asitlerini, 24,01 gr ise çoklu doymamış yağ asitleri içerdiği saptanmıştır. Ayrıca altın susamın ω -3 (omega-3) ve

ω -6 (omega-6) yağ asitleri bakımından da zengin olduğu tespit edilmiştir. Bu özelliklerine bağlı olarak altın susamın sindirim sistemi üzerine destekleyici, enerji verici ve kalp ve damar sağlığı açısından faydalı bir tohum olduğu anlaşılabilmektedir (Onur, 2017). Altın susamın diğer yağlık tohumlara kıyasla nispeten daha yüksek miktarlarda oleik-linoleik yağ asitlerini içerdiği analiz edilmiştir. Altın susam tohumu yaklaşık olarak %20 oranında protein içermektedir. Tüm bu özellikleri altın susam tohumunu besin değeri açısından değerli kılmaktadır (Özpolat vd., 2021).

2.3 Susam Yağı ve Genel Özellikleri

Susam yağı, susam tohumundan elde edilen, doymamış yağ asidi bileşimi (%80'den fazla linoleik ve oleik asit) yüksek, sesamol, sesamin, sesamolin ve tokoferoller dahil olmak üzere bol miktarda doğal antioksidan bileşenleri içeren ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından sağlıklı bir yağ olarak önerilen yemeklik bir yağ çeşididir (Yin vd., 2021). Susam yağlarının kimyasal bileşimi Çizelge 2.2.'de gösterilmiştir. Daha önceki yapılan çalışmalarda susam yağının yağ asidi profili ve bileşimi %9 palmitik asit, %5 stearik asit, %39,17 oleik asit, %44,70 linoleik asit ve %0,87 linolenik asit olarak tespit edilmiştir. Ayrıca susam yağı, sesamin (%0,5-1,5), sesamolin (%0,3-0,5) ve tokoferol (294-528 mg/kg) gibi antioksidan özelliği olan fenolik bileşenler ve E vitamini açısından da zengin bir yağdır (Ji vd., 2019; Langyan vd., 2022). Susam yağlarının ana tat bileşikleri arasında pirazinler, piroller, piridinler, tiyazoller, furanlar, alifatik aldehitler, alkoller, ketonlar, yağ asitleri ve çeşitli bileşiklerin bulunduğu tespit edilmiştir (Lee vd., 2010). 180 °C'de 20 dakika kavrulan susam tohumlarından solvent ekstraksiyonu ve soğuk sıkım yöntemleriyle yağ eldesi gerçekleştirilmiştir. Uygulanan duyusal analiz sonuçları, panelistlerin en çok kavrulmuş susamlardan solvent ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen susam yağlarını beğendiklerini göstermektedir (Yin vd., 2020). Çiğ ve kavrulmuş beyaz susam tohumlarından soğuk sıkım yöntemiyle susam yağlarının elde edildiği bir çalışmada, örneklerin aroma bileşenleri karşılaştırılmıştır. Kavrulmuş susam tohumlarından elde edilen yağlarda fenolik bileşiklerin ve pirazinlerin, çiğ susamlardan elde edilen yağlarda ise aldehitlerin önemli aroma bileşenleri olduğu tespit edilmiştir (Yin vd., 2021). Mikrodalga fırında kurutulan susam tohumlarından kritik altı ekstraksiyon yöntemiyle susam yağı ekstrakte edilmiştir. Kritik altı ekstraksiyon yönteminin, susam yağında

bulunan kanserojen polisiklik aromatik hidrokarbonların konsantrasyonlarını azalttığı, aroma bileşenleri olan terpenlerin, alkollerin ve esterlerin miktarlarını ise nispeten yükselttiği gözlemlenmiştir (Zhang vd., 2024). Susam yağlarının oksidatif stabilitesinin iyileştirilmesinin amaçlandığı bir araştırmada, soğuk sıkım susam yağları belirli oranlarda soya yağları ile paçal yapılmıştır. Elde edilen karışımların yağ asitleri profili açısından önemli farklılıklar içermediği tespit edilmiştir. Susam yağının ve susam-soya yağ karışımlarının serbest yağ asitliği, p-anisidin ve peroksit sayısı değerleri karşılaştırıldığında ise, yağ karışımlarının bu parametreler için daha düşük değerlere sahip oldukları ve susam yağlarının soya yağı ile karıştırılması yoluyla oksidatif stabilitelerinin iyileştirilebileceği ortaya konulmuştur (Chau vd., 2021). Sesamol ve sesamolin susam yağında bulunan, toksik olmayan hem polar hem de apolar özellik gösteren, antioksidan özelliğine sahip, yüksek sıcaklık ve ısı uygulamalarına dayanıklı fenolik bileşiklerdir. Kavrulmuş susam tohumlarından elde edilen yağların, kavrulmamış susam tohumlarından elde edilen yağlara göre daha fazla sesamol ve daha az sesamolin içerdikleri bilinmektedir (Gökşen vd., 2022). Et köftelerine farklı oranlarda sesamol ve susam yağı eklenen bir araştırmada, örnekler 18 gün boyunca +4°C'de depolanmıştır. Et köftelerine susam yağı ya da sesamol ilave edilmesinin köftelerin duyusal özellikleri üzerinde farkedilir değişiklikler yaratmadığı görülmüştür. Susam yağı veya sesamol ilave edilen et köftesi örnekleri, katkısız kontrol grubu örnekleriyle karşılaştırıldığında, lipid oksidasyonunun önemli ölçüde durdurulduğu gözlemlenmiştir (Sallam vd., 2021). Susam yağlarının kimyasal kompozisyonun detaylı analiz edilmesi için yeni bir kromatografik yöntem geliştirilmiştir. Susam yağı örneklerinde α - tokoferol, β - tokoferol, γ - tokoferol, δ - tokoferol, sesamin, sesamolin, sesamol ve asarininin yüksek oranlarda bulunduğu ortaya çıkarılmıştır (Huang vd., 2021). Rafine susam, zeytin ve kanola yağlarının trigliseridlerinin ve yağ asidi metil esterlerinin oksidasyon kinetiği, farklı sesamol konsantrasyonlarında (%0,1-%0,16) ve farklı sıcaklık uygulamalarında (60, 80 ve 100 °C'de) incelenmiştir. Sesamol varlığının, tüm yağ çeşitlerinin trigliseridlerinin Q₁₀ değerlerini önemli ölçüde arttırdığı ortaya çıkarılmıştır (Toorani vd., 2021).

Çizelge 2.2 Susam Yağlarının Genel Kimyasal Özellikleri ve Miktarları (Li vd.,2019; Oboulbiga vd., 2023)

Majör Bileşenler	Minör Bileşenler
Yağ Asitleri	E vitamini (Tokoferol)
Oleik Asit (%35-50)	α -Tokoferol (23,18–25,93 mg/100g)
Linoleik Asit (%35-50)	Lignanlar
Palmitik Asit (%7-12)	Sesamin (147,12–202,92 mg/100g)
Stearik Asit (%0,35-6)	Sesamolin (344,19–393,25 mg/100g)
Linolenik Asit (%0,3-1)	Sesamol
Steroller	
Kampesterol (%18-19)	
β -Sitosterol (%59-62)	
Δ 5-Avenasterol (%10-11)	
Δ 7-Stigmasterol (%6-7)	

2.4 Susam Yağı Üretimi

Susam yağı üretimi, susam tohumlarının çeşitli işlemlerden geçirilerek yağ elde edilmesi aşamalarını içermektedir. Susam tohumları, hasattan sonra yağ üretim tesislerine getirildiğinde, uygulanması gereken ilk işlem susamların farklı tohumlardan ayıklanması, toprak, taş toz, metal parçaları gibi yabancı maddelerden arındırılarak temizlenmesidir. Bu işlemler susam tohumunun sarsak eleklerle elenmesi, hava akımıyla susamların taşıyıcı bant üzerinde temizlenmesi ve su ile yıkanması gibi aşamalarla gerçekleştirilmektedir. Temizlenen susam tohumları, öncelikle kavurma işlemine tabi tutulmaktadır (Gümüşkesen ve Yemişçioğlu, 2010).

Kavurma işlemi, hem susam yağlarının aromatik özelliklerini iyileştirirken hem de yağ verimini yükseltmektedir. Bu işlem tohumun dış zarının incelmesine ve yağın hücreler arasından daha kolay ayrılmasına yardımcı olmaktadır. Kavurma işlemi tohumlardaki enzimleri inaktif hale getirerek, depolama süresince enzimatik oksidasyonun önlenmesine de katkı sağlamaktadır. Uygulanan ısı işlem, aynı zamanda tohumların

su aktivitesi değerlerini de azalmaktadır. Özellikle solvent ekstraksiyon yöntemi ile yağ üretimi açısından, yağlık tohumların su aktivitesi değerlerinin düşük olması, çözgenin tohuma daha kolay nüfuz etmesini sağlayacağı için önem arz etmektedir (Başoğlu, 2014; Gümüşkesen ve Yemişçioğlu, 2010).

Tohumların kavrulması işlemi, kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Büyük kapasite ile çalışan işletmelerde kullanılan 4-5 katlı ve direkt ısıtmalı tavalar tohumların homojen bir şekilde kavrulmasını sağlamaktadır. Kavrulma işlemi genellikle kademeli olarak ilerlemektedir. İlk kavrulma tavası genellikle tohumların nem seviyesinin ayarlanması ve bir miktar ısıtılması için kullanılmaktadır. İlerleyen aşamalarda, tohumlar sırayla diğer tavalara aktarılmakta ve her tavada sıcaklık yükseltilmektedir. Son tavadaki sıcaklık değeri 125 °C civarındadır. Bu işlem yaklaşık olarak 1-2 saat sürmektedir. Susam tohumlarının yüksek sıcaklıkta ve uzun süre kavurma işlemine maruz bırakılması hem besin değerinin azalmasına hem de yağın fiziksel özelliklerinin kötüleşmesine neden olmaktadır. Özellikle uzun süreli gerçekleştirilen kavurma işlemi, yağın renginin daha koyu olmasına sebebiyet vermektedir (Nas vd., 2001).

Kavrulmuş susam tohumlarından mekanik preslerle sıkıştırılma yoluyla ya da solvent ekstraksiyonu yöntemiyle susam yağı elde edilmektedir. Yağlık tohumlarda, tohumun yağ oranının %30'dan az olması halinde solvent ekstraksiyonu, %30'un üstünde olması durumunda ise presyon yöntemlerinin uygulanması önerilmektedir. Susam tohumlarının yağ oranları %30'un üzerinde olduğu için presyon yönteminin uygulanması yağ verimi ve ekonomik açılardan tavsiye edilmektedir (Nas, 2001).

Susam yağı üretiminde, soğuk ve sıcak presleme olmak üzere iki farklı presyon yöntemi kullanılmaktadır. Soğuk presleme işleminde, tohumlar ısıtılmadan preslenmektedir. Bu yöntemle elde edilen susam yağlarının besin değerleri ve fiziksel özellikleri nispeten korunmaktadır. Ancak, sıcak presleme işlemine göre yağ verimi daha düşüktür. Sıcak presleme işleminde ise, tohumlar belirli bir sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra preslenmektedir. Bu yöntemle yüksek yağ verimi sağlanırken, susam yağlarının besin değerlerinde belirli kayıplar olmaktadır (Yemişçioğlu vd., 2016).

Solvent ekstraksiyon yöntemi genellikle düşük yağ içeriğine sahip tohumlara uygulanmaktadır. Apolar özellikteki çözümler (hekzan, petrol eteri, dietil eter, kloroform vb.) tohumun içerisindeki yağı çözer ve çözümler-yağ karışımı elde edilir. Seçilen solventlerin donma noktasının 0°C'nin, kaynama noktasının ise 100 °C'nin altında olması gerekmektedir. Vakum altında, distilasyon sistemi ile çözümler buharlaştırılarak karışımdan ayrılır ve yağ elde edilir. Çözümlerin distilasyon sistemi ile geri dönüştürülerek tekrar kullanılması mümkündür ve işletme maliyeti açısından da oldukça gereklidir. Solvent ekstraksiyon sisteminde çalışılan yağlık tohumun pul iriliği, nem oranı ve işlem sıcaklığı ekstraksiyon hızını etkileyen önemli parametreler arasındadır. Yağlık tohumlara belirli bir miktar öğütme işlemi uygulanmadıysa ve tohumun başlangıç nem miktarı yüksek ise kullanılan çözümlerin hammaddeye nüfuz etmesi zorlaşacaktır. Ekstraksiyon sıcaklığı ise özellikle viskozite üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemi çözümlerin viskozitesini düşürerek prosesin hızını arttırmaktadır (Gümüşkesen ve Yemişçioglu, 2010; Nas, 2001).

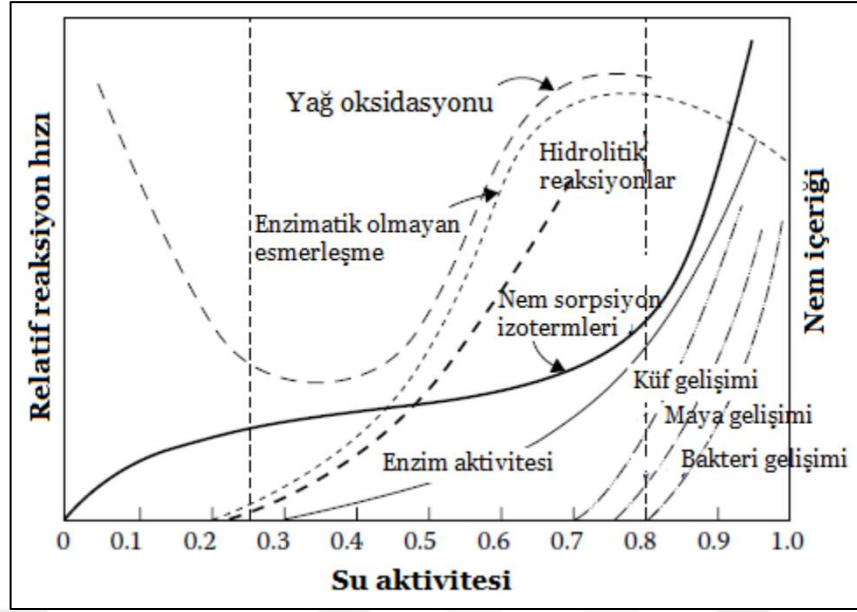
Presyon ve ekstraksiyon yöntemlerinin birlikte kullanılması ise son yıllarda oldukça tercih edilmektedir. Bu yöntemin ilk aşamasında tohumlara presleme işlemi uygulanarak küspedeki yağ oranı yaklaşık olarak %20'nin altına kadar düşürülmektedir. Yağ oranı azaltılmış olan küspeye ekstraksiyon işlemi, küspenin kalan yağ oranı %0,5 değerine ulaşınca kadar sürdürülmektedir (Başoğlu, 2014).

Presyon ya da ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen ham susam yağlarına filtrasyon işlemi uygulanmaktadır. Bu işlem sayesinde, yağın içerdiği tortu ve askıda kalan maddeler uzaklaştırılırken, berraklık artırılmaktadır. Susam yağlarına isteğe ya da üretim amacına bağlı olarak rafinasyon işlemi uygulanmaktadır. Rafinasyon sırasında susam yağlarında bulunan serbest yağ asitleri, fosfolipidler, pigmentler, kötü kokulu uçucu bileşenler ve diğer istenmeyen maddeler uzaklaştırılmaktadır. Türk Gıda Kodeksi Tebliği'ne (T GK) göre susam yağı hammaddesi olan susam tohumunda yağ asitleri sınır değerleri, palmitik asitte %7,9-12, stearik asitte %4,5-6,7, oleik asitte %34,4-45,5 ve linoleik asitte %36,9-47,9 aralığında olmalıdır. T GK, Bitki Adı ile Anılan Yağlar Tebliği'nde ise susam yağının sabunlaşma sayısının 186-195 mg/KOH/g yağ ve iyot değerinin 104-120 Wijs aralıklarında olması gerektiğini

bildirmektedir. Peroksit sayısı değeri rafine ve ham susam yağ çeşidine göre değişiklik göstermektedir. Peroksit sayısı soğuk preslenen susam yağlarında en çok 15 meq aktif O₂/kg yağ, rafine susam yağlarında ise en çok 10 meq O₂/kg yağ değerlerinde olmalıdır (TGK, 2012). Bu değerlere uygun üretilen filtrelenmiş veya rafine edilmiş susam yağları koyu renkli cam şişelere dolum yapılarak ambalajlanmaktadır (Başoğlu, 2014; Gümüşkesen ve Yemişçioğlu, 2010).

2.5 Gıda Endüstrisinde Kullanılan Kurutma Yöntemleri

Gıdaların kurutulması raf ömrünün uzatılması yöntemi bilinen en eski gıda muhafaza yöntemlerinden birisidir. Gıda maddelerinin kurutulması işlemi oldukça kompleks bir süreçtir. Temel prensibi ise, gıdanın içeriğinde bulunan suyun gıdadan uzaklaştırılarak, su aktivitesi değerinin düşürülmesi ve bozunma reaksiyonlarının durdurulması ilkesine dayanmaktadır. Bu proses esnasında fiziksel, kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik değişimler gerçekleşmektedir (Şekil 2.2). Gıda maddeleri kurutma işlemine tabi tutulmadan önce, her gıda maddesinin kendisine özgü kimyasal ve fiziksel özellikleri dikkate alınarak kurutma koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Gıdaların kurutulması sırasında, gıdanın dış yüzeyinde görülen sertleşme veya kabuk oluşumu ve renk değişimleri fiziksel değişimler olarak adlandırılmaktadır. Kurutma işlemi sürerken, ortamda bulunan oksijen miktarına ve uygulanan ısı işleminin sıcaklık ve süresine bağlı olarak, yağ içeren gıdalarda lipid oksidasyonu gerçekleşmektedir. Gıdanın kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak gerçekleşen vitamin degradasyonu, Maillard reaksiyonu, karamelizasyon, oksidasyon, protein denatürasyonu gibi reaksiyonlar ise kimyasal değişimler olarak kabul edilmektedir. Kurutma işlemi ile gıdaların su aktivitesi değerlerinin limit değerlerin altına düşürülmesi halinde, enzimatik ve biyokimyasal reaksiyonlar, mikrobiyal faaliyetler durdurulmaktadır (Şekil 2.2.) (Akyıldız vd., 2017; Deng vd., 2019).



Şekil 2.2 Gıdalarda Görülen Farklı Reaksiyonların Hızlarının Su Aktivitesine Bağlı Değişim Grafiği (Akyıldız vd., 2017)

2.5.1 Konveksiyonel Kurutma

Konveksiyonel kurutma yöntemi tarımsal ürünlerden özellikle yaş meyve sebzelerin ve kuruyemişlerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Yatırım maliyetinin nispeten düşük olması nedeniyle gıda endüstrisinde diğer kurutma yöntemlerine kıyasla daha fazla kullanılmaktadır. Bu yöntemin temel prensibi, kurutucu içine yerleştirilen gıdaların belirli sıcaklık, akış hızı ve nem değerlerine sahip hava eşliğinde kurutulmasıdır. Sıcak hava bir fan aracılığıyla kurutucu içerisinde dolaştırılmaktadır. Sıcak hava gıdaya temas ederken, gıdanın nemi yüzeyden başlayarak buharlaşmaktadır. Toplanan nemli hava direkt olarak dışarı atılarak veya kondense edilerek kurutma ortamından uzaklaştırılmaktadır. Konveksiyonel kurutma sistemleri full otomatik kontrollü çalışabilmektedir. Bu tip sistemlerde, gıdanın niteliğine uygun olarak belirlenen hava sıcaklığı, nemi, havanın sirkülasyon hızı, kurutma süresi gibi kurutma parametreleri otomatik olarak kontrol edilmektedir (Indiarto vd., 2021; Moses vd., 2014).

Konveksiyonel kurutmanın dezavantajlarından birisi, kurutucu içerisindeki hava sıcaklığının yüksek ya da hava akışının hızlı olmasına bağlı olarak, gıdaların dış

yüzeyinde sertleşme, büzüşme ve kabuk oluşması gibi fiziksel kusurların meydana gelmesidir. Bu gibi durumlarda, gıdanın yüzeyinde oluşan sert kabuk tabakası bir bariyer oluşturarak, gıdanın iç kısımlarındaki suyun buharlaşmasını engelleyerek homojen bir kurutma işleminin tamamlanmasına engel olmaktadır. Gıdaların, düşük sıcaklıklarda uzun süre kurutulması ise gıdaların rehidrasyon kapasitesinin azalmasına, fiziksel ve kimyasal özelliklerinde belirgin kayıpların meydana gelmesine sebebiyet vermektedir. Bu gibi dezavantajların engellenmesi için, konveksiyonel kurutma işlemi mikrodalga, vakum altında kurutma, dondurarak kurutma (liyofilizasyon), ultrasound sistemlerle birlikte kurutma gibi farklı tekniklerle birlikte uygulanmaktadır. Bu şekilde uygulanan hibrit kurutma yöntemleri gıdaların kurutulması işleminde proses süresi, besin değeri, kalitesi ve enerji tüketimi gibi pek çok farklı açılardan fayda sağlamaktadır (Günaydın vd., 2022; Indarto vd., 2021; Jangam, 2011).

2.5.2 Vakum Kurutma

Vakum kurutma işlemi, kurutma ortamında düşük basıncın oluşturulması nedeniyle özellikle şeker ve yağ içerikleri yüksek gıdaların kurutulmasında tercih edilmektedir. Konveksiyonel kurutma işleminde, proses sırasında istenmeyen reaksiyonların gerçekleşme olasılığı daha yüksekken, vakum kurutma işlemi 100°C'nin altında ve kontrollü bir şekilde gerçekleştirilerek gıdaların renk, tat ve aroma bileşenlerinin, fiziksel özelliklerinin ve besin değerlerinin korunmasını sağlamaktadır (Richter Reis, 2014). Vakum altında gerçekleştirilen kurutma işlemi, suyun buharlaşma noktasının altındaki sıcaklıklarda buharlaşmasını sağlayarak karamelizasyon reaksiyonlarının gerçekleşmesini engellemektedir. Bu yöntem şekerli gıdalarda tat, aroma, renk ve tekstürel özelliklerin korunmasını sağlamaktadır. Yağ içeriği yüksek gıdalarda ise kurutma işlemi sırasında uygulanan sıcaklıkla birlikte tetiklenen ve hızlanan oksidatif reaksiyonlar durdurulmaktadır. Vakum altında kurutma prosesinde düşük sıcaklıklarda çalışılması vitamin ve mineral kayıplarını aza indirmektedir (Günaydın, 2022; Taşkın vd., 2019).

Vakum kurutucularda, vakum bir vakum pompası yardımıyla oluşturulmaktadır. Gıdanın içeriğinde bulunan suyun buharlaşmasını hızlandırmak için buhar hazırlama

düzenegi mevcuttur ve bu düzenek vakum hücresine bağlıdır. Gıda örnekleri bu vakum hücresine yerleştirilerek kurutma işlemi gerçekleştirilir. Kurutulan gıdalardan uzaklaştırılan su buharı kondansör veya buhar enjektörü tarafından yoğunlaştırılarak tekrar sıvı hale dönüştürülür. Vakum kurutucular, genellikle otomatik ya da yarı otomatik olarak çalışmaktadır (Alibaş, 2011; Parikh, 2015).

2.5.3 Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma bilinen diğer ismiyle liyofilizasyon, gıdaların içeriğinde bulunan suyun katı buz formuna dönüştürülmesi ve süblimasyonla buzun su buharı formunda gıdadan uzaklaştırılması işlemidir. Buzun süblimasyonu belirli basınç ve sıcaklık koşullarında gerçekleştirilmektedir. Uygun koşullar altında gıdanın yapısında bulunan donmuş su (buz) katı halden gaz (su buharı) formuna geçmektedir. Bu işlem gıdaların tekstürel özelliklerini koruyarak suyun hızlı bir şekilde gıdadan uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Liyofilizasyon yöntemi özellikle termosensitif gıdaların kurutulmasında ve eczacılık alanında yaygın kullanılmaktadır (Günaydın vd., 2022; Kasper vd., 2013).

Gıdaların dondurarak kurutulması işlemi iki aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk aşama, gıdaların 0°C'nin altındaki sıcaklıklarda dondurulmasıyla birlikte gıdanın içeriğinde bulunan suyun buz formuna dönüştürülmesidir. Dondurma işlemi, liyofilize edilecek gıdaların kuruma süresi ve son ürün kalitesi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Gıdaya hangi dondurma yönteminin uygulandığı, dondurucu sistemindeki hava akış hızı, dondurma işlemi sıcaklığı ve süresi gibi faktörler süblimasyon işleminin verimliliğini ve son ürünün kalitesini belirlemektedir. Liyofilizasyon işleminin, efektif bir dondurma işlemiyle başlaması, gıdanın doğal özelliklerinin ve besin değerlerinin kayıplarını minimize ederken son ürünün lezzet, renk, tekstürel özelliklerine katkı sağlamaktadır (Kawasaki vd., 2019; Nowak ve Jakubczyk, 2020).

İkinci aşamada ise yüksek vakum ve düşük sıcaklıklar altında çalışan liyofilizatör sisteminde buzun katı halden gaz hale süblimasyonu gerçekleştirilmektedir. Normal basınç altında su katı, sıvı, gaz olmak üzere üç farklı halde bulunmaktadır. Saf su 6.11 mbar basınç ve 0°C sıcaklık altında bu üç faza aynı anda sahiptir. Bu üçlü noktanın

altında ise saf su katı ve gaz hallerinde bulunmaktadır. Bu koşullar altında buzun su buharına süblimasyonu gerçekleşmektedir. Liyofilizatör cihazlarında, ortamda bulunan su buharının kısmi basıncı buzun kısmi basıncından daha az olduğu için gıdanın içerisinde bulunan donmuş buz kristalleri doğrudan su buharına dönüşmektedir (Kawasaki vd., 2019; Pansare ve Patel, 2019).

2.6 Metabolomik Kavramı

Bir biyokimyasal bilim dalı olan metabolomik, canlı organizmalarda bulunan tüm küçük moleküllerin (metabolitlerin) detaylı tespitini ve analizini içermektedir. Genomik ve proteomik gibi diğer ‘omik’ bilim dallarının bir tamamlayıcısıdır (Johnson ve Gonzalez, 2012). Metabolitlerin, hücrelerin, dokuların, organların veya organizmaların metabolik işlemlerinin ve biyokimyasal süreçlerinin bir sonucu olarak ortaya çıktığı kabul edilir. Metabolomikte incelenen ana metabolitler arasında hücresel aktivite sonucu ortaya çıkan amino asitler, şekerler, lipidler, nükleotitler bulunmaktadır. Metabolom terimi ise bir hücre, doku, organ veya organizmada spesifik bir anda mevcut olan tüm metabolitlerin toplamını ifade etmektedir (Putri vd., 2013). Metabolomik, biyokimyasal süreçlerin anlaşılmasına yönelik farklı yaklaşımlar içermektedir. Metabolomik analiz yöntemleri, araştırma amacı, kullanılan teknoloji ve hedeflenen metabolit gruplara göre farklılıklar göstermektedir (Cubero-Leon vd., 2014). Metabolomik analizler için iki farklı yaklaşım bulunmaktadır: hedeflenmiş metabolomik ve hedeflenmemiş metabolomik. Hedeflenmiş metabolomik, önceden belirlenmiş, spesifik bir grup metabolitin nicel ve nitel analizine odaklanırken, hedeflenmemiş metabolomik, herhangi bir numunede bulunan tüm metabolitlerin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesini amaçlamaktadır. Hedeflenmiş metabolomik çalışan araştırmacılar, araştırmaya başlamadan önce hangi metabolitleri analiz edeceklerini belirleyerek bu spesifik metabolitler için optimize edilmiş hassas, kesin sonuç veren protokollerini kullanmaktadırlar (Roberts vd., 2012). Hedeflenmemiş metabolomikte ise, herhangi bir örnekte bilinen ve bilinmeyen tüm metabolitlerin keşfedilmesi amaçlanmaktadır (Sévin vd., 2015). Hedeflenmiş metabolomik analizleri daha hassas sonuçlar sunarken, hedeflenmemiş metabolomik daha geniş kapsamlı ve keşif odaklı çalışmalar için uygundur (Schrimpe-Rutledge vd., 2016).

Metabolomik çalışmalarda son teknolojik cihazlar ve yöntemler tercih edilmelidir. Sıvı kromatografisi (LC) ve gaz kromatografisi (GC), metabolitlerin analizinde en çok tercih edilen yöntemlerdir. Bu cihazlar metabolomik çalışmalarda genellikle kütle spektrometrisi (MS) ile kullanılırlar (Liu vd., 2014). Kütle spektrometrisi, metabolitlerin kütle/yük oranlarını ölçerek tanımlanmalarına sağlamaktadır (Gowda ve Djukovic, 2014). LC-MS (Sıvı Kromatografisi-Kütle Spektrometrisi), GC-MS (Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometrisi) yaygın olarak metabolitlerin nicel ve nitel analizlerinde kullanılmaktadır. Nükleer Manyetik Rezonans (NMR) spektroskopisi, metabolitlerin kimyasal yapısını ve konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. NMR, çalışılan örneğin yüksek miktarlarda metabolit içermesi halinde kimyasal yapılarının tanımlanmasında oldukça başarılı sonuçlar vermektedir (Emwas vd., 2019). Kızılötesi (IR) spektroskopi, bir maddenin kızılötesi bölgede ışığı emme ve yansıtma özelliklerine bağlı sonuçlar veren bir yöntemdir. Farklı frekanslardaki IR ışığı moleküller tarafından emilir ve bu emilim moleküllerin vibrasyonel enerji seviyelerinde değişikliklere sebep vermektedir. Bu enerji titreşimleri sayesinde, moleküllerin kimyasal bağları hakkında bilgi toplanmakta ve farklı fonksiyonel grupların tanımlanması sağlanmaktadır. Metabolomik ve IR spektroskopi, biyokimyasal analizlerde birbirinin tamamlayıcısı teknikler olarak kabul edilmektedir. IR spektroskopisi ile hızlı ve geniş spektrumlu veriler elde edilirken, diğer metabolomik analizler detaylı ve spesifik karakterizasyonların yapılmasını sağlamaktadır. Bu tekniklerin birlikte kullanılması örneklerin metabolik profillerinin daha kapsamlı ve detaylı bir şekilde analiz edilmesine katkı sağlamaktadır (Martens vd., 2017)

Metabolomik verilerin çoğunlukla karmaşık olması nedeniyle, istatistiksel analizlerle desteklenerek verilerin analiz edilmesi gerekmektedir. Doğru istatistiksel modellerin oluşturulması örneklerin metabolik profillerinin anlamlandırılmasını kolaylaştırmaktadır (Ren vd., 2015). Temel bileşenler analizi (TBA) rnekler arasında grup farklılıklarının ve ilişkilerinin görselleştirilmesi için, hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) benzer metabolik profillere sahip örneklerin gruplandırılması ve metabolitlerin benzerliklerine dayanarak dendrogramlar oluşturulması için kullanılmaktadır. Kısmi en küçük kareler regresyonu (PLS-DA), metabolik profillerin sınıflandırılması veya tahminlenmesi amacıyla kullanılan bir regresyon tekniğidir. Bu yöntem hem bağımlı

hem de bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerin modellenmesine yardımcı olmaktadır (Bartel vd., 2013; Liland, 2011).

2.7 Foodomik

Foodomik, 2009 yılında "tüketicinin refahını, sağlığını ve bilgisini geliştirmek için gelişmiş -omik teknolojilerinin uygulanması ve entegrasyonu yoluyla Gıda ve Beslenme alanlarını inceleyen bir disiplin" olarak tanımlanmıştır (Cifuentes, 2012). Foodomik'in amacı, gıda bileşenlerinin ve bu bileşenlerin insan sağlığı ve beslenmesi üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde araştırmaktır. Foodomik, genomik, proteomik, metabolomik, transkriptomik ve lipidomik gibi çeşitli "omik" yaklaşımları kapsamaktadır (Balkır vd., 2021; Ortea vd., 2022).

Foodomik, modern gıda biliminin sınırlarını genişleten, gıda, beslenme ve sağlık arasındaki ilişkilerin daha iyi anlaşılmasına olanak sağlayan bir alandır. Foodomik, gıdaların kimyasal bileşenlerini ve bu bileşenlerin biyolojik etkilerini incelemektedir. Karbohidratlar, vitaminler, mineraller, fenolik bileşikler, proteinler ve yağ asitleri gibi gıda bileşenleri hem gıda teknolojisi hem de beslenme ve sağlık açısından değerlendirilmektedir. Foodomik, tüketicilerin genetik yapısı ve metabolik profilleriyle uyumlu, kişiselleştirilmiş beslenme stratejilerinin geliştirilmesine de katkıda bulunmaktadır. Gıda güvenliği, kalitesi ve taşışın tespiti gibi farklı alanlarda foodomik kullanılmaktadır (Ahmed vd., 2022; Valdes vd., 2021).

Gıda teknolojisi, mikrobiyolojisi, güvenliği ve taşıışı gibi pek çok farklı konularda foodomik çalışmalar mevcuttur. Sütün metabolomik bileşenlerinin belirlendiği bir çalışmada orta kızılötesi spektrumlar toplanmıştır. IR verileri sütün içeriğinde bulunan yağ, protein, laktoz ve üre miktarlarının tahminlenmesi için kısmi en küçük kareler (PLS) regresyonu ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, sütün yağ içeriğinin iyi bir şekilde tahminlenebilmesi için homojenizasyon işleminin çok önemli olduğunu ve IR spektroskopisinin süt bileşiminin belirlenmesinde üretim sırasında kullanılabilinen, hızlı ve doğru sonuç veren bir yöntem olduğunu ifade etmektedir (Aernouts vd., 2011). Zeytinyağında yapılan taşıışların belirlenmesi için GC-MS cihazı kullanılarak metabolitlerin tespit edildiği bir çalışmada, 12 farklı zeytinyağı farklı oranlarda domuz

yağı ile karıştırılmıştır. GC-MS sonuçları temel bileşenler analiziyle birleştirilerek istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, zeytinyağlarında yağışın yüksek oranlarda tespit edilebileceği ortaya çıkarılmıştır (Heidari vd., 2020). Tavuk etinde bulunan metabolitlerin NMR cihazı ile belirlendiği bir araştırmada, 26 farklı bileşen analiz edilmiştir. OPLS-DA çoklu blok analizi sonucunda, 15 adet metabolitin tavuk etlerinin kalitesinin tahminlenmesinde kullanılabileceği belirlenmiştir (Beauclercq vd., 2016). Gıda patojenlerinden olan *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7 ve *Salmonella enterica*'nın tespiti için proteomik ve metabolomik teknikler kullanılmıştır. Matris destekli lazer desorpsiyon iyonizasyon uçuş zamanlı kütle spektrometrisi (MALDI-ToF-MS) ve gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) kullanılarak metabolitler analiz edilmiştir. MALDI-ToF-MS cihazıyla kırmızı et örneklerinde bulunan *L. monocytogenes*, *S. enterica* ve *E. coli* O157:H7'nin patojenleri tespit edilmiştir (Jadhav vd., 2018). Chia, keten ve susam tohumlarının metabolitleri, hedeflenmemiş metabolomik yöntemle belirlenmiştir. Negative modda 12, positif modda ise 13 farklı bileşen analiz edilmiştir. Bu tohumların metabolomik bileşenler açısından sınıflandırmasında polifenollerin ve özellikle susam tohumu için lignanların en önemli belirteçler olduğu sonucuna varılmıştır (Brigante vd., 2022). Çin, Vietnam ve Myanmar'da yetiştirilen siyah susam örneklerinin metabolitleri incelenmiş ve 933 adet farklı bileşen tanımlanmıştır. 933 metabolitin 145 tanesinin susam tohumlarına acı tat veren amino asitler, dipeptitler ve organik asitler olduğu bilgisi açığa çıkarılmıştır (Yang vd., 2024). 76 farklı bitkisel yağ örneklerinin metabolitleri Sıvı Kromatografi Uçuş Zamanlı Kütle Spektrometresi (LC-MS-Q-TOF) ile belirlenmiştir. Metabolitlerin LC-MS-Q-TOF cihazında tutulma süreleri, kütleleri ve karakteristik parça iyonları yorumlanarak yağ tiplerine özgün, belirteç olarak nitelendirilen bileşenler tespit edilmiştir. Ayçiçek yağında 13 adet, kanola yağında 8 adet, susam yağında 5 adet ve keten tohumu yağında 3 adet farklı metabolitlerin olduğu bulunmuştur (Sumara vd., 2023).

2.8 Temel Bileşenler Analizi

Temel Bileşenler Analizi (TBA), yüksek boyutlu veri kümelerindeki değişkenler arasındaki ilişkileri inceleyerek, bu verilerin boyutunu azaltmayı amaçlayan bir istatistiksel yöntemdir. TBA, orijinal veri kümesindeki değişkenleri, 'temel bileşenler'

adı verilen, daha az sayıdaki değişkenlere dönüştürmektedir. Temel bileşenler, orijinal değişkenlerin doğrusal kombinasyonlarıdır ve verinin toplam varyansını en iyi şekilde açıklayacak şekilde sıralanmaktadır. Birinci bileşen, verideki en yüksek varyansı yakalarken, sonraki bileşenler sırasıyla kalan varyansı açıklamaktadırlar. TBA, özelliklere çok boyutlu verilerdeki bilgi kaybını azaltarak, sınıflandırma, modelleme ve verilerin yorumlaması amacıyla kullanılmaktadır (Greenacre vd., 2022; Mishra, 2017).

İçyağ, inek sütü ve bitkisel yağ karışımlarının kimyasal ve enzimatik interesterifikasyon reaksiyonları ile yapılandırıldığı bir çalışmada elde edilen verilere temel bileşenler analizi uygulanmış ve interesterifiye edilen yağların reaksiyon tipine göre gruplandığı gözlemlenmiştir (Okçu ve Aktaş vd., 2023). Liyofilize semizotu katkılı yoğurt üretiminin optimize edildiği bir araştırmada, elde edilen veriler temel bileşenler analizi yöntemiyle istatistiksel olarak değerlendirildiğinde yoğurt örneklerinin depolama süresine bağlı olarak kümелendiği görülmüştür (Satkın ve Aktaş, 2024).

3. MATERYALLER VE YÖNTEMLER

3.1 Materyaller

Bu yüksek lisans tezinde kullanılan altın ve beyaz susam tohumları Muğla ilinin Gökova ilçesinde bulunan tarımsal bir üreticiden temin edilmiştir (Dalagöz Bahçe, Muğla, Türkiye). Susam tohumlarına liyofilizasyon işlemi uygulanmadan önce, çiğ tohumlar -20 °C’de bir gece boyunca dondurulmuş (Arçelik, Türkiye) ve -80°C’de bir gece daha bekletilmiştir. Donmuş susam tohumları liyofilizatörde (Edwards, İngiltere) 10⁻³ mbar’da 4 gün boyunca kurutulmuştur. Altın ve beyaz susam tohumları vakum etüvde 60 °C’de 0,08 mbar altında 5 gün (Jeio tech OV-11 Kore) ve konveksiyonel fırında (Eksis,Türkiye) ise 60 °C’de 5 gün süreyle kurutulmuştur. Kurutulmuş tüm susam tohumları, susam yağı üretimi aşamasına kadar +4 °C’de muhafaza edilmiştir (Arçelik, Türkiye). Bu yüksek lisans tezinin deneysel aşamalarında kullanılan diğer kimyasal maddeler ve solventler kromatografik ve metabolomik analizlere uygun saflıkta ve nitelikte seçilmiştir.

3.2 Susam Tohumlarındam Susam Yağı Elde Edilmesi ve Depolanması

3 farklı yöntemle kurutulmuş beyaz ve altın susam tohumları, soğuk sıkım yağ makinası yardımıyla sıkılarak susam yağları üretilmiştir (NF100, Karaerler, Türkiye). Soğuk sıkım işlemi 25 °C’de gerçekleştirilmiştir. Soğuk sıkım susam yağlarında bulunan tortuların giderilmesi ve yağların daha berrak bir hal kazanmaları için, susam yağları kaba filtre kâğıdı yardımıyla süzölmüştür. 3 farklı altın susam yağı (tohumu dondurarak, vakum altında, konveksiyonel kurutma işlemleri uygulanmış), 3 farklı beyaz susam yağı (tohumu dondurarak, vakum altında, konveksiyonel kurutma işlemleri uygulanmış) olmak üzere toplamda 6 farklı soğuk sıkım susam yağları elde edilmiştir. Altın ve beyaz susam yağlarının depolanması için bir deneme deseni hazırlanmıştır (Minitab 19 software, UK). Bu amaçla, kurutma yöntemi (dondurarak, vakum altında ve konveksiyonel kurutma), susam çeşidi (altın ve beyaz susam) ve depolama süresi (0-3-6-9-12 ay) faktör olarak düşünülerek bir faktöriyel deneme deseni oluşturulmuştur (Çizelge 3.1). Süzülen susam yağları, deneme deseninde belirtilen parametrelere uygun olacak şekilde 50 mL’lik amber cam şişelere paylaştırılarak etiketlenmiştir. 30 farklı susam yağı +4 °C’deki buzdolabında 12 ay

süreyle depolanmıştır (Arçelik, Türkiye). Susam yağı örneklerine depolamanın 0-3-6-9-12. aylarında, 3.3.Yöntemler bölümünde açıklanan tüm analizler uygulanmıştır.

Çizelge 3.1 Susam Yağlarının Hazırlanması ve Depolanması İçin Oluşturulan Deneme Deseni

Deneme Sayısı	Örnek Kodu	Susam Çeşidi	Kurutma Tipi	Depolama Süresi (Ay)
1	AL0	Altın Susam	Dondururak Kurutma	0
2	AL3	Altın Susam	Dondururak Kurutma	3
3	AL6	Altın Susam	Dondururak Kurutma	6
4	AL9	Altın Susam	Dondururak Kurutma	9
5	AL12	Altın Susam	Dondururak Kurutma	12
6	AV0	Altın Susam	Vakum Altında Kurutma	0
7	AV3	Altın Susam	Vakum Altında Kurutma	3
8	AV6	Altın Susam	Vakum Altında Kurutma	6
9	AV9	Altın Susam	Vakum Altında Kurutma	9
10	AV12	Altın Susam	Vakum Altında Kurutma	12
11	AK0	Altın Susam	Konveksiyonel Kurutma	0
12	AK3	Altın Susam	Konveksiyonel Kurutma	3
13	AK6	Altın Susam	Konveksiyonel Kurutma	6
14	AK9	Altın Susam	Konveksiyonel Kurutma	9
15	AK12	Altın Susam	Konveksiyonel Kurutma	12
16	BL0	Beyaz Susam	Dondururak Kurutma	0
17	BL3	Beyaz Susam	Dondururak Kurutma	3
18	BL6	Beyaz Susam	Dondururak Kurutma	6
19	BL9	Beyaz Susam	Dondururak Kurutma	9
20	BL12	Beyaz Susam	Dondururak Kurutma	12
21	BV0	Beyaz Susam	Vakum Altında Kurutma	0
22	BV3	Beyaz Susam	Vakum Altında Kurutma	3
23	BV6	Beyaz Susam	Vakum Altında Kurutma	6
24	BV9	Beyaz Susam	Vakum Altında Kurutma	9
25	BV12	Beyaz Susam	Vakum Altında Kurutma	12
26	BK0	Beyaz Susam	Konveksiyonel Kurutma	0
27	BK3	Beyaz Susam	Konveksiyonel Kurutma	3
28	BK6	Beyaz Susam	Konveksiyonel Kurutma	6
29	BK9	Beyaz Susam	Konveksiyonel Kurutma	9
30	BK12	Beyaz Susam	Konveksiyonel Kurutma	12

3.3 Yöntemler

3.3.1 Susam Yağlarının Metabolomik Bileşenlerinin Belirlenmesi

2 gr susam yağı 5 ml metanol/su karışımı (80:20 v:v) ve 1 ml gallik asit iç standardı (25 µg/ml = 25ppm) ile karıştırılarak homojenize edilmiştir. Karışım 9000 rpm’de 10 dk boyunca santrifüjlenmiştir (Nüve NF 615, Ankara, Turkey). Bu işlem 3 kez tekrarlanarak üst faz bir balonda toplanmıştır. Metanol rotary evaporatörde 35 °C’de buharlaştırılmıştır (Heidolph Laborota-4000, Almanya). Balonda kalan kalıntı 5 ml asetronitril ile çözülüp ve 3 kez n-hekzanla (3x5 ml) yıkanarak yağın uzaklaştırılması sağlanmıştır. Karışımındaki hekzan ve asetronitril rotary evaporatörde 35 °C’de buharlaştırılmıştır. Balondaki kalıntı 1 ml methanol/su karışımı ile çözülerek ve 0,22 µm’luk naylon şırınga filtrelerden viallere süzölmüştür (Wei et al., 2019). Ekstraksiyon işlemi 2 tekrarlı gerçekleştirilmiştir. Kromatografik analizler, elektrosprey iyonizasyon ünitesi ile donatılmış Sıvı Kromatografisi-Uçuş Zamanlı Kütle Spektrometrisi (Q-TOF LC/MS) sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Sistem konfigürasyonu, 1260 model Infinity Ultra Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (UHPLC) ile 6530 model Kuadrupol Uçuş Zamanlı Kütle Spektrometri’sinden (Q-TOF-MS) oluşmaktadır (Agilent Technologies, Inc., CA, ABD). Cihazın analiz koşulları Çizelge 3.2.’de gösterilmiştir. MS sistemi 2 GHz genişletilmiş dinamik aralık modunda kullanılmış olup negatif ve pozitif iyonlaşma modlarında analizler gerçekleştirilmiştir. Kromatografik ayrımı sağlanan bileşiklere ait ana moleküllerin parçalanması ve ürün iyonlarının oluşturulması amacıyla farklı çarpışma enerjileri (CE (collision energy) = 10, 20, 40) uygulanmıştır. Kromatografik ayırım Agilent Poroshell 120 SB-C18 (3.0 mm x 100 mm x 2.7 µm) ters faz kolonu ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, Agilent MassHunter Qualitative B06.00 yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Susam yağı örneklerine ilişkin metabolomik bileşenler, moleküllerin elde edilen öncü iyon değeri ile örtüşen madde olasılıkları ve parçalanma iyonları (ürün iyonları) ile birlikte değerlendirilerek, Metlin PCDL 7.0 veritabanı ve literatür verileri (Amanpour vd., 2019; Antoiniadi vd., 2022; Ghisoni vd., 2019; Tasioula-Margari ve Tsabolatidou, 2015) aracılığıyla tanımlanmıştır.

Çizelge 3.2 Q-TOF LC/MS Analizinde Kullanılan Cihazın Özellikleri ve Analiz Koşulları

Analiz Koşulları	
Kolon fırını sıcaklığı	35 °C
Enjeksiyon hacmi	5 µl
Analiz süresi	36 dakika
Elüsyon türü	Gradyent
Mobil Faz A	Su (% 0,1 formik asit)
Mobil Faz B	Asetonitril
Akış	0.6 ml/dk
Akış programı	0 dk- 5% Mobil Faz B, 1 dk- 5% Mobil Faz B, 14 dk- 20% Mobil Faz B, 22 dk- 40% Mobil Faz B, 24 dk- 70% Mobil Faz B, 25 dk- 90% Mobil Faz B, 29 dk-90% Mobil Faz B, 29,1 dk-5% Mobil Faz B, 36 dk-5% Mobil Faz B
Analiz süresi	36 dk
İyonlaşma modu	pozitif ve negatif
Kurutucu gaz sıcaklığı	325 °C
Kurutucu gaz akış, N ₂	11 l/dk
Nebulizer	35 psi
Kapiler Voltaj	3000 V
Fragmentör Voltajı	150 V
Kütle okuma aralığı	30-1200 amu
Tarama hızı	1 spektrum/saniye
Çarpışma enerjisi	10, 20, 40 eV
Referans iyonlar	Negatif (112.9855 ve 966.0007) Pozitif (121.0508 ve 922.0098)

3.3.2 Susam Yağlarının Yağ Asidi Profillerinin Belirlenmesi

Susam yağlarının yağ asidi profillerinin belirlenmesi için, yağ asitleri yağ asidi metil esterlerine dönüştürülmüştür. Bu amaçla, 0,4 gr susam yağı tartılmış, 10 ml hekzan ile çözülmüştür. Üzerine 2 ml 2 M metanollü KOH çözeltisi (2,8 g KOH in 25 ml metanol) eklenmiş ve 30 sn vortekslenmiştir. Yaklaşık 25-30 dakika boyunca faz ayrımı gerçekleştirilmiştir. Bu süre sonunda üst faz 0,45 µm'luk naylon şırınga

filtrelerden viallere süzülerek Gaz Kromatografisi cihazına injekte edilmiştir (Jolayemi vd., 2016). Analiz 2 tekerrürle gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.3 Gaz Kromatografisi Analizinde Kullanılan Cihazın Özellikleri ve Analiz Koşulları

Cihaz Özellikleri	
Kromatografik sistem	Agilent 6890 GC
Detektör	FID (Alev İyonize Detektörü)
Otomatik örnekleyici	Agilent 7683
Kolon	100 m x 0.25 mm ID, 0.2 µm HP-88 (J&W112-88A7)
Deney Koşulları	
İç sıcaklık	225° C
Enjeksiyon hacmi	1 µL
Ayırma oranı	1/50
Taşıyıcı gaz	Helium
Fırın sıcaklığı	60 °C, 1 dk, 3 °C/dk, 170 °C 15 dk, 10 °C/dk, 230 °C 15 dk, 3 °C/dk.
Detektör sıcaklığı	260 °C

3.3.3 Susam Yağlarının Toplam Antioksidan Kapasite Değerlerinin Belirlenmesi

0,5 gr susam yağı 5 ml etil asetat ile çözülmüştür. Bu karışımdan 1 ml alınmış üzerine 5 ml DPPH çözeltisi (3,5 mg/100 ml) eklenmiş, 35°C'deki su banyosunda 5 dk bekletilmiştir. Bu işlemler iki kez tekrarlanmıştır. Spektrofotometrede 515 nm'de absorbans değerleri ölçülmüştür (Optima SP3000, Japonya). Örneklerin toplam antioksidan kapasite (TAK) değerleri troloks eşdeğeri cinsinden hesaplanmıştır (Jolayemi et al., 2021).

3.3.4 Susam Yağlarının Toplam Fenolik Madde Miktarlarının Belirlenmesi

2 gr susam yağı 10 ml metanol/su karışımı (80:20 v/v) ile çözülmüştür. Üzerine 2-3 damla Tween 20 damlatılmıştır. Karışım 25,000 rpm'de 1 dk santrifüjlenmiştir (Tehtnica, Centric 400R, Domel, Slovenya). Üst faz toplanmış, tekrar 9000 rpm'de 10 dk santrifüjlenmiştir (Tehtnica, Centric 400R, Domel, Slovenya). Bu işlem 2 kez tekrarlanmıştır. Toplam hacim kaydedilmiştir. Toplanan ekstraktan 1 ml alınmış

üzerine 6 ml saf su ilave edilmiştir. 0,5 ml Folin-Ciocalteu ajanı eklenmiş ve 1 dk bekletilmiştir. Sonra 2 ml Na₂CO₃ çözeltisi eklenmiştir (%15 g/ml). Son olarak 1,5 ml saf su ilave edilmiştir. Karışım 30 sn vortekslenmiş, 2 saat oda sıcaklığında karanlık bir ortamda bekletilmiş, 765 nm’de spektrofotometrede absorbans değerleri ölçülmüştür (Optima SP3000, Japonya). Deneyler iki tekrarla tamamlanmıştır. Susam yağlarının toplam fenolik madde miktarları (TFM) gallik asit eşdeğeri cinsinden hesaplanmıştır (Jolayemi vd., 2021).

3.3.5 Susam Yağlarının Serbest Yağ Asitliği Tayini

Örneklerin serbest yağ asitliği (SYA) miktarı AOCS Official Method Ca 5a-40’a göre yapılmıştır (AOCS, 1993). Yaklaşık 10 gr susam yağı örneği bir erlene tartılmış ve 75 ml 50:50 dietileter-etil alkol karışımında çözülmüştür. İndikatör olarak 3-4 damla fenolftalein damlatılarak 0,01 N KOH çözeltisi ile renk pembe oluncaya kadar titre edilmiştir. Titrasyonlar 2 tekerrürlü yapılmıştır. Örneklerin serbest yağ asitliği değeri % oleik asit cinsinden aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Serbest yağ asitliği} = (V \times N \times 28,2)/M \quad [3.1]$$

Burada;

N: KOH çözeltisinin normalitesi,

V: Titrasyonda harcanan KOH çözeltisinin ml’si,

M: Tartılan örnek miktarı, gr,

28,2: 282 (Oleik asidin molekül ağırlığı) x 100 / 1000’dır.

3.3.6 Susam Yağlarının Peroksit Sayısı Tayini

Örneklerin peroksit sayısı (PS) değerleri AOCS Official Method Cd 8b-90’a göre yapılmıştır (AOCS, 2009). Yaklaşık 10 gr örnek 250 ml’lik ağzı tıraşlı erlenlere tartılmış, üzerine 30 ml asetik asit:kloroform (3:2 v/v) çözeltisi ilave edilmiştir. Sonra 0,5 ml doymuş potasyum iyodür (KI) çözeltisi ilave edilerek, sürekli ve hızlı bir şekilde 1 dakika boyunca karıştırılmıştır. Bu süre sonunda 30 ml destile su ilave edilerek reaksiyon bitirilmiştir. İndikatör olarak nişasta çözeltisinden 3-4 damla ilave

edilerek, 0,01 N sodyum tiyosülfat çözeltisi ile titre edilmiştir. Titrasyonlar 2 tekrarlı yapılmıştır. Peroksit değeri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır ve sonuçlar 1 kg yağda bulunan peroksit oksijenin mili eşdeğer oksijen cinsinden verilmiştir.

$$\text{Peroksit değeri (meq O}_2\text{/kg yağ)} = [(S-B) \times N \times 1000] / M \quad [3.2]$$

Burada;

S: Titrasyonda harcanan sodyum tiyosülfat çözeltisinin ml'si,

B: Kör (şahit) için harcanan sodyum tiyosülfat çözeltisinin ml'si,

N: Sodyum tiyosülfat çözeltisinin normalitesi,

M: Tartılan örnek miktarı, gr'dir.

3.3.7 İstatistiksel Analizler

Kurutma yöntemlerinin (dondurarak, vakum altında ve konveksiyonel kurutma), susam tohumu çeşitlerinin (altın ve beyaz susam) ve depolama sürelerinin (0-3-6-9-12 ay) susam yağlarının kimyasal ve metabolomik özelliklerine olan etkisi varyans analizi (ANOVA) ile açıklanmıştır (Minitab 19 software, UK). Ayrıca, susam yağlarındaki farklılıkların daha iyi açıklanması ve örneklerin sınıflandırılması için verilere Temel Bileşenler Analizi (TBA) de uygulanmıştır (SIMCA 14.1, MKS Umetrics, Umea, Sweeden).

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

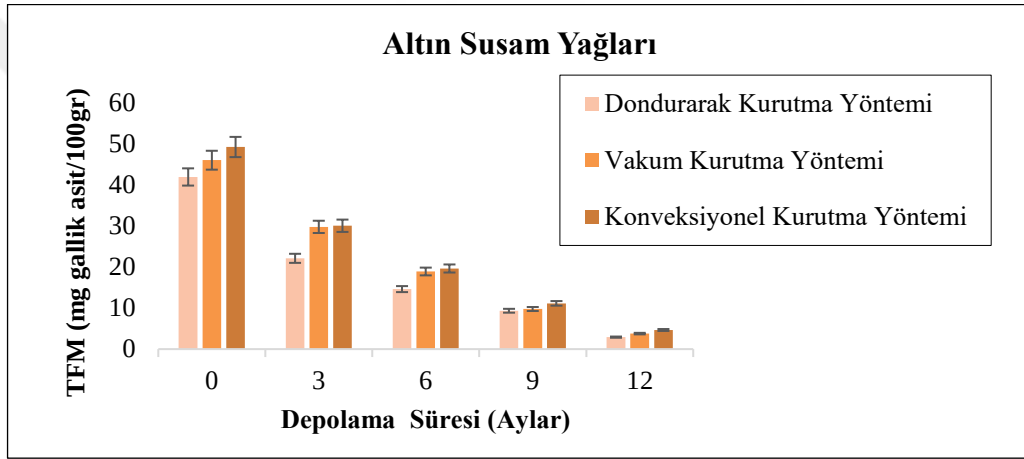
4.1 Susam Yağlarının Toplam Fenolik Madde İçerikleri

Altın ve beyaz susam yağlarının depolama periyodu boyunca analiz edilen TFM değerleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Depolamanın başlangıcında konveksiyonel kurutma yöntemi ile üretilen altın susam yağlarının TFM miktarı 49,15 mg gallik asit/100 gr, beyaz susam yağlarının TFM miktarı ise 34,25 mg gallik asit/100 gr olarak tespit edilmiştir. Dondurarak ve vakum kurutma yöntemleriyle hazırlanan altın susam yağlarının başlangıç TFM içerikleri ise sırasıyla 41,86 mg gallik asit/100gr ve 43,93 mg gallik asit/100gr olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.1). Beyaz susam yağlarının TFM değerleri genel olarak, altın susam yağlarının TFM içeriklerinden daha düşüktür. Konveksiyonel yöntemle kurutulan beyaz susam tohumlarından elde edilen yağlar, vakum altında ve dondurarak kurutma yöntemleriyle elde edilen beyaz susam yağlarından daha yüksek TFM içeriklerine sahiptirler (Çizelge 4.2). Bulunan sonuçlar, susam yağlarının TFM içeriklerinin belirlendiği çalışmalarla benzerlikler göstermektedir (Huang vd., 2023; Ramroudi vd., 2022). Tohum çeşidinden bağımsız olarak tüm susam yağlarının TFM içerikleri depolama süresince azalmıştır (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). 10 farklı susam çeşidinin TFM miktarlarının depolama süresi boyunca azaldığı daha önce yapılan bir araştırma ile ortaya çıkarılmıştır (Elsafy vd., 2021).

Depolamanın tüm aylarında, konveksiyonel ve vakum altında kurutma yöntemleri ile üretilen susam yağlarının, liyofilizasyon işlemi uygulanan tohumlardan elde edilen susam yağlarından daha yüksek TFM değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir. Konveksiyonel ve vakum altında kurutma işlemleri için uygulanan ısı işlem sırasında susam tohumu kabuğuna zarar verilerek, tohumun içeriğinde bulunan fenolik bileşenlerin dışarıya alınmasının kolaylaştırıldığı düşünülmektedir. Liyofilizasyon yönteminde ise, tohumlara fiziksel hasar verilmeksizin dondurma işlemi ile tohumun içeriğinde bulunan suyun buz formuna dönüştürülmesi ve daha sonra buzun su buharı şeklinde tohumdan uzaklaştırılması yoluyla kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle, susam yağlarının oksidatif stabiliteleri korunurken, fenolik bileşenler açısından nispeten daha zayıf susam yağları elde edilmiştir. Önceki çalışmalarda, susam tohumlarına uygulanan kavurma işlemi sıcaklığının ve süresinin artırılmasının

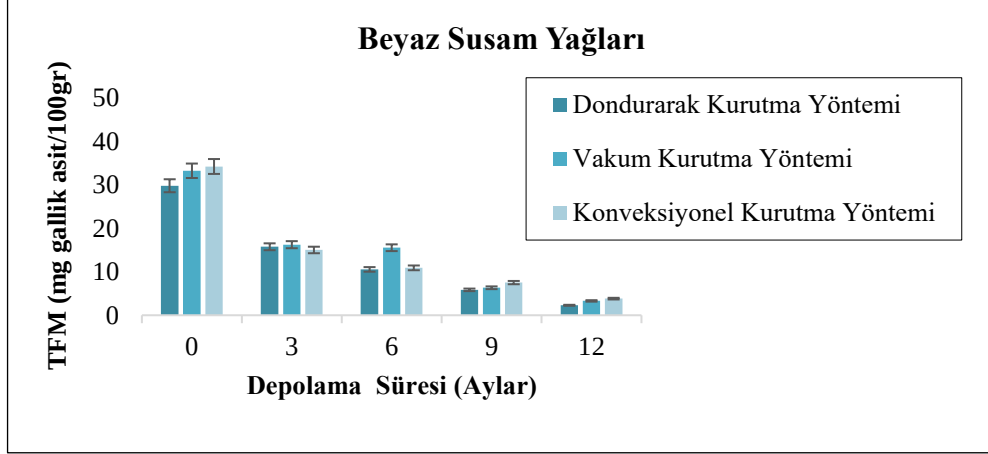
susam yağlarının TFM değerlerini yükselttiği bildirilmiştir (Ahmed vd., 2021; Ahmed vd., 2020b).

Altın susam yağları, beyaz susam yağlarına kıyasla nispeten daha yüksek TFM değerlerine sahiptir. Depolamanın 3. ayından itibaren, altın susam tohumlarına uygulanan kurutma yöntemlerinden bağımsız olarak tüm TFM miktarlarının azaldığı saptanmıştır. Depolamanın 3-6-9 ve 12. aylarında TFM değerleri ayrıntılı olarak değerlendirildiğinde ise, konveksiyonel ve vakum kurutma yöntemleri ile üretilen altın susam yağlarının hemen hemen aynı düzeylerde fenolik madde içerdiği görülmektedir (Şekil 4.1.).



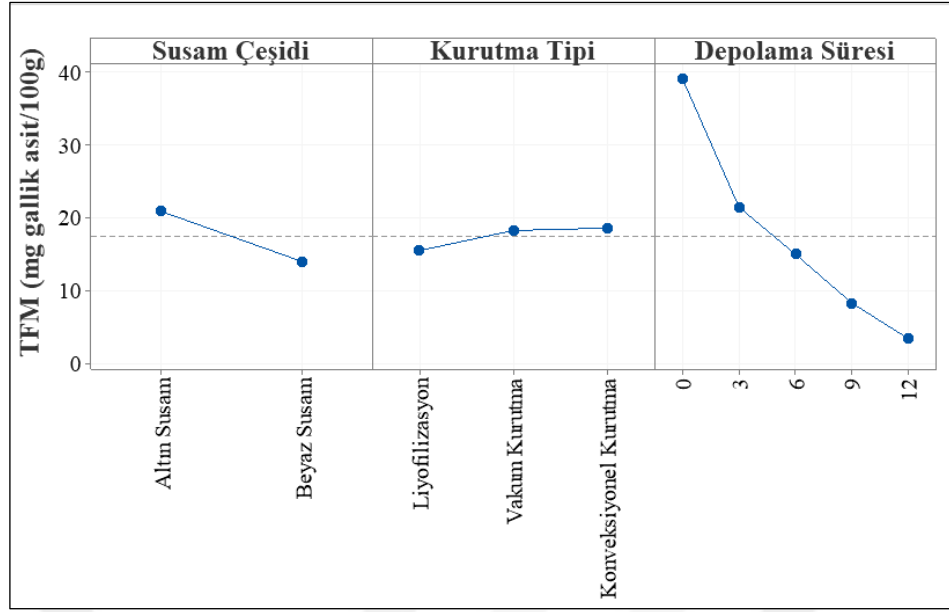
Şekil 4.1 Altın Susam Yağlarının TFM İçerikleri

Beyaz susam yağlarının TFM miktarlarının depolamanın 3. ayında birbirine oldukça yakın değerlerde olduğu Şekil 4.2’de görülmektedir. Vakum altında kurutma yöntemi ile üretilen beyaz susam yağlarının TFM miktarları 6. ayda fark edilir bir değişiklik göstermezken, diğer örneklerde nispi azalmalar mevcuttur. Depolamanın 9. ayından itibaren ise, tüm beyaz susam yağlarının TFM değerleri azalarak, 12. ayda en düşük seviyelere ulaşmıştır (Şekil 4.2).

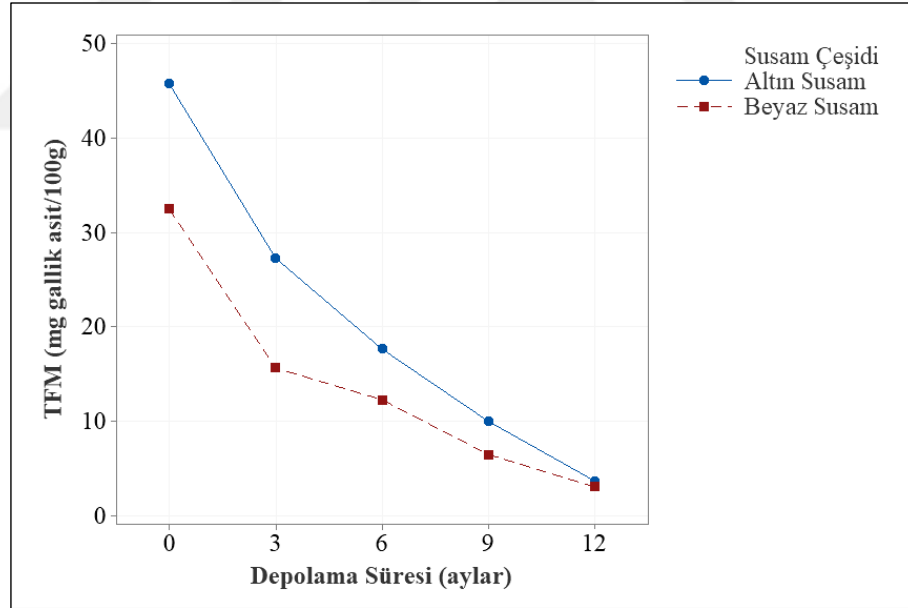


Şekil 4.2 Beyaz Susam Yağlarının TFM İçerikleri

Susam yağı örneklerinin TFM değerleri için yapılan varyans analizi sonucu elde edilen ANOVA tablosu Çizelge 4.9’da gösterilmiştir. Susam yağlarının TFM miktarları için oluşturulan modelin %95 güven aralığında önemli olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Susam çeşidi, kurutma tipi, depolama süresi, susam çeşidi ve depolama süresi etkileşimini ($p < 0,05$) susam yağlarının TFM değerlerini etkileyen faktörlerdir (Çizelge 4.9). Seçilen faktörlerin TFM değerlerine olan etkileri, temel etki grafiklerinde gösterilmektedir (Şekil 4.3). Altın susam yağlarının TFM değerlerinin, beyaz susam yağlarının TFM değerlerinden daha yüksek olduğu istatistiksel olarak da saptanmıştır. Vakum altında ve konveksiyonel kurutma yöntemleri ile kurutulan susamlardan elde edilen yağların TFM değerleri birbirlerine oldukça yakınken, dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan susamlardan elde edilen yağlar nispeten daha düşük TFM miktarlarına sahiptir. Ayrıca depolama süresi uzadıkça, susam yağlarının TFM değerlerinin azaldığı da istatistiksel olarak belirlenmiştir (Şekil 4.3). Susam çeşidi ve depolama süresi faktörlerine ilişkin etkileşim grafiği incelendiğinde, her iki susam çeşidinin TFM değerlerinin depolama periyodu boyunca azaldığı ve altın susam yağlarının depolamanın tüm aylarında beyaz susam yağlarından daha yüksek oranlarda TFM içerdikleri istatistiksel olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.4.).



Şekil 4.3 Susam Yağlarının TFM Değerleri Üzerine Seçilen Faktörlerin Temel Etki Grafikleri

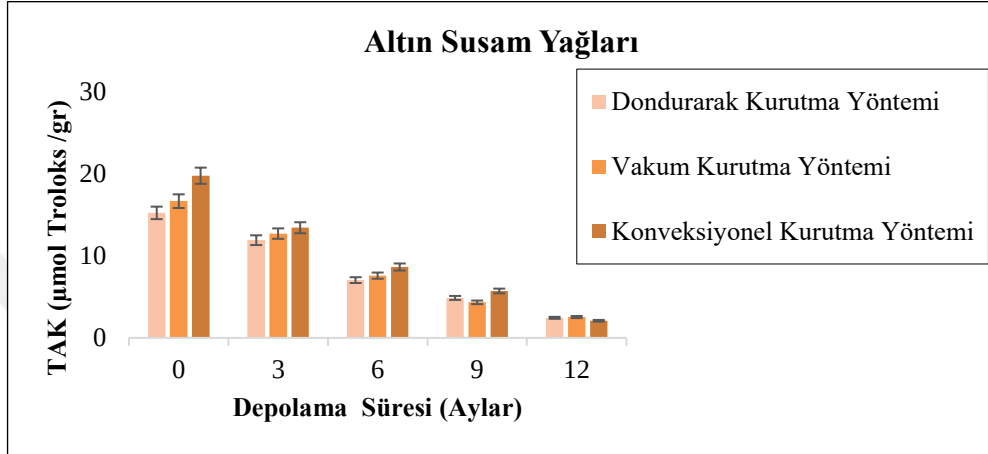


Şekil 4.4 Susam Yağlarının TFM Değerleri Üzerine Seçilen Faktörlerin İnteraksiyon Grafiği

4.2 Susam Yağlarının Toplam Antioksidan Kapasite Değerleri

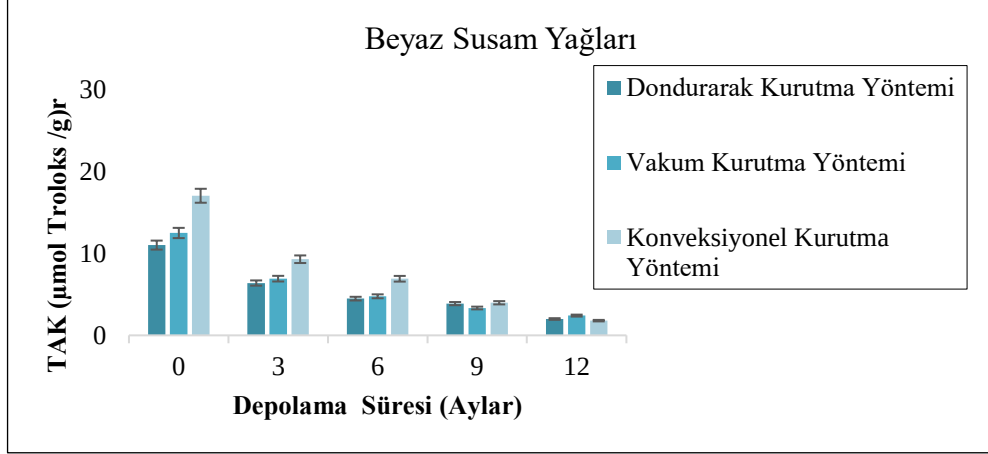
Altın ve beyaz susam tohumlarından elde edilen yağların depolama öncesi ve depolama süresi boyunca belirlenen TAK değerleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. TFM miktarları sonuçlarına paralel olarak konveksiyonel yöntemle kurutulan susam tohumlarından elde edilen yağların TAK değerlerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Konveksiyonel kurutma yöntemi ile üretilen altın ve beyaz susam yağlarının başlangıç TAK değerleri ise sırasıyla 19,77 μmol Troloks/gr ve 17,02 μmol Troloks/gr olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2). Dondurarak ve vakum kurutma yöntemleriyle hazırlanan altın susam yağlarının başlangıç TAK’ları ise sırasıyla 15,24 μmol Troloks/gr ve 16,67 μmol Troloks/gr olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.1). TFM sonuçlarında da fark edildiği üzere genel olarak, beyaz susam yağlarının TAK değerleri altın susam yağlarının TAK değerlerinden daha düşüktür. Farklı ülkelerde yetiştirilen susam yağlarının TAK değerlerinin belirlendiği bir araştırmanın sonuçları susam yağı örneklerinin başlangıç TAK değerleri ile uyum göstermektedir (Huang vd., 2023; Ramroudi vd., 2022). Depolama periyodu boyunca beyaz ve altın susam yağlarının TAK değerleri kademeli olarak azalmıştır (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6). 10 farklı susam çeşidinin TAK değerlerinin incelendiği bir araştırmanın sonuçları, elde edilen TAK verileri ile benzerlik göstermektedir (Elsafy vd., 2021). Yağların antioksidan kapasite değerleri, yağların içeriğinde bulunan fenolik bileşenlerin çeşidine ve miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Susam yağı örneklerinde bulunan fenolik bileşenlerin depolama süresi boyunca parçalanmasına bağlı olarak, örneklerin TFM ve TAK değerlerinin azaldığı düşünülmektedir. Bu nedenle susam yağı örneklerinin TFM ve TAK değerleri arasında bir Pearson korelasyonu kurulmuştur. Beyaz ve altın susam yağlarının TFM ve TAK değerleri arasında kurulan korelasyon değeri $r=0,97$ olarak bulunmuştur. r değerinin pozitif ve 0,71 – 0,99 aralığında olması değişkenler arasında yüksek düzeyde bir ilişki olduğunu göstermektedir (Köklü vd., 2007). Pearson korelasyonu, depolama boyunca susam yağlarının TFM ve TAK değerlerinin doğrusal olarak azaldığını doğrulamaktadır. Daha önceki çalışmalarda, farklı susam yağlarının TAK ve TFM değerleri arasında bu tip bir ilişki olduğu gösterilmiştir (Ramroudi vd., 2022; Sundar vd., 2022).

Altın susam yağları, beyaz susam yağlarına göre daha yüksek TAK değerlerine sahiptir. Depolamanın 3. ayından itibaren, altın susam tohumlarına uygulanan kurutma yöntemlerinden bağımsız olarak antioksidan aktivite değerlerinin kademeli olarak azaldığı belirlenmiştir. Depolama ayları kendi içinde değerlendirildiğinde ise, farklı yöntemlerle kurutulan altın susam yağlarının hemen hemen benzer TAK değerlerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.5).



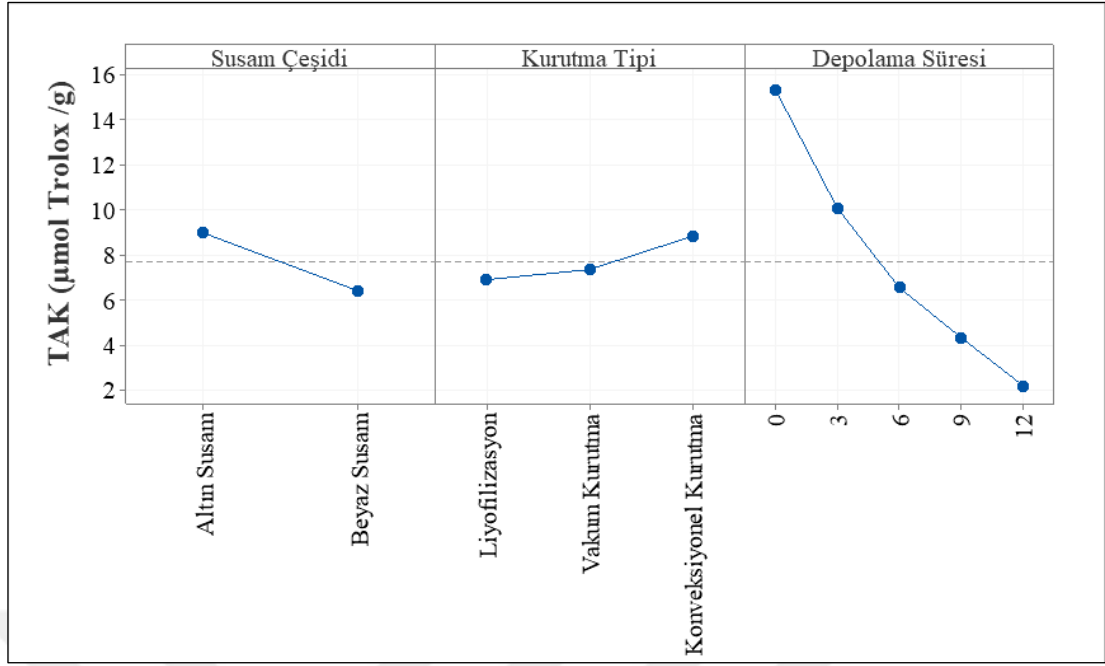
Şekil 4.5 Altın Susam Yağlarının TAK Değerleri

Beyaz susam yağları için konveksiyonel kurutma yönteminin daha etkin olduğu, bu yöntemle kurutulan beyaz susam tohumlarından elde edilen susam yağlarının nispeten daha yüksek TAK değerlerine sahip olduğu Şekil 4.6’de görülmektedir. Vakum altında ve dondurarak kurutma yöntemleri uygulanarak üretilen beyaz susam yağlarının TAK’ları depolama boyunca birbirlerine yakın değerlere sahiptirler (Şekil 4.6). Ancak depolamanın 12. ayına gelindiğinde, kurutma yönteminden bağımsız olarak, tüm beyaz susam yağı örneklerinin antioksidan aktiviteleri oldukça azalmıştır.

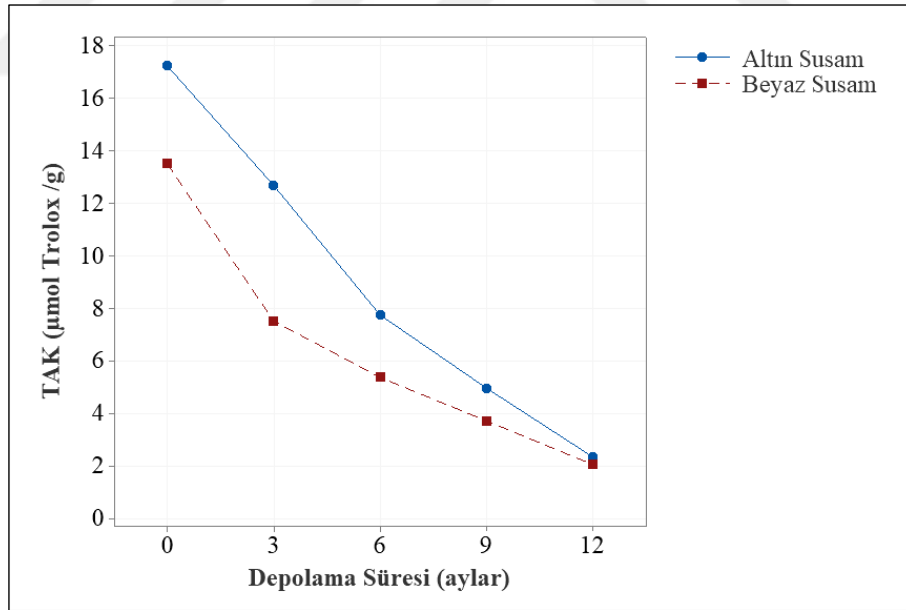


Şekil 4.6 Beyaz Susam Yağlarının TAK Değerleri

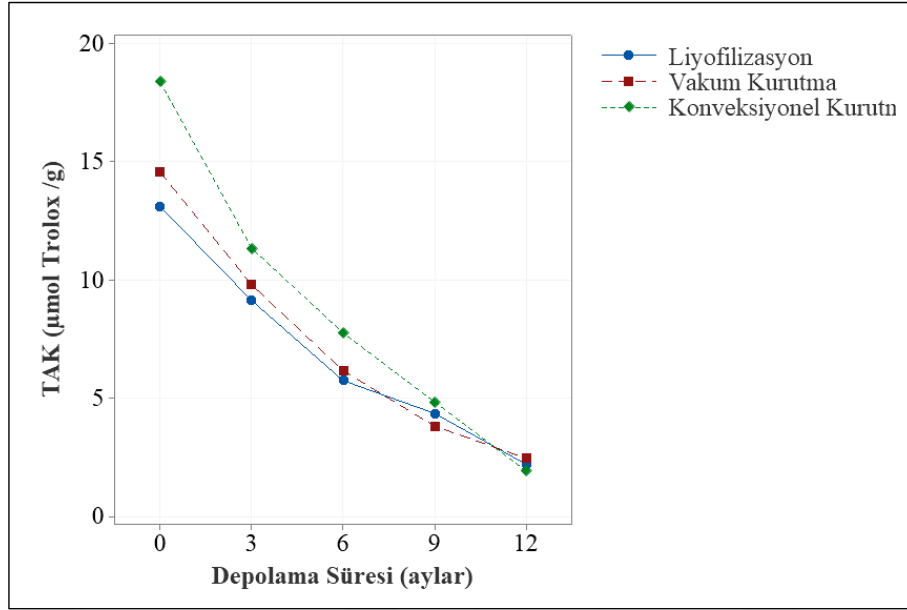
Susam yağı örneklerinin TAK değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları, oluşturulan modelin %95 güven aralığında anlamlı olduğunu belirtmektedir ($p < 0,05$) (Çizelge 4.9). Susam çeşidi, kurutma tipi, depolama süresi, susam çeşidi-depolama süresi ve kurutma tipi-depolama süresi ikili interaksiyonları ($p < 0,05$) susam yağlarının TAK değerlerini etkileyen faktörler arasında bulunmaktadır (Çizelge 4.9). Bu faktörlerin TAK değerlerine olan etkisi, temel etki grafiklerinde açıkça görülmektedir (Şekil 4.7). Altın susam yağlarının TAK değerlerinin, beyaz susam yağlarının TAK değerlerinden daha yüksek olduğu istatistiksel olarak saptanmıştır. Konveksiyonel kurutma yöntemi ile kurutulan susamlardan elde edilen yağlar en yüksek TAK değerlerine, dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan susamlardan elde yağlar ise en düşük TAK değerlerine sahiptirler. 12 ay süren depolama periyodu boyunca, susam yağlarının TAK değerlerinin azaldığı istatistiksel olarak belirlenmiştir (Şekil 4.7). Susam çeşidi ve depolama süresi faktörlerinin interaksiyon grafiği, altın ve beyaz susam yağlarının TAK değerlerinin depolama periyodu süresince azalarak 12. ayda en düşük seviyelere ulaştığını göstermektedir. Ayrıca, depolama süresince, altın susam yağlarının beyaz susam yağlarından daha yüksek antioksidan kapasite değerlerine sahip oldukları istatistiki olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.8). Konveksiyonel kurutma yöntemiyle üretilen susam yağlarının en yüksek, liyofilizasyon yöntemiyle elde edilen susam yağlarının ise en düşük TAK değerlerini içerdikleri etkileşim grafiğinde gözlemlenmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.7 Susam Yağlarının TAK Değerleri Üzerine Seçilen Faktörlerin Temel Etki Grafikleri



Şekil 4.8 Susam Yağlarının TAK Değerleri Üzerine Seçilen Faktörlerin (Depolama Süresi ve Susam Çeşidi) Etkileşim Grafiği

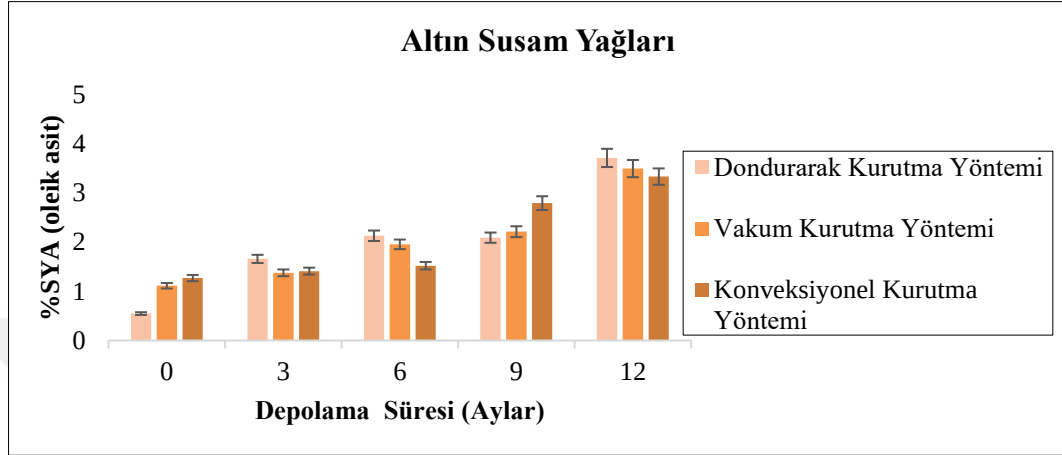


Şekil 4.9 Susam Yağlarının TAK Değerleri Üzerine Seçilen Faktörlerin (Depolama Süresi ve Kurutma Tipi) Etkileşim Grafiği

4.3 Susam Yağlarının Serbest Yağ Asitliği Değerleri

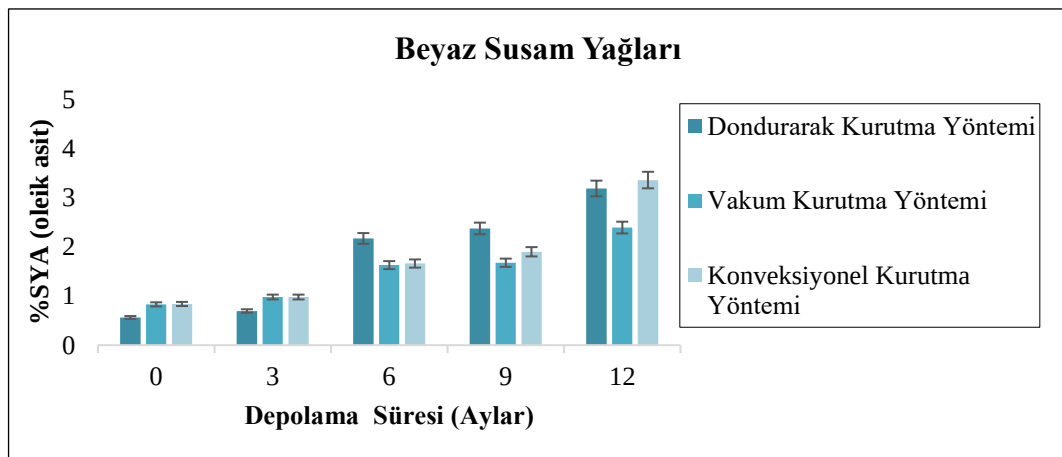
Yemeklik yağların SYA miktarları, yağların üretimi sırasında uygulanan proses aşamalarına ve depolama koşullarına bağlı olarak gerçekleşen hidrolitik acılaşma hakkında fikir vermektedir. Dondurularak kurutulmuş susam tohumlarından elde yağlar en düşük başlangıç %SYA değerlerine sahiptirler. Örneklerin SYA değerleri oleik asit cinsinden, altın susam yağı için %0,55 ve beyaz susam yağı için %0,56 olarak hesaplanmıştır. Vakum altında ve konveksiyonel kurutma yöntemleri susam çeşidinden bağımsız olarak susam yağlarının başlangıç %SYA değerlerini bir miktar arttırmıştır (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2). Bu durum, kurutma prosesi sırasında uygulanan ısı işleme bağlı olarak tetiklenen hidrolizasyon reaksiyonundan kaynaklanabilmektedir. Sıcaklığın etkisiyle, susam yağının içeriğinde bulunan mono-di ve trigliseridlerin parçalanarak, yapılarında bulunan yağ asitlerini serbest hale bırakmaktadır. Hidrolizasyon, depolama süresi boyunca da devam ederek, susam yağlarının %SYA değerlerinde artışlara sebebiyet vermiştir.

12 ay süren depolama süresince altın susam yağlarının %SYA değerlerinde hafif dalgalanmalar olduğu görülmektedir (Şekil 4.10). Depolama süresi uzadıkça, altın susam yağlarının SYA değerleri de artmaktadır. En yüksek %SYA değeri (%3,71) liyofilize altın susam tohumundan elde edilen susam yağı örneğinde görülmektedir.



Şekil 4.10 Altın Susam Yağlarının SYA Yüzdeleri

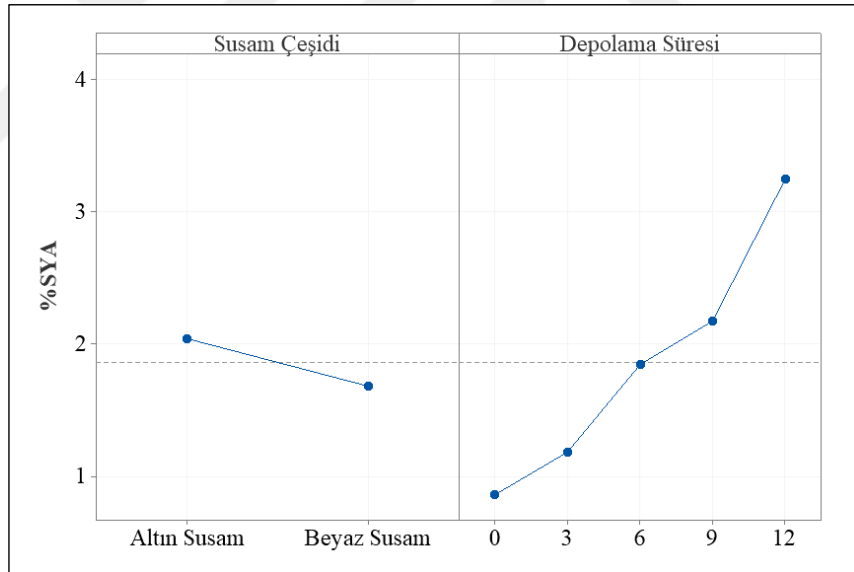
Depolamanın 9. ayına kadar konveksiyonel ve vakum altında kurutma yöntemleri ile üretilen beyaz susam yağlarının %SYA'ları birbirlerine oldukça yakındır. Konveksiyonel yöntemle kurutulan beyaz susam tohumlarından elde edilen yağın %SYA'sı depolamanın 12. ayında keskin şekilde yükselmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Beyaz Susam Yağlarının SYA Yüzdeleri

Etiyopya’da yetiştirilen susam tohumlarına farklı ön işlemler uygulanarak susam yağlarının elde edildiği bir araştırmada hesaplanan %SYA değerleri, üretilen susam yağlarının SYA değerleri ile uyumludur (Neme vd., 2023). Susam yağına uygulanabilen rafinasyon işleminin farklı aşamalarında susam yağlarının kimyasal özelliklerinin belirlendiği bir çalışmada, rafinasyon öncesi örneklerin %SYA değerleri sonuçlarımızla benzerlik göstermektedir (Sarafraz Ardakani vd., 2023).

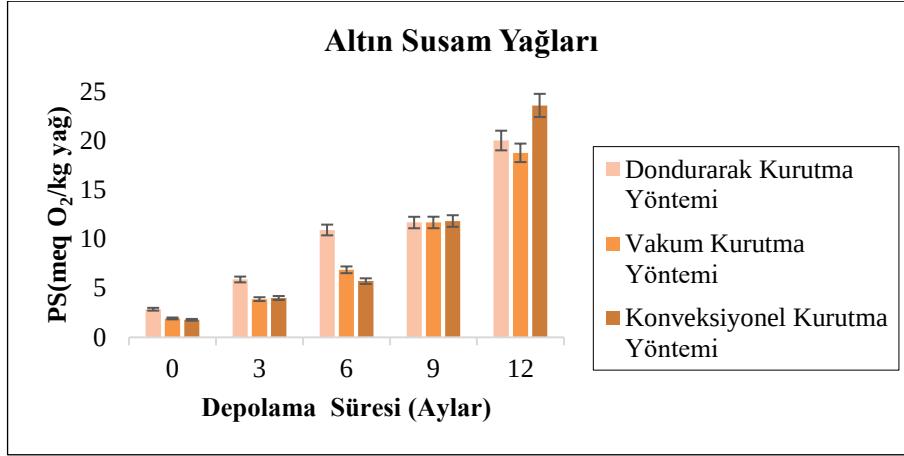
Susam yağlarının %SYA değerleri için yapılan varyans analizi oluşturulan modelin anlamlı olduğunu işaret etmektedir. (Çizelge 4.8). Susam çeşidinin ve depolama süresinin susam yağı örneklerinin %SYA içerikleri üzerinde farkedilir etkilere sahip oldukları görülmektedir ($p<0,05$). Beyaz susamdan elde edilen yağlar, altın susamdan elde edilen yağlara kıyasla daha düşük %SYA içermektedirler. Susam yağlarının %SYA değerleri 6. aydan sonra %2 değerinin üzerine çıkarak, 12. ayda en yüksek değerlere ulaşmaktadır (Şekil 4.12).



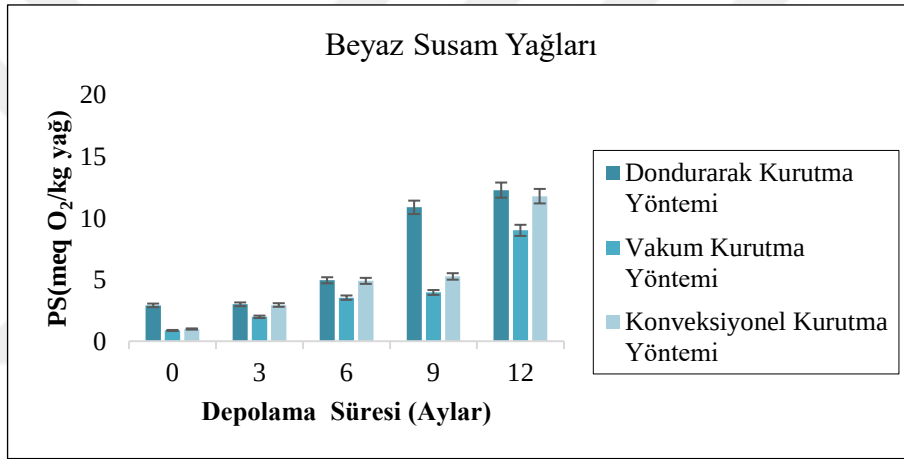
Şekil 4.12 Susam Yağlarının SYA Yüzdeleri Üzerine Seçilen Faktörlerin Temel Etki Grafikleri

4.4 Susam Yağlarının Peroksit Sayısı Değerleri

PS değeri yemeklik yağların üretimi ve depolaması sırasında gerçekleşen otooksidasyon reaksiyonlarının belirlenmesi için kullanılan bir indekstir. Depolama periyodunun 9. ayına kadar altın ve beyaz susam yağlarının PS değerleri TGK'nın limit değeri olarak önerdiği 15 meq O₂/kg değerinin altındadır (TGK, 2012). Dondurularak kurutulmuş susam tohumlarından elde yağlar en yüksek başlangıç PS değerlerine sahiptirler. Depolamanın 0. ayında, liyofilizasyon yöntemi uygulanmış örneklerin PS değerleri, altın susam yağı için 2,86 meq O₂/kg ve beyaz susam yağı için 2,91 meq O₂/kg olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2). Vakum altında kurutulan altın susam tohumlarından elde edilen yağların PS değerleri nispeten daha düşüktür. Bu durum, kurutma işlemi sırasında oluşturulan vakum sayesinde ortamdaki oksijenin uzaklaştırılmasıyla açıklanabilir. Ortamda bulunan oksijen derişiminin azaltılması otooksidasyon reaksiyonlarını durdurabilmektedir. Depolamanın 9. ayında, kurutma işleminden bağımsız olarak, altın susam yağları hemen hemen aynı PS değerlerine sahiptir. 12 ay süren depolama süreci sonunda ise, konveksiyonel yöntemle kurutulmuş altın susam yağlarının en yüksek PS'ye ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 4.13). Vakum altında kurutma tekniğinin beyaz susam yağlarının PS değerlerini iyileştirdiği belirlenmiştir. Beyaz susam yağı üretiminde, dondurarak kurutma yöntemi kullanıldığında ise, depolama boyunca PS değerlerinde keskin ve doğrusal artışlar gözlemlenmiştir. Beyaz susam yağları üretiminde konveksiyonel kurutma işleminin yer alması 9. aya kadar PS değerlerini limit değerin altında tutabilmiştir. 12. ayda ise hem konveksiyonel hem de dondurularak kurutulmuş beyaz susam tohumlarından elde edilen yağların PS değerleri limit değeri aşmaktadır (Şekil 4.14). Depolama periyodu boyunca susam yağlarının PS değerlerinin yükseldiği daha önceki bir araştırmada da tespit edilmiştir (Elsafy vd., 2024). 70 °C'de 4 hafta boyunca depolanan susam tohumlarının oksidatif stabilitelerinin zayıfladığı saptanmıştır (Lee ve Choe, 2012).

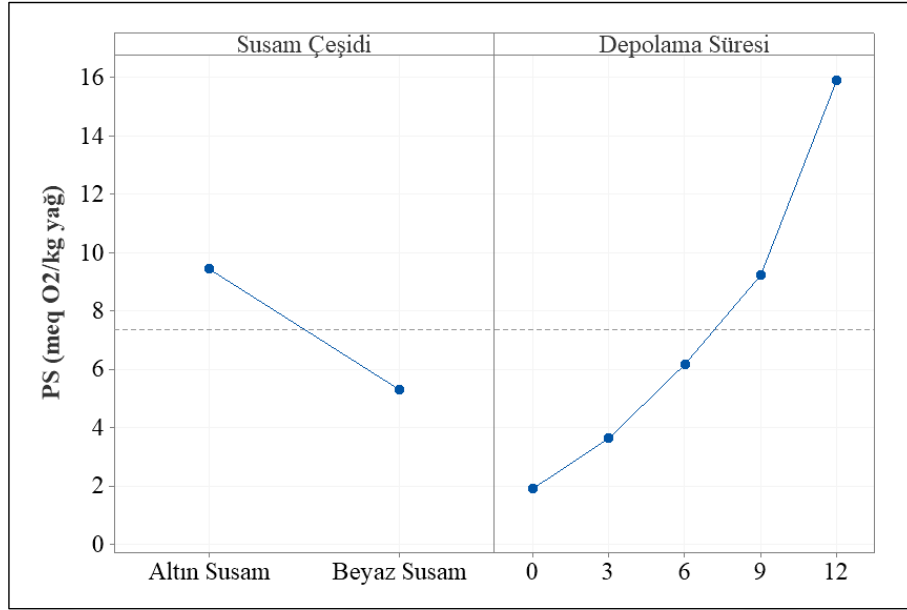


Şekil 4.13 Altın Susam Yağlarının PS Değerleri



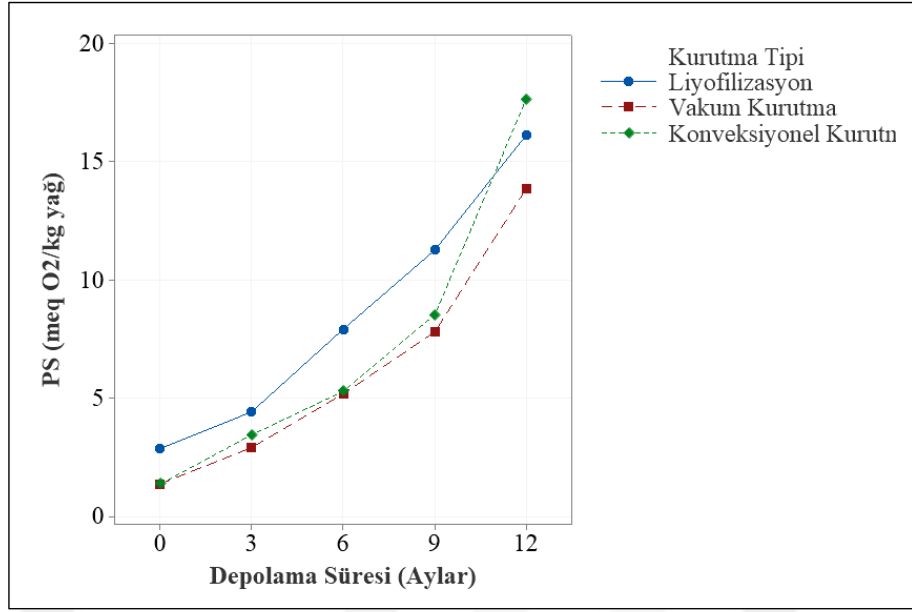
Şekil 4.14 Beyaz Susam Yağlarının PS Değerleri

Susam yağlarının PS değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları, oluşturulan modelin % 95 güven aralığında anlamlı olduğunu belirtmektedir (Çizelge 4.8). Susam çeşidi, depolama süresi, depolama süresinin susam çeşidi ve kurutma tipi ile olan etkileşimlerinin susam yağı örneklerinin PS değerleri üzerinde farkedilir etkileri olduğu görülmektedir ($p < 0,05$). Depolama süresine ait temel etki grafiği 9. aydan sonra örneklerin PS'lerinin 15 meq O₂/kg yağ değerinin üzerine çıktığını göstermektedir (Şekil 4.15). Altın susam yağlarının PS'leri, beyaz susam yağlarının PS'lerine oranla daha yüksektir (Şekil 4.15).

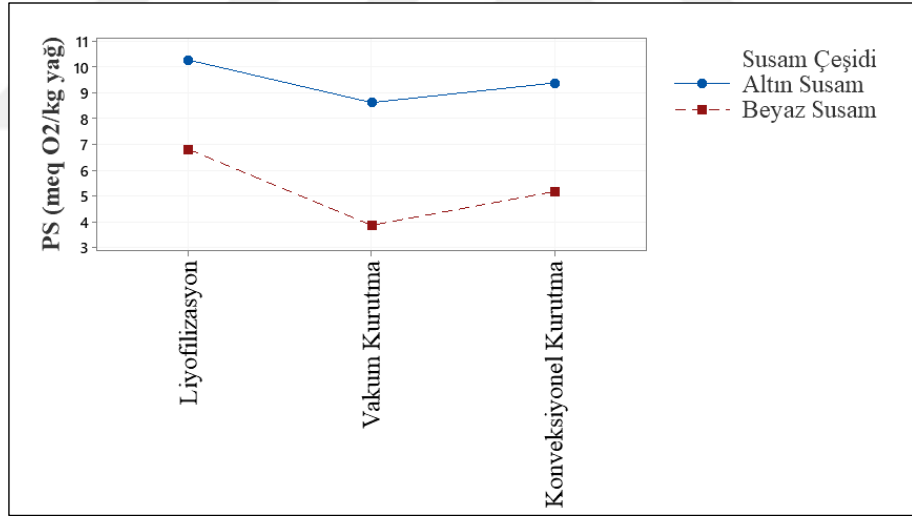


Şekil 4.15 Susam Yağlarının PS Değerleri Üzerine Faktörlerin Temel Etki Grafikleri

Depolamanın 12. ayında, konveksiyonel yöntemle kurutulan susamlardan üretilen susam yağlarının PS değerlerinin, vakum altında ve dondurularak kurutulan örneklerden elde edilen susam yağlarının PS değerlerinden daha yüksek olduğu istatistiksel olarak da saptanmıştır (Şekil 4.16). Her iki susam çeşidinden vakum altında kurutma işlemi sonrası elde edilen susam yağlarının PS değerlerinin daha düşük olduğu interaksiyon grafiğinde görülmektedir. Ayrıca, uygulanan tüm kurutma işlemlerinden sonra üretilen tüm beyaz susam yağı örneklerinin PS'leri, altın susam yağı örneklerinin PS'lerinden daha düşüktür (Şekil 4.17).



Şekil 4.16 Susam Yağlarının PS Değerleri Üzerine Seçilen Faktörlerin (Depolama Süresi ve Kurutma Tipi) Etkileşim Grafiği



Şekil 4.17 Susam Yağlarının PS Değerleri Üzerine Seçilen Faktörlerin (Depolama Süresi ve Susam Çeşidi) Etkileşim Grafiği

Çizelge 4.1 Altın Susam Yağlarının Bazı Kimyasal Özellikleri

Deneme Sayısı	Örnek Kodu	Kurutma Prosesi	DS (aylar)	SYA (%oleik asit)	PS (meq O ₂ /kg yağ)	TAK (µmol Troloks /gr)	TFM (mg gallik asit/100gr)
1	AL0	DK	0	0,55±0,01	2,86±0,04	15,24±0,02	41,86±0,04
2	AL3	DK	3	1,66±0,02	5,88±0,03	11,91±0,01	22,08±0,02
3	AL6	DK	6	2,13±0,01	10,91±0,03	7,04±0,07	14,59±0,05
4	AL9	DK	9	2,09±0,03	11,67±0,05	4,87±0,06	9,33±0,09
5	AL12	DK	12	3,71±0,01	20,00±0,06	2,44±0,08	2,91±0,02
6	AV0	VAK	0	1,11±0,02	1,92±0,04	16,67±0,06	45,94±0,03
7	AV3	VAK	3	1,38±0,02	3,88±0,03	12,71±0,07	29,73±0,04
8	AV6	VAK	6	1,95±0,03	6,86±0,02	7,59±0,05	18,87±0,08
9	AV9	VAK	9	2,21±0,01	11,67±0,05	4,33±0,03	9,75±0,05
10	AV12	VAK	12	3,49±0,02	18,75±0,04	2,54±0,04	3,77±0,03
11	AK0	KK	0	1,27±0,03	1,79±0,01	19,77±0,09	49,15±0,02
12	AK3	KK	3	1,41±0,01	4,00±0,02	13,43±0,05	30,00±0,05
13	AK6	KK	6	1,52±0,01	5,71±0,03	8,64±0,02	19,60±0,04
14	AK9	KK	9	2,79±0,04	11,82±0,05	5,72±0,07	11,12±0,06
15	AK12	KK	12	3,33±0,03	23,56±0,07	2,08±0,01	4,65±0,04

*DS=Depolama Süresi; DK=Dondurarak Kurutma; VAK=Vakum Altında Kurutma; KK=Konveksiyonel Kurutma

Çizelge 4.2 Beyaz Susam Yağlarının Bazı Kimyasal Özellikleri

Deneme Sayısı	Örnek Kodu	Kurutma Prosesi	DS (ay)	SYA (%oleik asit)	PS (meq O ₂ /kg yağ)	TAK (μmol Troloks /gr)	TFM (mg gallik asit/100gr)
16	BL0	DK	0	0,56±0,01	2,91±0,02	11,01±0,03	29,81±0,02
17	BL3	DK	3	0,69±0,02	3,00±0,01	6,38±0,05	15,77±0,05
18	BL6	DK	6	2,17±0,04	4,95±0,05	4,48±0,06	10,56±0,06
19	BL9	DK	9	2,37±0,05	10,88±0,06	3,87±0,08	5,85±0,08
20	BL12	DK	12	3,18±0,05	12,28±0,08	1,99±0,03	2,30±0,02
21	BV0	VAK	0	0,83±0,01	0,87±0,01	12,48±0,02	33,26±0,03
22	BV3	VAK	3	0,98±0,03	1,98±0,02	6,91±0,04	16,25±0,05
23	BV6	VAK	6	1,63±0,04	3,54±0,04	4,76±0,02	15,55±0,01
24	BV9	VAK	9	1,68±0,05	3,96±0,06	3,33±0,01	6,33±0,03
25	BV12	VAK	12	2,39±0,02	9,01±0,02	2,41±0,01	3,31±0,02
26	BK0	KK	0	0,84±0,02	0,99±0,01	17,02±0,03	34,25±0,04
27	BK3	KK	3	0,98±0,01	2,94±0,02	9,28±0,07	15,03±0,05
28	BK6	KK	6	1,66±0,01	4,90±0,04	6,90±0,05	10,91±0,09
29	BK9	KK	9	1,90±0,02	5,26±0,05	3,97±0,04	7,52±0,07
30	BK12	KK	12	3,36±0,02	11,79±0,07	1,79±0,03	3,83±0,08

*DS=Depolama Süresi; DK=Dondurarak Kurutma; VAK=Vakum Altında Kurutma; KK=Konveksiyonel Kurutma

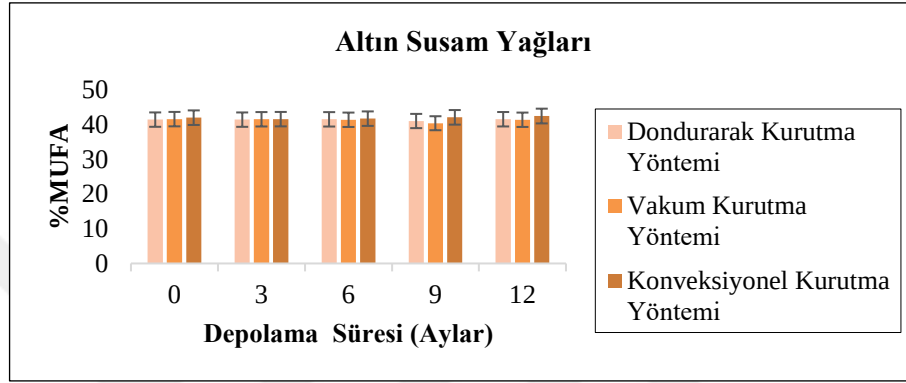
4.5 Susam Yağlarının Yağ Asidi Profilleri

Beyaz ve altın susam yağı örneklerinin baskın yağ asitleri palmitik, stearik, oleik ve linoleik yağ asitleridir (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4). Susam yağlarının oleik ve linoleik yağ asitlerini yüksek konsantrasyonlarda içerdikleri tespit edilmiştir. Kurutma tipi ve susam çeşidinden bağımsız olarak susam yağlarının %42,29-45,19 aralığında linoleik asit (C18:2n6c) içerdikleri saptanmıştır. Susam yağlarının oleik asit (C18:1n9c) miktarları %40,41-43,11 değerleri arasında değişmektedir. Susam yağlarının palmitik asit (C16:0) değerleri %10,96-14,59 aralığındadır. Altın ve beyaz susam yağları stearik yağ asidini (C18:0) %1,44-2,48, linolenik yağ asidini (C18:3n6c) %0,14-0,15 aralıklarında içermektedir. Tüm susam yağı örneklerinde sadece oleik ve linoleik yağ asitlerinin trans yağ asidi (TFA) formları (C18:1nt ve C18:2n6t) tespit edilmiştir. Depolama süresi ve uygulanan farklı kurutma yöntemleri susam yağı örneklerinin trans yağ asidi miktarlarında önemli değişiklikler yaratmamıştır (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4). 7 adedi ülkemizde, 11 adeti yurtdışında yetiştirilen susamlardan elde edilen susam yağlarının yağ asidi profilleri, analiz edilen beyaz ve altın susam yağlarının yağ asidi profilleri ile uyum göstermektedir (Kurt, 2018). Farklı sıcaklıklarda kavurma işlemi uygulanmış susam tohumlarından elde edilen susam yağlarının yağ asidi yüzdeleri, beyaz ve altın susam yağlarının yağ asitleri miktarları ile benzerlik içermektedir (Arab vd., 2022).

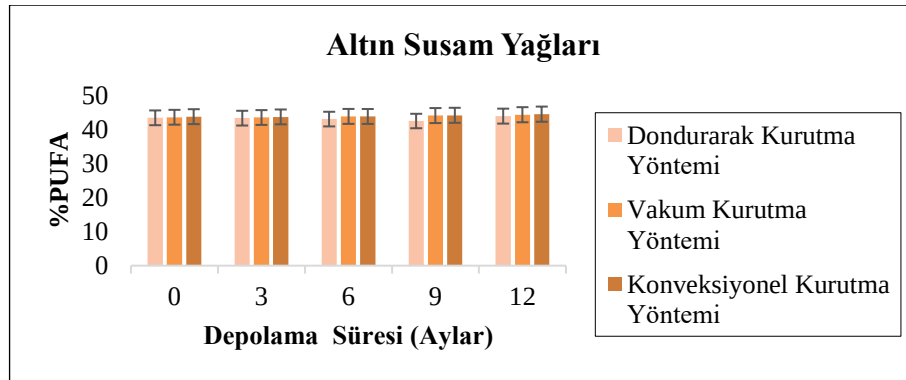
Susam yağı örneklerinin yağ asidi kompozisyonları Çizelge 4.2 ve 4.3'te toplam tekli doymamış yağ asitleri (%MUFA), toplam çoklu doymamış yağ asitleri (%PUFA), toplam doymuş yağ asitleri (%SFA) ve toplam trans yağ asitleri (%TFA) yüzdeleri cinsinden verilmiştir. Susam yağlarının kalitesinin belirlenmesinde ve beslenme açısından değerlendirilmesinde dikkate alınan indekslerden birisi toplam doymamış yağ asitlerinin (U), toplam doymuş yağ asitlerine (S) olan oranıdır (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4). Tüm susam yağı örneklerinin U/S değerleri 5,18-6,77 aralığında hesaplanmıştır. Elde edilen U/S oranları, başka bir çalışma ile paralellik göstermektedir (Chau vd., 2021).

Altın susam yağlarının MUFA ve PUFA yüzdeleri, kurutma tipinden ve depolama süresinden etkilenmeyerek farkedilir değişiklikler göstermemiştir (Şekil 4.18 ve Şekil

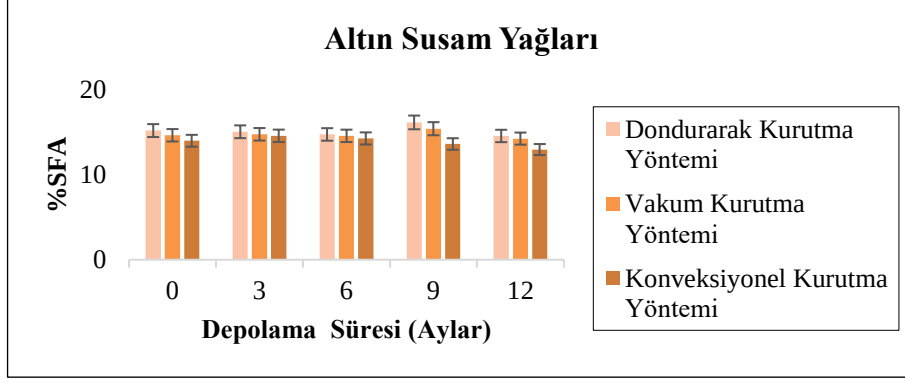
4.19). Altın susam yağı örneklerinin SFA yüzdeleri incelediğinde ise, konveksiyonel kurutma işlemi uygulanmış örneklerin SFA değerlerinin bir miktar düşük olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.20). Beyaz susam yağı örneklerinin MUFA-PUFA-SFA yüzde değerleri, depolama süresine ve kurutma tipine bağlı olarak önemli farklılıklar içermemektedir (Şekil 4.20-21-22). Fesleğen ekstraktı katkılı susam yağlarının 65 °C’de 35 gün boyunca depolandığı bir çalışmada, susam yağlarının yağ asidi profillerinin depolama süresince değişmediği saptanmıştır (Gebremeskel vd., 2022).



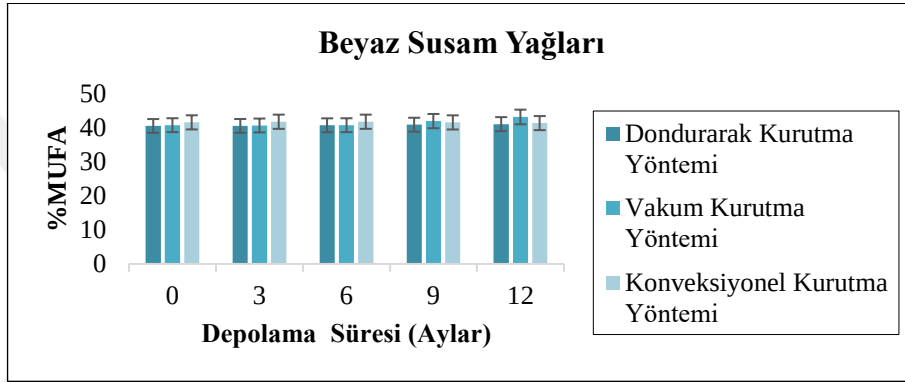
Şekil 4.18 Altın Susam Yağlarının MUFA Yüzdeleri



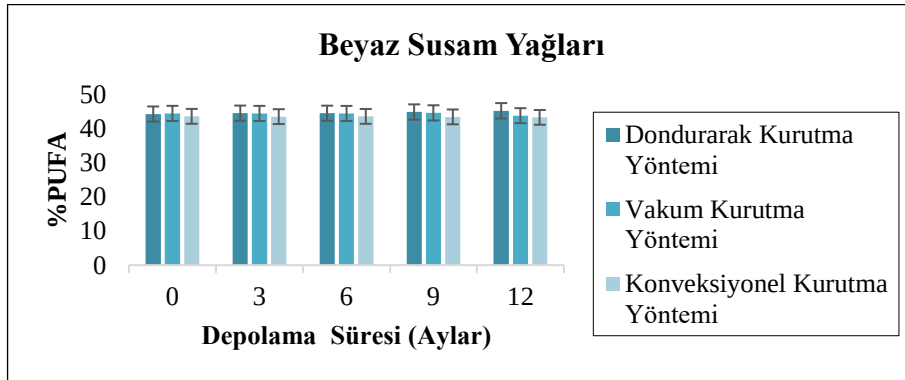
Şekil 4.19 Altın Susam Yağlarının PUFA Yüzdeleri



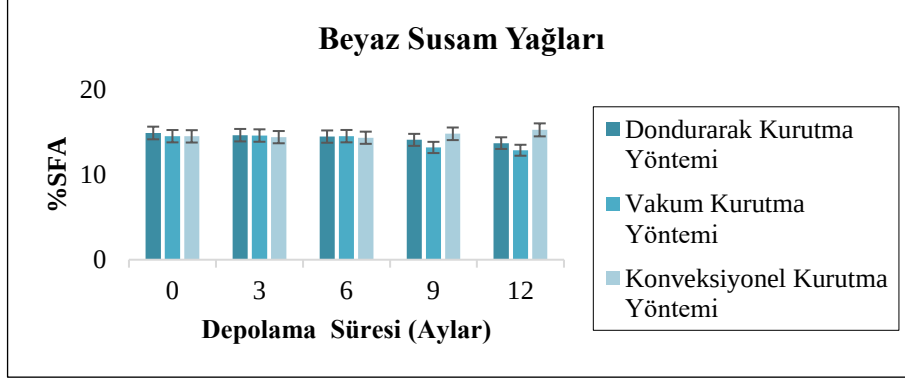
Şekil 4.20 Altın Susam Yağlarının SFA Yüzdeleri



Şekil 4.21 Beyaz Susam Yağlarının MUFA Yüzdeleri

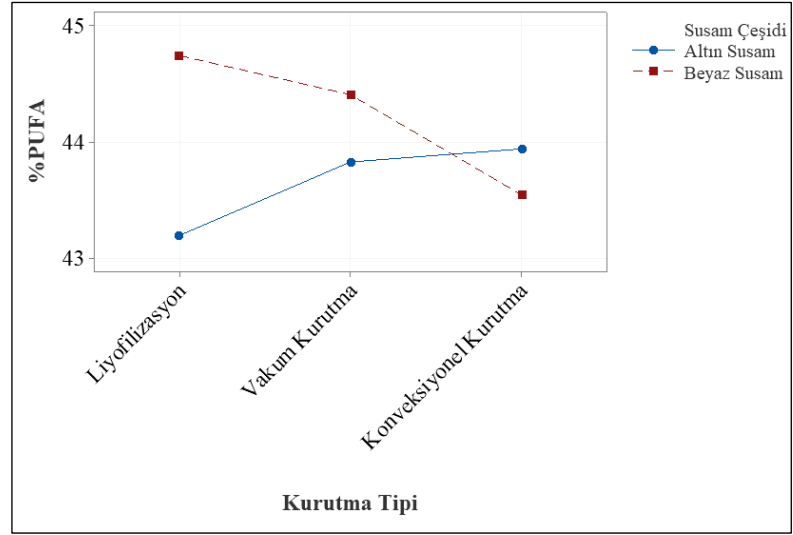


Şekil 4.22 Beyaz Susam Yağlarının PUFA Yüzdeleri



Şekil 4.23 Beyaz Susam Yağlarının SFA Yüzdeleri

ANOVA tablosu susam yağı örneklerinin %MUFA -%SFA ve %TFA değerleri için oluşturulan modellerin %95 güven aralığında önemli olmadığını işaret etmektedir (Çizelge 4.9). Kurutma tipi, susam tohumu çeşidi ve depolama süresi faktörlerinin susam yağlarının TFA, MUFA ve SFA içerikleri üzerinde önemli etkiler yaratmadığı istatistiksel olarak saptanmıştır ($p>0,05$). Susam yağlarının sadece PUFA yüzdeleri için oluşturulan model anlamlı bulunmuştur. Susam çeşidi ve susam çeşidi-kurutma tipi arasındaki etkileşimin susam yağlarının PUFA değerlerini etkileyen faktörler oldukları tespit edilmiştir. Kurutma tipi ve susam çeşidi faktörlerine ait etkileşim grafiği, altın susam tohumlarına konveksiyonel kurutma işlemi uygulanması yoluyla üretilen yağların en yüksek PUFA yüzdelere sahip olduğunu ifade etmektedir. Liyofilizasyon işlemi uygulanan beyaz susam tohumlarından elde edilen yağlar ise, diğer kurutma yöntemleri uygulanarak üretilen beyaz susam yağlarından daha yüksek PUFA değerleri içermektedir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24 Susam Yağlarının PUFA Yüzdeleri Üzerine Kurutma Tipi ve Susam Çeşidi Faktörlerinin Etkileşim Grafiği

Çizelge 4.3 Altın Susam Yağlarının Baskın Yağ Asitleri Yüzdeleri

Örnek Kodu	Kurutma Prosesi	DS (ay)	C16:0 (%)	C18:0 (%)	C18:1nc (%)	C18:1nt (%)	C18:2n6c (%)	C18:2n6t (%)	C18:3n6c (%)	MUFA (%)	PUFA (%)	SFA (%)	TFA (%)
AL0	DK	0	12,68±0,02	2,48±0,03	41,45±0,04	0,00±0	43,23±0,01	0,01±0,01	0,15±0,01	41,45±0,05	43,38±0,06	15,16±0,03	0,01±0,01
AL3	DK	3	13,56±0,03	1,46±0,02	41,45±0,05	0,00±0	43,14±0,02	0,25±0,05	0,15±0,01	41,45±0,04	43,28±0,08	15,02±0,02	0,25±0,02
AL6	DK	6	13,19±0,06	1,52±0,01	41,54±0,04	0,00±0	42,86±0,08	0,75±0,03	0,15±0,01	41,54±0,03	43,01±0,03	14,70±0,07	0,75±0,06
AL9	DK	9	14,59±0,05	1,52±0,05	41,05±0,03	0,01±0	42,29±0,09	0,39±0,02	0,15±0,01	41,05±0,02	42,44±0,05	16,11±0,06	0,40±0,01
AL12	DK	12	13,00±0,03	1,53±0,03	41,56±0,06	0,02±0	43,72±0,06	0,02±0,02	0,15±0,01	41,56±0,01	43,87±0,08	14,52±0,05	0,04±0,01
AV0	VAK	0	13,11±0,02	1,50±0,05	41,59±0,08	0,00±0	43,40±0,05	0,26±0,01	0,15±0,01	41,59±0,04	43,54±0,05	14,61±0,03	0,26±0,02
AV3	VAK	3	13,27±0,07	1,45±0,04	41,55±0,07	0,00±0	43,32±0,07	0,26±0,01	0,15±0,01	41,55±0,03	43,47±0,07	14,72±0,02	0,26±0,02
AV6	VAK	6	12,90±0,05	1,64±0,06	41,41±0,07	0,02±0	43,65±0,03	0,24±0,02	0,15±0,01	41,41±0,02	43,80±0,08	14,54±0,05	0,26±0,01
AV9	VAK	9	13,78±0,06	1,59±0,09	40,41±0,04	0,03±0	43,90±0,09	0,14±0,01	0,15±0,01	40,41±0,01	44,04±0,02	15,38±0,04	0,17±0,01
AV12	VAK	12	12,66±0,02	1,55±0,05	41,41±0,02	0,04±0	44,14±0,04	0,04±0,01	0,15±0,01	41,41±0,04	44,29±0,05	14,21±0,03	0,08±0,01
AK0	KK	0	12,41±0,04	1,54±0,04	42,01±0,05	0,00±0	43,57±0,06	0,31±0,01	0,15±0,01	42,01±0,03	43,72±0,07	13,96±0,02	0,31±0,01
AK3	KK	3	13,00±0,03	1,54±0,05	41,59±0,03	0,03±0	43,50±0,04	0,19±0,01	0,15±0,01	41,59±0,02	43,64±0,06	14,54±0,04	0,22±0,02
AK6	KK	6	12,77±0,07	1,46±0,06	41,73±0,07	0,07±0	43,63±0,02	0,19±0,02	0,15±0,01	41,73±0,01	43,78±0,08	14,23±0,05	0,26±0,02
AK9	KK	9	12,13±0,03	1,45±0,06	42,11±0,06	0,07±0	43,96±0,08	0,13±0,01	0,15±0,01	42,11±0,05	44,11±0,04	13,58±0,08	0,20±0,01
AK12	KK	12	11,48±0,06	1,44±0,04	42,49±0,09	0,07±0	44,30±0,05	0,07±0,01	0,15±0,01	42,49±0,06	44,45±0,05	12,93±0,09	0,14±0,01

*DS=Depolama Süresi; DK=Dondurarak Kurutma; VAK=Vakum Altında Kurutma; KK=Konveksiyonel Kurutma

Çizelge 4.4 Beyaz Susam Yağlarının Baskın Yağ Asitleri Yüzdeleri

Örnek Kodu	Kurutma Prosesi	DS (ay)	C16:0 (%)	C18:0 (%)	C18:1nc (%)	C18:1nt (%)	C18:2n6c (%)	C18:2n6t (%)	C18:3n6c (%)	MUFA (%)	PUFA (%)	SFA (%)	TFA (%)
BL0	DK	0	12,96±0,01	1,91±0,02	40,48±0,04	0,00±0	44,20±0,04	0,30±0,02	0,14±0,01	40,48±0,08	44,34±0,05	14,87±0,07	0,30±0,03
BL3	DK	3	12,67±0,06	1,95±0,09	40,49±0,09	0,00±0	44,46±0,06	0,30±0,01	0,14±0,01	40,49±0,02	44,59±0,04	14,62±0,06	0,30±0,02
BL6	DK	6	12,82±0,08	1,63±0,06	40,68±0,08	0,00±0	44,43±0,03	0,30±0,02	0,14±0,01	40,68±0,07	44,56±0,06	14,45±0,05	0,30±0,02
BL9	DK	9	12,16±0,06	1,90±0,02	40,85±0,05	0,00±0	44,79±0,09	0,15±0,01	0,14±0,01	40,85±0,06	44,93±0,09	14,07±0,07	0,15±0,01
BL12	DK	12	11,51±0,05	2,18±0,08	41,02±0,02	0,01±0	45,15±0,05	0,01±0,01	0,14±0,01	41,02±0,03	45,29±0,05	13,68±0,08	0,02±0,01
BV0	VAK	0	12,50±0,04	1,99±0,09	40,71±0,07	0,00±0	44,37±0,07	0,28±0,02	0,14±0,01	40,71±0,07	44,51±0,01	14,50±0,04	0,28±0,02
BV3	VAK	3	12,68±0,03	1,90±0,02	40,62±0,06	0,01±0	44,36±0,06	0,29±0,03	0,14±0,01	40,62±0,06	44,50±0,05	14,57±0,07	0,30±0,03
BV6	VAK	6	12,78±0,07	1,72±0,07	40,70±0,03	0,02±0	44,35±0,03	0,28±0,02	0,14±0,01	40,70±0,04	44,49±0,06	14,50±0,05	0,30±0,03
BV9	VAK	9	11,37±0,03	1,80±0,08	41,91±0,09	0,06±0,01	44,53±0,09	0,19±0,01	0,14±0,01	41,91±0,05	44,67±0,07	13,18±0,08	0,25±0,02
BV12	VAK	12	10,96±0,06	1,88±0,02	43,11±0,03	0,09±0,01	43,71±0,09	0,09±0,01	0,15±0,01	43,11±0,03	43,86±0,08	12,85±0,07	0,18±0,02
BK0	KK	0	12,31±0,04	2,17±0,07	41,53±0,05	0,00±0	43,52±0,08	0,33±0,02	0,14±0,01	41,53±0,05	43,66±0,06	14,48±0,04	0,33±0,01
BK3	KK	3	12,64±0,06	1,74±0,04	41,72±0,04	0,06±0,01	43,43±0,07	0,26±0,02	0,14±0,01	41,72±0,07	43,57±0,07	14,39±0,09	0,32±0,03
BK6	KK	6	12,63±0,03	1,69±0,06	41,72±0,07	0,07±0,01	43,50±0,07	0,25±0,01	0,14±0,01	41,72±0,04	43,64±0,04	14,32±0,03	0,32±0,02
BK9	KK	9	13,08±0,08	1,70±0,05	41,52±0,05	0,06±0,01	43,35±0,08	0,15±0,02	0,14±0,01	41,52±0,05	43,49±0,09	14,78±0,07	0,21±0,01
BK12	KK	12	13,52±0,05	1,72±0,04	41,32±0,03	0,05±0,01	43,20±0,06	0,05±0,01	0,15±0,01	41,32±0,03	43,35±0,07	15,24±0,06	0,10±0,01

*DK=Dondurarak Kurutma; VAK=Vakum Altında Kurutma; KK=Konveksiyonel Kurutma; DS=Depolama Süresi

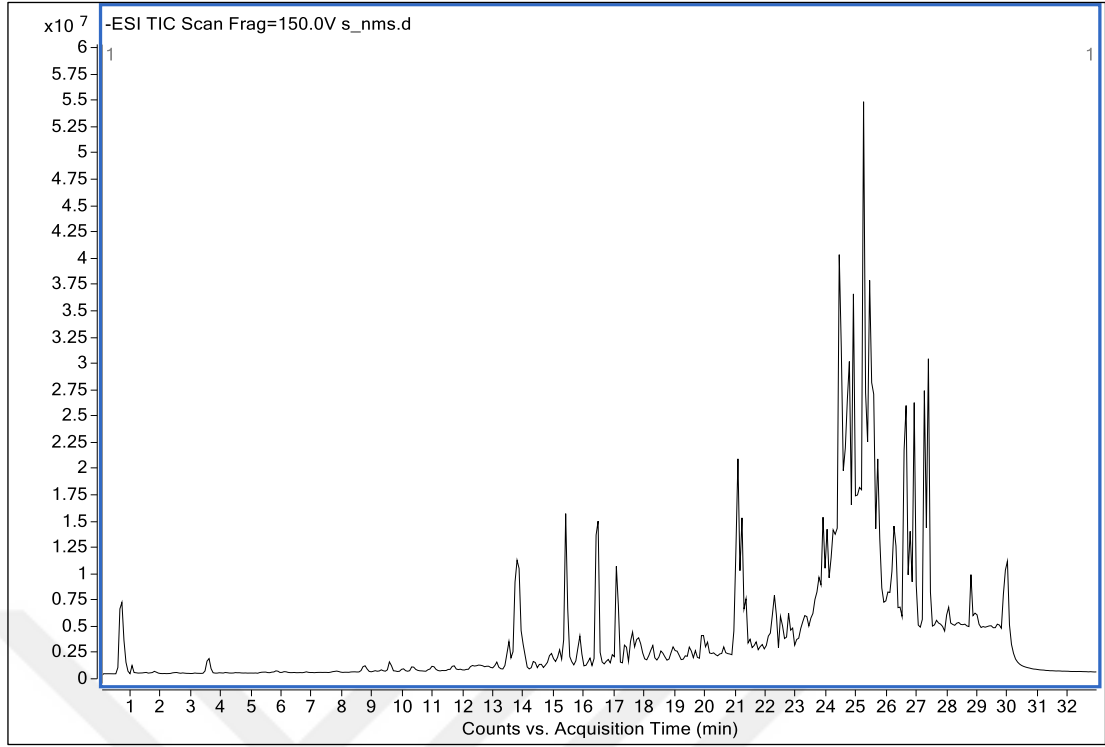
4.6 Susam Yağlarının Metabolomik Bileşenleri

Beyaz ve Altın susam yağı örneklerinde 8 adet metabolomik bileşen tespit edilmiştir. Tespit edilen metabolitlerin hepsi susam yağlarında yaygın olarak bulunan fenolik bileşenler gruplarına aittir. Fenolik asitlerden m-kumarik, ferulik ve şirinjik asit, lignanlardan sesamol, sesamolin, sesamin ve pinoresinol, flavonoidler grubundan ise sadece apigenin-7-rutinozit saptanmıştır. Çizelge 4.5'te susam yağlarında saptanan metabolitlere ilişkin bilgiler açıklanmıştır.

Çizelge 4.5 Q-TOF/LCMS Cihazı ile Belirlenen Susam Yağı Metabolomiklerine İlişkin Bilgiler

No	Bileşen	Kapalı Formül	İyonlaşma Modu	Alıkonma Süresi (dk)	Molekül Kütlesi (gr/mol)	Öncü iyon (m/z)
	İç standart (Gallik asit)	C ₇ H ₆ O ₅	(-)	1,60	170,12	169,0142
1	Şirinjik asit	C ₉ H ₈ O ₅	(-)	6,836	198,17	197,0455
2	m-kumarik asit	C ₉ H ₈ O ₃	(-)	8,845	164,16	163,0400
3	Ferulik asit	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	(-)	10,386	194,18	193,0506
4	Sesamin	C ₂₀ H ₁₈ O ₆	(-)	17,419	354,4	353,1030
5	(+)-Pinoresinol	C ₂₀ H ₂₂ O ₆	(-)	18,222	358,4	357,1344
6	Sesamol	C ₇ H ₆ O ₃	(-)	4,156	138,12	137,0244
7	Sesamolin	C ₂₀ H ₁₈ O ₇	(-)	23,648	370,4	369,0980
8	Apigenin-7-rutinozit	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₄	(-)	19,696	578,5	577,1563

Susam yağlarına ilişkin Q-TOF/LCMS cihazından elde edilen örnek bir kromatogram Şekil 4.25.'de gösterilmektedir. Susam yağlarında tespit edilen metabolitler % bağıl miktar üzerinden hesaplanmıştır. Kurutma yöntemi, depolama süresi ve susam tohumu çeşidine göre metabolomik bileşenlerin bağıl yüzdeleri arasında bazı farklılıklar olduğu açığa çıkarılmıştır. Altın ve beyaz susam yağlarının fenolik bileşenler profilleri daha önceki çalışmalarla benzerlikler içermektedir (Ahmed vd., 2020a; Wu vd., 2016; Zeb vd., 2017).



Şekil 4.25 Susam Yağı Örnekleri İçin Q-TOF/LCMS Cihazından Elde Edilen Bir Kromatogram

4.6.1 Susam Yağlarının Lignan İçerikleri

Susam yağlarında saptanan lignanlar sesamol, sesamin, sesamolin ve (+)-pinoresinol'dür (Çizelge 4.6). Bu bileşikler, susam yağlarının üretimi ve depolanması sırasında gerçekleşen farklı kimyasal ve enzimatik reaksiyonlar aracılığıyla sentezlenmekte, parçalanmakta ya da birbirlerine dönüşmektedirler. Pinoresinol, lignan biyosentezinin ilk basamağında yer almaktadır. Pinoresinol, pinoresinol-lariciresinol redüktaz (PLR) enzimi tarafından lariciresinol ve sekoisolariciresinol ara ürünlerine dönüştürülür. Oluşan bu ara ürünler, sesamin ve diğer türevlerinin sentezi için substrat olarak kullanılmaktadır. Sesamin asit uygulaması ile tekrar pinoresinole dönüşebilmektedir. Sesamin, oksidatif ve enzimatik reaksiyonlarla sesamolin ve diğer türevlerine dönüşebilmektedir. Sesamolin, ortamda su bulunması halinde hidrolizasyona uğrayarak sesamol ve diğer fenolik bileşiklere dönüşebilmektedir. Sesamol, ham susam tohumunda bulunmazken, tohumlara uygulanan kavurma işlemi

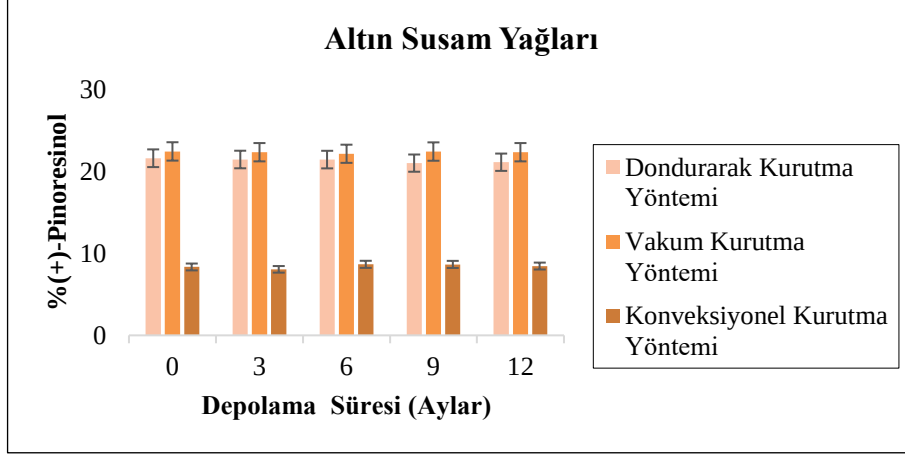
sırasında ısıtıl işlemin etkisiyle sesamolinden ayrılarak açığa çıkmaktadır (Murata vd., 2017; Tera vd., 2019; Wan vd., 2023; Zhou vd., 2021).

Liyofilizasyon ve vakum kurutma işlemleri uygulanmış altın susam tohumlarından elde edilen yağların pinoresinol yüzdeleri, konveksiyonel kurutma işlemi uygulanarak üretilmiş altın susam yağlarının pinoresinol yüzdelерinden yüksektir. Altın susam yağlarının pinoresinol yüzdeleri depolama süresince değışiklik göstermemektedir (Şekil 4.26). Benzer şekilde, liyofilizasyon ve vakum altında kurutma işlemleri uygulanmış beyaz susam tohumlarından elde edilen yağların pinoresinol yüzdeleri, konveksiyonel kurutma işlemi uygulanarak üretilmiş beyaz susam yağlarının pinoresinol yüzdelерinden yüksektir. Beyaz susam yağlarının da pinoresinol yüzdeleri depolama süresince değışiklik göstermemektedir (Şekil 4.27). Daha önce yapılan bir çalışmada susam yağında bulunan lignanlar arasında pinoresinolün en düşük antioksidan aktivite gösterdiği bildirilmiştir (Steffan vd., 2005). Altın ve beyaz susam yağlarının pinoresinol ve toplam antioksidan aktivite değерleri arasında kurulan Pearson korelasyonu bu bilgiyi doğrulamaktır. Hesaplanan $r=-0,06$ değeri, susam yağlarının antioksidan aktivite ve pinoresinol değерleri arasındaki korelasyonun oldukça düşük olduğuna dikkat çekmektedir.

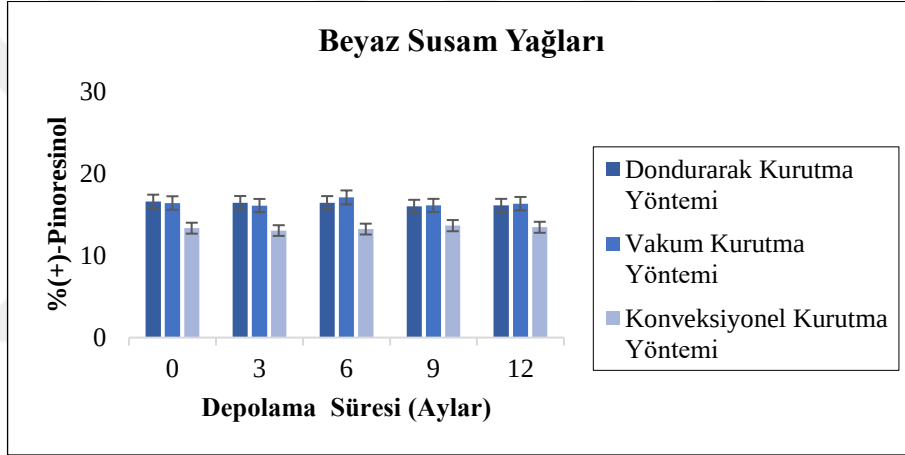
Çizelge 4.6 Susam Yağlarının Lignan Bağlı Yüzdeleri

Örnek Kodu	SÇ	KT	DS (aylar)	Sesamolin (%)	(+)-Pinoresinol (%)	Sesamin (%)	Sesamol (%)	TL
AL0	AST	DK	0	17,55±0,05	21,60±0,07	20,07±0,06	14,20±0,04	73,42±0,03
AL3	AST	DK	3	28,01±0,04	21,44±0,06	18,78±0,08	12,22±0,02	80,45±0,01
AL6	AST	DK	6	36,51±0,05	21,43±0,03	20,13±0,08	13,14±0,04	91,21±0,02
AL9	AST	DK	9	33,75±0,07	21,00±0,02	26,35±0,06	12,95±0,05	94,05±0,04
AL12	AST	DK	12	40,26±0,06	21,11±0,01	20,41±0,04	12,70±0,07	94,48±0,03
AV0	AST	VK	0	20,20±0,02	22,43±0,04	17,25±0,05	17,55±0,05	77,43±0,07
AV3	AST	VK	3	28,17±0,08	22,33±0,03	13,05±0,03	17,95±0,09	81,50±0,08
AV6	AST	VK	6	33,28±0,03	22,14±0,02	12,12±0,02	17,01±0,02	84,55±0,04
AV9	AST	VK	9	44,07±0,04	22,41±0,04	11,68±0,06	17,26±0,06	95,42±0,05
AV12	AST	VK	12	44,45±0,05	22,33±0,02	12,48±0,04	16,98±0,08	96,24±0,06
AK0	AST	KK	0	26,95±0,09	8,34±0,06	12,27±0,07	32,35±0,04	79,91±0,07
AK3	AST	KK	3	28,85±0,08	8,05±0,05	18,00±0,08	32,60±0,06	87,50±0,05
AK6	AST	KK	6	31,46±0,04	8,66±0,06	17,89±0,09	32,28±0,02	90,29±0,07
AK9	AST	KK	9	35,24±0,05	8,65±0,08	15,23±0,05	32,59±0,05	91,71±0,06
AK12	AST	KK	12	41,01±0,04	8,45±0,04	13,10±0,03	32,45±0,04	95,01±0,05
BL0	BST	DK	0	28,67±0,06	16,60±0,06	13,72±0,07	16,29±0,01	75,28±0,07
BL3	BST	DK	3	37,50±0,05	16,44±0,04	14,07±0,04	14,34±0,03	82,35±0,05
BL6	BST	DK	6	45,11±0,02	16,43±0,06	14,40±0,02	14,21±0,04	90,15±0,09
BL9	BST	DK	9	48,51±0,05	16,00±0,01	12,83±0,03	14,14±0,02	91,48±0,02
BL12	BST	DK	12	53,41±0,04	16,11±0,01	12,70±0,02	14,82±0,03	97,04±0,04
BV0	BST	VK	0	29,19±0,09	16,41±0,04	15,23±0,05	17,81±0,08	78,64±0,08
BV3	BST	VK	3	31,92±0,03	16,10±0,05	15,21±0,03	17,02±0,07	80,25±0,08
BV6	BST	VK	6	38,26±0,06	17,09±0,07	15,01±0,02	15,42±0,05	85,78±0,05
BV9	BST	VK	9	42,36±0,03	16,11±0,09	15,31±0,03	15,81±0,08	89,59±0,06
BV12	BST	VK	12	49,80±0,09	16,33±0,03	15,51±0,05	15,08±0,05	96,72±0,06
BK0	BST	KK	0	17,01±0,04	13,34±0,02	19,30±0,09	33,01±0,03	82,66±0,03
BK3	BST	KK	3	23,06±0,07	13,05±0,05	16,95±0,09	34,06±0,04	87,12±0,05
BK6	BST	KK	6	27,69±0,06	13,23±0,03	15,32±0,06	33,01±0,02	89,25±0,06
BK9	BST	KK	9	33,25±0,05	13,65±0,02	12,57±0,05	32,22±0,01	91,69±0,09
BK12	BST	KK	12	37,01±0,07	13,45±0,04	11,24±0,04	34,82±0,04	96,52±0,01

*SÇ=Susam Çeşidi; AST= Altın Susam Tohumu; BST=Beyaz Susam Tohumu; KT=Kurutma Tipi; DK=Dondurarak Kurutma; VAK=Vakum Altında Kurutma; KK=Konveksiyonel Kurutma; DS=Depolama Süresi; TL=Toplam Lignan



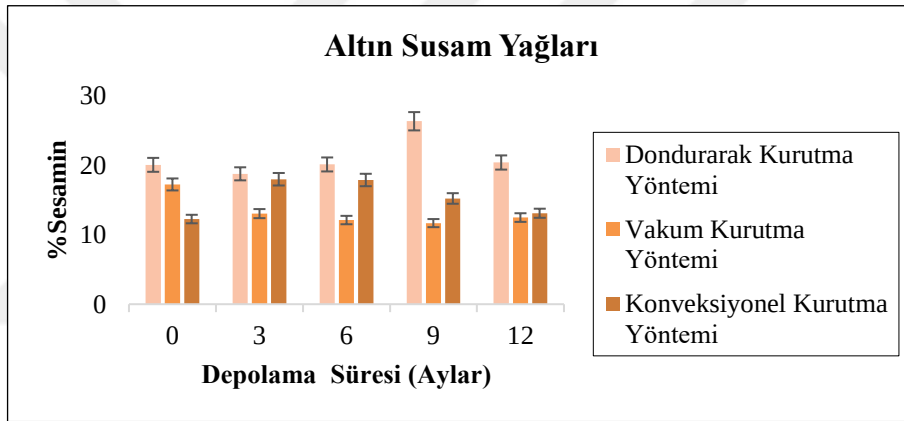
Şekil 4.26 Altın Susam Yağlarının (+)-Pinoresinol Yüzde Değerleri



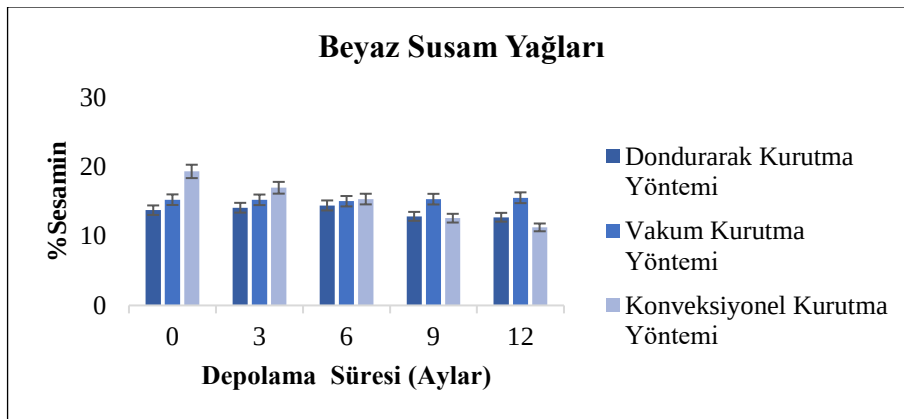
Şekil 4.27 Beyaz Susam Yağlarının (+)-Pinoresinol Yüzde Değerleri

Altın susam tohumlarına uygulanan kurutma işleminin sesamin miktarlarına olan etkisi incelendiğinde ise, depolamanın başlangıcında konveksiyonel yöntemle kurutulmuş altın susam tohumlarından elde edilen yağın en düşük sesamin içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Depolamanın 9. ayında ise, liyofilize edilmiş altın susam tohumlarından elde edilen yağın sesamin değerinin en yüksek seviyeye ulaştığı belirlenmiştir (Şekil 4.28). Beyaz susam tohumlarına uygulanan kurutma işleminin sesamin miktarlarına olan etkisi incelendiğinde ise, depolamanın başlangıcında konveksiyonel yöntemle kurutulmuş altın susam tohumlarından elde edilen yağın en yüksek sesamin içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Depolama boyunca konveksiyonel yöntemle kurutulmuş beyaz susam tohumlarından elde edilen yağların

sesamin yüzdelерinin azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.29). Çin’de üretilen 24 farklı susam tohumundan elde edilen susam yağlarında lignanlar grubundan yalnızca sesamin tespit edilmiştir. Susam yağı örneklerinin sesamin içerikleri 64.00–20000 µg/kg aralığında saptanmıştır (Wu vd., 2016). Susam yağlarında bulunan lignanların DPPH yöntemi ile yapılan antioksidan aktivite ölçümlerinde, sesaminin sesamolden düşük, ancak sesamolden daha yüksek antioksidan aktivite değerleri gösterdiği belirlenmiştir (Shyu ve Hwang, 2002). Beyaz ve altın susam yağlarının sesamin bağlı yüzdeleri ve toplam antioksidan kapasite değerleri arasında kurulan pearson korelasyonu da benzer bir trend göstermektedir. Elde edilen $r=0,23$ değeri, susam yağı örneklerinin içeriğinde bulunan sesamin miktarlarına bağlı olarak orta düzeyde antioksidan aktivite yarattıklarını belirtmektedir.

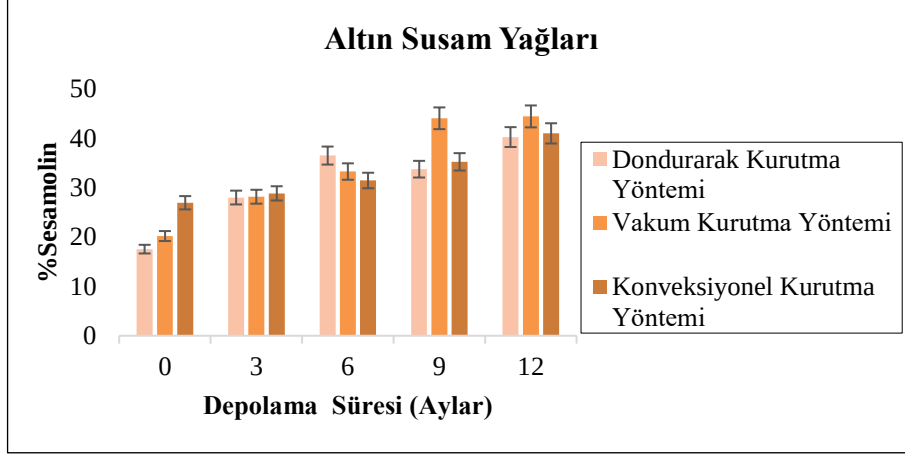


Şekil 4.28 Altın Susam Yağlarının Sesamin Yüzde Değerleri

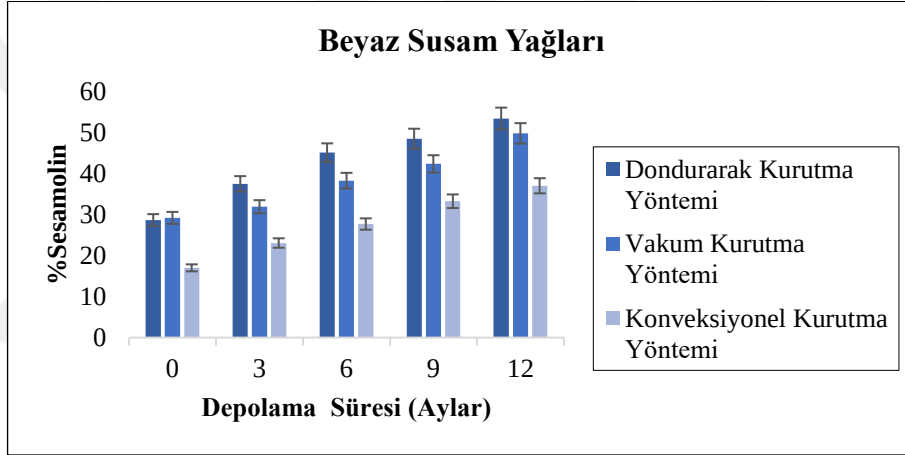


Şekil 4.29 Beyaz Susam Yağlarının Sesamin Yüzde Değerleri

Susam çeşidinden bağımsız olarak, tüm örneklerde en yüksek bağıl yüzde değerlerine sahip lignan sesamolindir (%17,55-53,41). Depolamanın başlangıcında, altın susam yağı örneklerinin sesamolin içerikleri, liyofilizasyon işlemi uygulanmış yağlar için %17,55, vakum altında kurutma işlemi yapılmış susam yağları için %20,20 ve konveksiyonel kurutma işlemi gerçekleştirilmiş örnekler için %26,95 olarak hesaplanmıştır. Liyofilize edilmiş ve vakum altında kurutulmuş altın susamlardan elde edilen yağların sesamolin değerleri depolamanın 3. ayında bir miktar artarken, konveksiyonel kurutma işlemi uygulanan altın susam yağlarının sesamolin değerleri değişim göstermemiştir. Altın susam yağlarının sesamolin yüzdeleri depolama süresince dalgalanmalar göstermekle birlikte, tüm altın susam yağları arasında en yüksek sesamolin yüzdesine depolamanın 9. ayında vakum altında kurutma işlemi uygulanmış örnekte rastlanmıştır (Şekil 4.30) Beyaz susam yağlarında ise en yüksek sesamolin değeri, depolamanın 12. ayında dondurularak kurutulmuş tohumlardan elde edilen susam yağı örneğinde (%53,41) saptanmıştır. Kurutma yönteminden bağımsız olarak, tüm beyaz susam yağlarının samolin içerikleri depolama periyodu boyunca bir miktar artış göstermiştir (Şekil 4.31). Yunanistan'da üretilen susam yağlarından susam kabukları ayrılarak ancak kavurma işlemi uygulanmadan yapılan ekstraksiyon işlemi sonucu üretilen ekstraktın sesamolin içeriğinin (148,76 mg/ml) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Konsoula ve Liakopoulou-Kyriakides, 2010). Yapılan bir araştırmada, sesamolinin susam yağlarında peroksit oluşumunu bir miktar engelleyebildiği bildirilmiştir (Suja vd., 2005). Bu bilgiye dayanarak, altın ve beyaz susam yağlarının peroksit sayısı değerleri ve sesamolin bağıl yüzdeleri arasında bir pearson korelasyonu ($r=0,60$) oluşturulmuştur. r değerinin pozitif olması anlamsız olmakla birlikte, pearson korelasyonu bu değişkenlerin arasında orta düzeyde bir ilişki olduğunu göstermektedir.



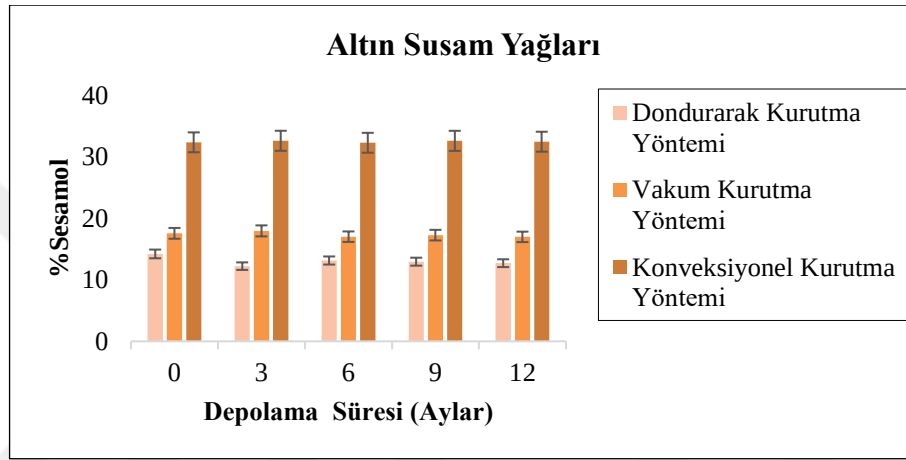
Şekil 4.30 Altın Susam Yağlarının Sesamol Yüzde Değerleri



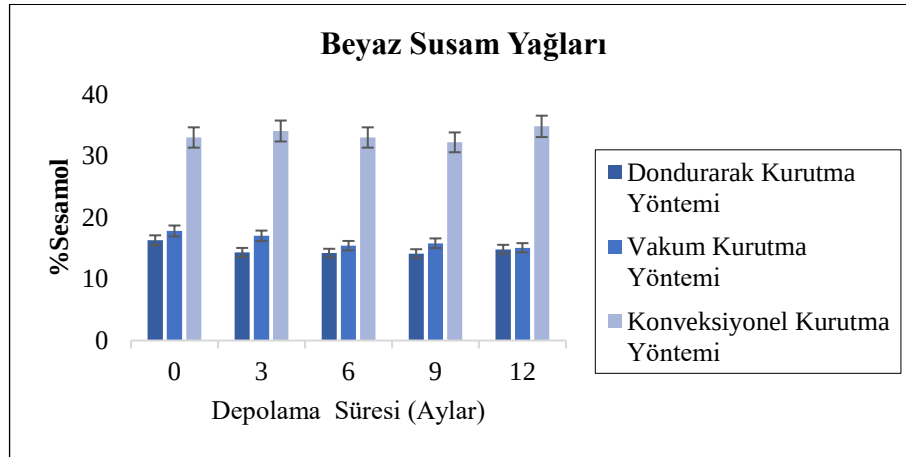
Şekil 4.31 Beyaz Susam Yağlarının Sesamol Yüzde Değerleri

Altın ve beyaz susam yağlarının en yüksek sesamol yüzdeleri, konveksiyonel kurutma yöntemi uygulandığında elde edilmiştir. Her iki susam çeşidine ait yağların sesamol içerikleri depolama süresince farkedilir değişimler göstermemiştir (Şekil 4.32 ve Şekil 4.33). Sesamol susam yağında bulunan lignanlar arasında antioksidan aktivitesi en yüksek lignandır. Ayrıca susam tohumlarına uygulanan kavurma işlemi ile miktarının arttığı daha önceki çalışmalarda bildirilmiştir (Wan vd., 2015). Dondurarak ve vakum altında gerçekleştirilen kurutma işlemleri uygulanan susam tohumlarından elde edilen susam yağlarının sesamol yüzdeleri düşüktür. Konveksiyonel yöntemle kurutma işlemine maruz bırakılan susam tohumlarından elde edilen yağlar ise daha yüksek

oranlarda sesamol içermektedir. Bu durum, uygulanan kurutma işlemlerindeki ısı işlemin etkisinden kaynaklanmaktadır. Konveksiyonel yöntemde, uygulanan sıcaklığın etkisi daha efektif olduğu için, sesamol yüzdelerinde artışlara sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Yunanistan’da yetiştirilen susamlara kavurma işlemi uygulanmadan üretilen susam yağlarının sesamol içeriğinin 1 mg/ml olduğu saptanmıştır (Konsoula ve Liakopoulou-Kyriakides, 2010). Pakistan’da yetiştirilen bir kahverengi susam çeşidinden, soğuk sıkım yöntemiyle üretilen susam yağlarının 2,51 µg/g miktarında sesamol içerdiği tespit edilmiştir.



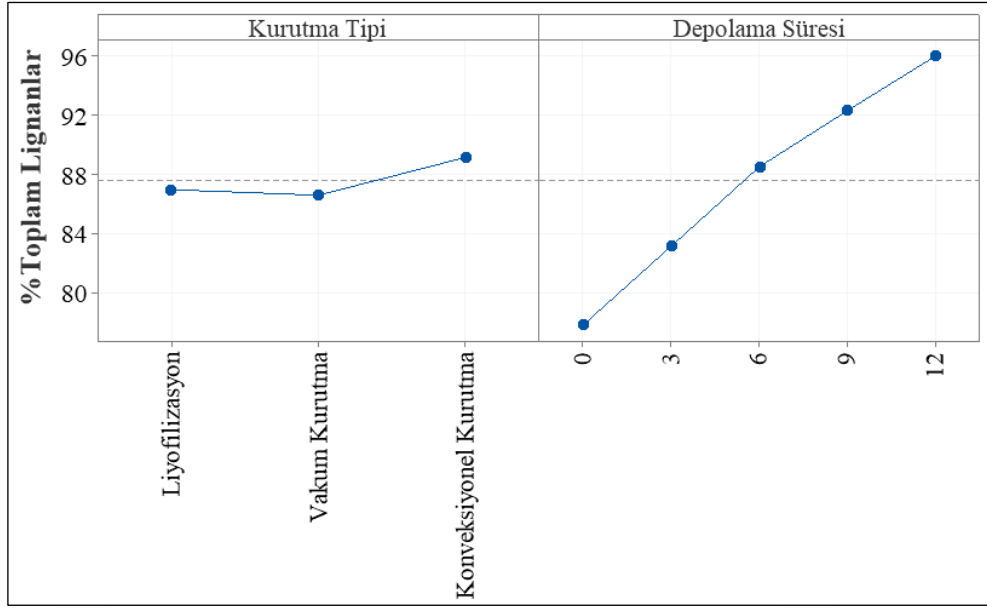
Şekil 4.32 Altın Susam Yağlarının Sesamol Yüzde Değerleri



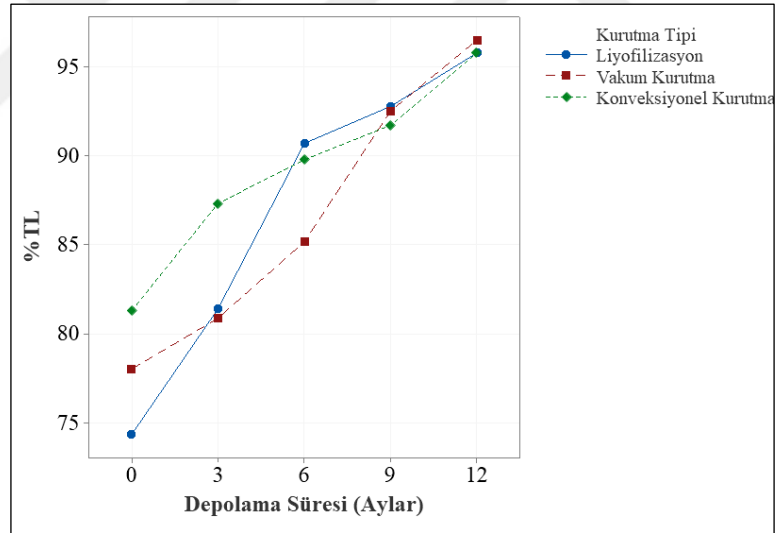
Şekil 4.33 Beyaz Susam Yağlarının Sesamol Yüzde Değerleri

Susam yağlarında bulunan lignanların miktarı ve çeşitleri, yağa işlenen tohumun çeşidine, tohumun yetiştirildiği bölgeye, yağ üretimi sırasında uygulanan kavurma, presleme, öğütme gibi işlemlere bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Ayrıca lignanların, susam yağı üretimi ve depolaması sırasında parçalanmaları ve birbirlerine dönüşmeleri durumları da söz konusudur. Bu çalışmada, tespit edilen lignanlar arasında depolama sırasında gerçekleşen değişimleri açıklayabilecek bir mekanizma bulunamamıştır. Ancak, lignanların bağıl yüzdelerinin depolama süresince değişim gösterdiği, susam yağı örneklerinin antioksidan kapasite değerleri üzerine olumlu etkilerinin olduğu ve peroksit oluşumunu kısmen de olsa azaltabildikleri gözlemlenmiştir.

Susam yağlarının toplam lignan (TL) içerikleri için oluşturulan model %95 güven aralığında anlamlı bulunmuştur. Kurutma tipi, depolama süresi ve bu faktörlerin etkileşimlerinin susam yağlarının lignan içerikleri üzerinde önemli etkileri ($p<0,05$) olduğu ANOVA çizelgesinde görülmektedir (Çizelge 4.9) Faktörlerin, susam yağlarına olan etkileri temel etki grafiklerinde gösterilmektedir. Susam tohumlarına konveksiyonel kurutma işlemi uygulanmasının, susam yağlarının lignan içeriklerini arttırdığı istatistiksel olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca, susam yağlarının toplam lignan değerleri depolama süresince artışlar göstermektedir (Şekil 4.34). Depolama süresi ve kurutma tipi faktörlerine ait etkileşim grafiği, liyofilize susam tohumlarından üretilen yağların depolamanın 6. ayında en yüksek lignan içeriğine ulaştığını, depolama periyodunun sonuna gelindiğinde ise vakum ve konveksiyonel kurutma işlemi uygulanmış tohumlardan elde edilen susam yağlarının daha yüksek lignan içerdiklerini işaret etmektedir (Şekil 4.35).



Şekil 4.34 Susam Yağlarının TL Değerleri Üzerine Faktörlerin Temel Etki Grafikleri



Şekil 4.35 Susam Yağlarının TL Değerleri Üzerine Faktörlerin Etkileşim Etki Grafiği

4.6.2 Susam Yağlarının Fenolik Asit İçerikleri

Ferulik, m-kumarik ve şirinjik asitler susam yağlarında tespit edilebilen fenolik asitlerdir (Çizelge 4.7). m-kumarik asit diğer fenolik asitlere kıyasla nispeten daha yüksek oranlarda saptanmıştır. Altın susam yağları (%0,33-5,17), beyaz susam yağlarına (%0,01-0,74) göre daha yüksek konsantrasyonlarda m-kumarik asit

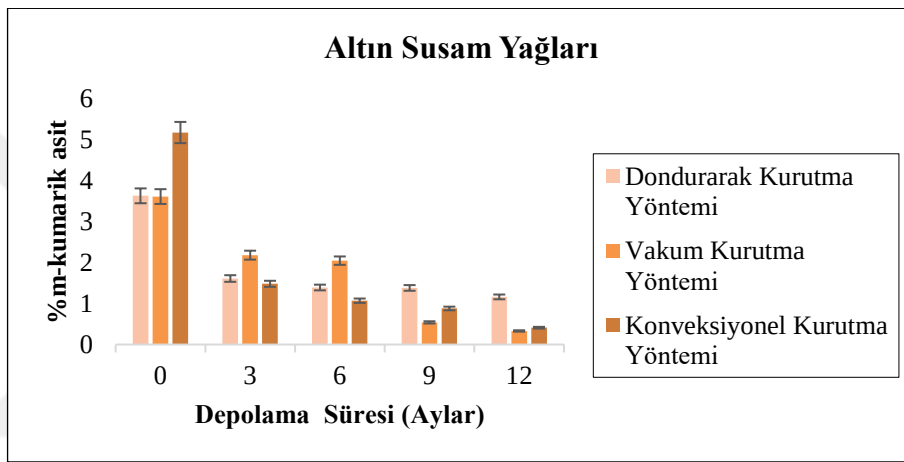
içermektedir. Depolamanın başlangıcında, konveksiyonel yöntemle kurutulmuş altın susam tohumlarından elde edilen altın susam yağı %5,17 m-kumarik asit, %2,78 ferulik asit ve %3,09 şirinjik asit değerleri ile en yüksek fenolik asit içeren örnek olarak saptanmıştır (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7 Susam Yağlarının Fenolik Asitler Bağlı Yüzdeleri

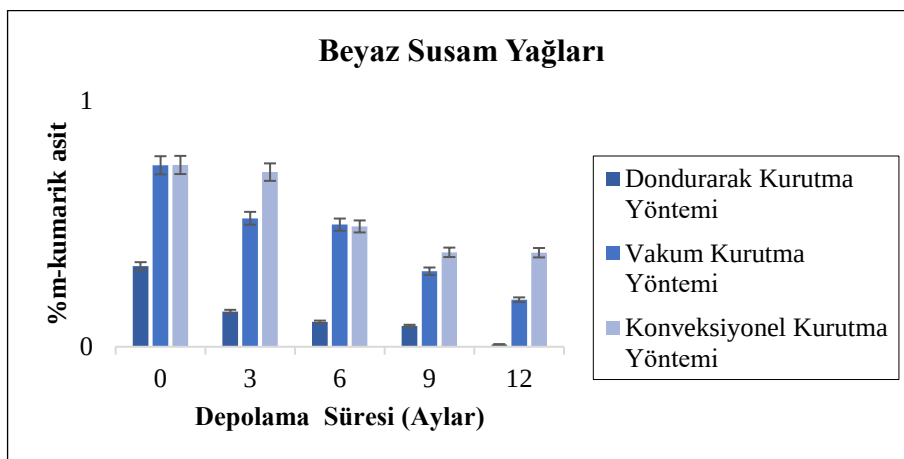
Örnek Kodu	SÇ	KT	DS	m-kumarik asit (%)	Ferulik asit (%)	Şirinjik asit (%)	TFAS (%)
AL0	AST	DK	0	3,63±0,02	1,68±0,03	2,31±0,04	7,62±0,04
AL3	AST	DK	3	1,61±0,01	1,57±0,02	1,30±0,01	4,48±0,04
AL6	AST	DK	6	1,39±0,03	1,21±0,02	1,18±0,02	3,78±0,03
AL9	AST	DK	9	1,38±0,02	0,67±0,01	1,19±0,01	3,24±0,03
AL12	AST	DK	12	1,16±0,06	0,65±0,01	1,08±0,01	2,89±0,02
AV0	AST	VK	0	3,61±0,03	2,39±0,03	2,30±0,02	8,31±0,06
AV3	AST	VK	3	2,18±0,02	1,98±0,01	1,59±0,01	5,75±0,05
AV6	AST	VK	6	2,05±0,05	1,60±0,01	1,52±0,04	5,17±0,05
AV9	AST	VK	9	0,54±0,04	0,75±0,03	0,77±0,02	2,06±0,02
AV12	AST	VK	12	0,33±0,03	0,33±0,01	0,67±0,03	1,33±0,01
AK0	AST	KK	0	5,17±0,05	2,78±0,02	3,09±0,03	11,03±0,07
AK3	AST	KK	3	1,48±0,04	1,72±0,01	1,24±0,03	4,44±0,02
AK6	AST	KK	6	1,07±0,01	1,21±0,01	1,03±0,03	3,31±0,03
AK9	AST	KK	9	0,88±0,02	0,40±0,03	0,94±0,04	2,21±0,01
AK12	AST	KK	12	0,41±0,04	0,00±0	0,71±0,02	1,12±0,01
BL0	BST	DK	0	0,33±0,02	0,66±0,03	0,66±0,03	1,65±0,02
BL3	BST	DK	3	0,14±0,01	0,53±0,02	0,57±0,02	1,24±0,01
BL6	BST	DK	6	0,10±0,01	0,47±0,01	0,55±0,04	1,12±0,01
BL9	BST	DK	9	0,09±0,01	0,21±0,02	0,54±0,04	0,84±0,01
BL12	BST	DK	12	0,01±0,01	0,11±0,02	0,50±0,03	0,62±0,01
BV0	BST	VK	0	0,74±0,02	0,43±0,02	0,87±0,04	2,04±0,02
BV3	BST	VK	3	0,52±0,02	0,33±0,03	0,76±0,04	1,61±0,03
BV6	BST	VK	6	0,50±0,02	0,16±0,02	0,75±0,03	1,41±0,04
BV9	BST	VK	9	0,31±0,01	0,02±0,01	0,65±0,02	0,98±0,05
BV12	BST	VK	12	0,19±0,01	0,01±0,01	0,60±0,02	0,80±0,02
BK0	BST	KK	0	0,74±0,04	1,41±0,01	0,87±0,02	3,02±0,03
BK3	BST	KK	3	0,71±0,04	0,79±0,02	0,85±0,04	2,35±0,03
BK6	BST	KK	6	0,49±0,02	0,63±0,03	0,74±0,03	1,86±0,02
BK9	BST	KK	9	0,38±0,01	0,53±0,03	0,69±0,03	1,61±0,01
BK12	BST	KK	12	0,38±0,01	0,32±0,02	0,69±0,04	1,39±0,03

*SÇ=Susam Çeşidi;AST= Altın Susam Tohumu; BST=Beyaz Susam Tohumu; KT=Kurutma Tipi; DK=Dondurarak Kurutma; VAK=Vakum Altında Kurutma; KK=Konveksiyonel Kurutma;DS=Depolama Süresi; TFAS=Toplam Fenolik Asitler

Altın susam yağlarının m-kumarik asit değerleri depolama periyodu boyunca azalmıştır (Şekil 4.36). Vakum altında ve konveksiyonel yöntemle kurutulmuş beyaz susam tohumlarından üretilen yağların m-kumarik asit değerleri, liyofilize beyaz susamlardan elde edilen yağların m-kumarik asit yüzdelere nispeten daha yüksektir. Depolamanın 3. ayından itibaren beyaz susam yağlarının m-kumarik asit yüzdelere düşüşler olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.37). Ferulik ve şirinjik asitler susam yağı örneklerinde sırasıyla %0-2,78 ve %0,50-3,09 gibi düşük yüzdelere hesaplanmıştır. Beyaz ve altın susam yağlarının fenolik asit kompozisyonları daha önceki çalışmalarla benzerlikler içermektedir (Wu vd., 2016; Zeb vd., 2017).

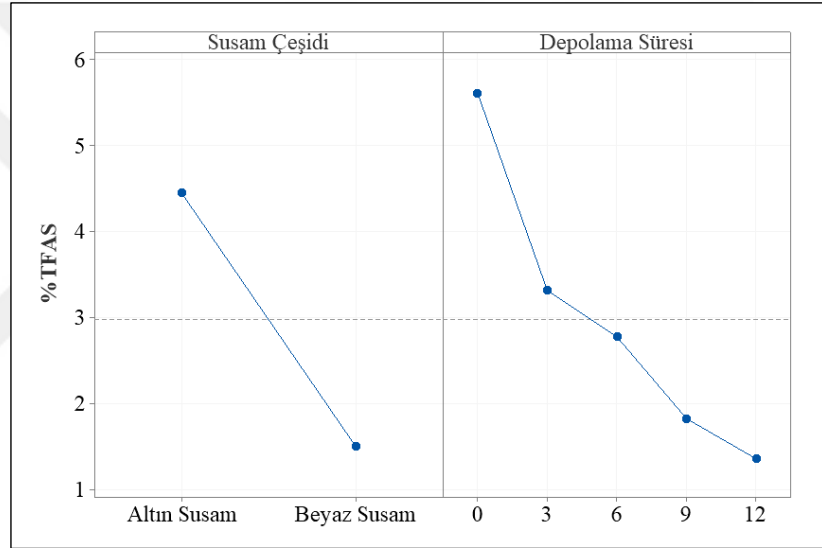


Şekil 4.36 Altın Susam Yağlarının m-kumarik Asit Yüzde Değerleri

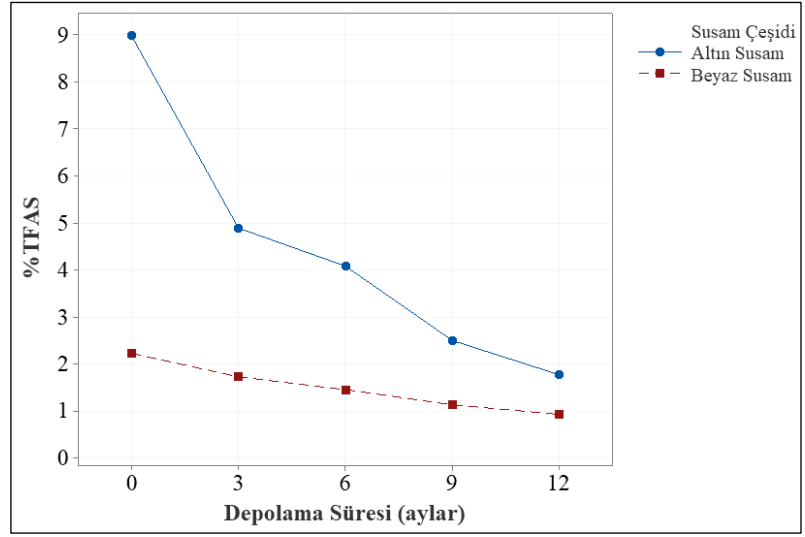


Şekil 4.37 Beyaz Susam Yağlarının m-kumarik Asit Yüzde Değerleri

Susam yağı örneklerinin toplam fenolik asit (TFAS) değerleri için oluşturulan modelin anlamlı, susam çeşidi, depolama süresi ve bu faktörlerin etkileşimlerinin örneklerin TFAS içerikleri üzerinde önemli etkilere sahip oldukları belirlenmiştir ($p<0,05$) (Çizelge 4.9). İstatistiksel analiz sonuçları, altın susam yağlarının beyaz susam yağlarına kıyasla daha yüksek TFAS değerlerine sahip olduğunu belirtmektedir (Şekil 4.38). Depolama süresine ilişkin temel etki grafiği, örneklerin TFAS değerlerinin 12 ay süren depolama periyodu boyunca azaldığını istatistiki olarak göstermektedir (Şekil 4.39). Depolama süresi ve susam çeşidi arasındaki interaksiyon grafiği, altın susam yağlarının daha yüksek oranlarda fenolik asit içerdiğini ve depolama süresince fenolik asitler miktarındaki azalmanın daha belirgin olduğunu vurgulamaktadır (Şekil 4.38).



Şekil 4.38 Susam Yağlarının TFAS Değerleri Üzerine Faktörlerin Temel Etki Grafikleri



Şekil 4.39 Susam Yağlarının TFAS Değerleri Üzerine Faktörlerin Etkileşim Etki Grafiği

4.6.3 Susam Yağlarının Flavonoid İçerikleri

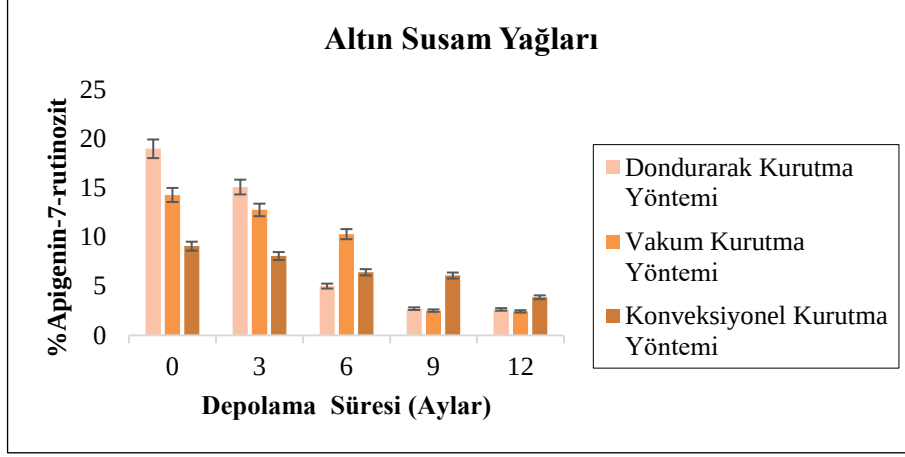
Apigenin-7-rutinozit susam yağı örneklerinde tespit edilen tek flavonoiddir. Apigenin-7-rutinozit, altın susam yağlarında %2,43-18,96, beyaz susam yağlarında ise %2,08-23,08 değerlerinde hesaplanmıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8 Susam Yağlarının Apigenin-7-Rutinozit (A-7-R) Bağlı Yüzdeleri

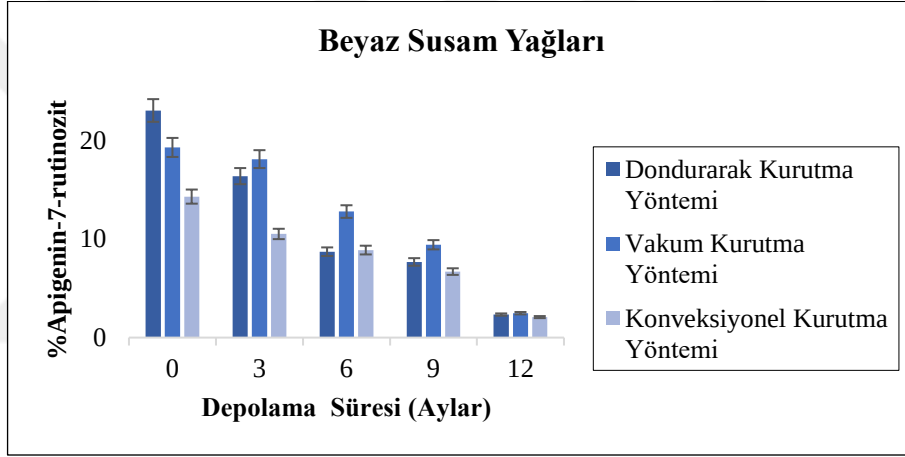
AST	KT	DS	A-7-R (%)	BST	KT	DS	A-7-R (%)
AL0	DK	0	18,96±0,08	BL0	DK	0	23,08±0,03
AL3	DK	3	15,07±0,07	BL3	DK	3	16,40±0,06
AL6	DK	6	5,01±0,05	BL6	DK	6	8,73±0,07
AL9	DK	9	2,71±0,02	BL9	DK	9	7,69±0,06
AL12	DK	12	2,63±0,03	BL12	DK	12	2,34±0,02
AV0	VK	0	14,27±0,07	BV0	VK	0	19,32±0,09
AV3	VK	3	12,74±0,06	BV3	VK	3	18,14±0,08
AV6	VK	6	10,28±0,05	BV6	VK	6	12,81±0,06
AV9	VK	9	2,51±0,01	BV9	VK	9	9,43±0,03
AV12	VK	12	2,43±0,03	BV12	VK	12	2,48±0,02
AK0	KK	0	9,06±0,06	BK0	KK	0	14,33±0,04
AK3	KK	3	8,06±0,05	BK3	KK	3	10,53±0,05
AK6	KK	6	6,41±0,04	BK6	KK	6	8,89±0,06
AK9	KK	9	6,08±0,03	BK9	KK	9	6,71±0,03
AK12	KK	12	3,87±0,02	BK12	KK	12	2,08±0,01

*AST= Altın Susam Tohumu; BST=Beyaz Susam Tohumu; KT=Kurutma Tipi; DK=Dondurarak Kurutma; VAK=Vakum Altında Kurutma; KK=Konveksiyonel Kurutma;DS=Depolama Süresi

Liyofilizasyon işlemi uygulanmış susam tohumlarından elde edilen susam yağları daha yüksek yüzdelerde apigenin-7-rutinozit içermektedir. Liyofilizasyon işlemi, susam tohumlarının flavonoid içeriği üzerinde olumlu etkiler yaratırken, vakum altında ve konveksiyonel kurutma yöntemleri apigenin-7-rutinozitin miktarında düşüslere sebebiyet vermiştir. Altın ve beyaz susam yağlarının apigenin-7-rutinozitin yüzdeleri depolama süresince azalmalar göstermektedir (Şekil 4.40 ve Şekil 4.41). Apigenin ve türevlerinin susam tohumlarında ve yağlarında bulunduğu farklı çalışmalarda bildirilmiştir (Mekky vd. 2021; Lim 2012; Wu vd., 2016).



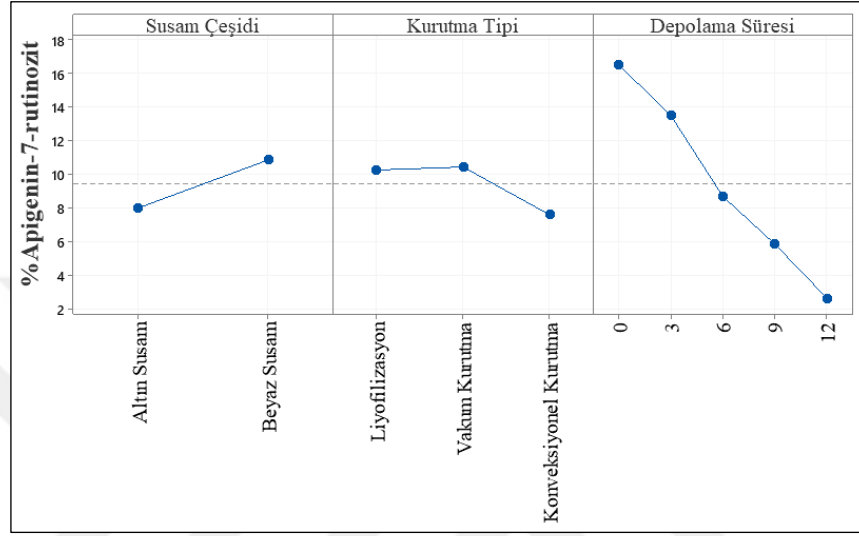
Şekil 4.40 Altın Susam Yağlarının Apigenin-7-Rutinozid Yüzde Değerleri



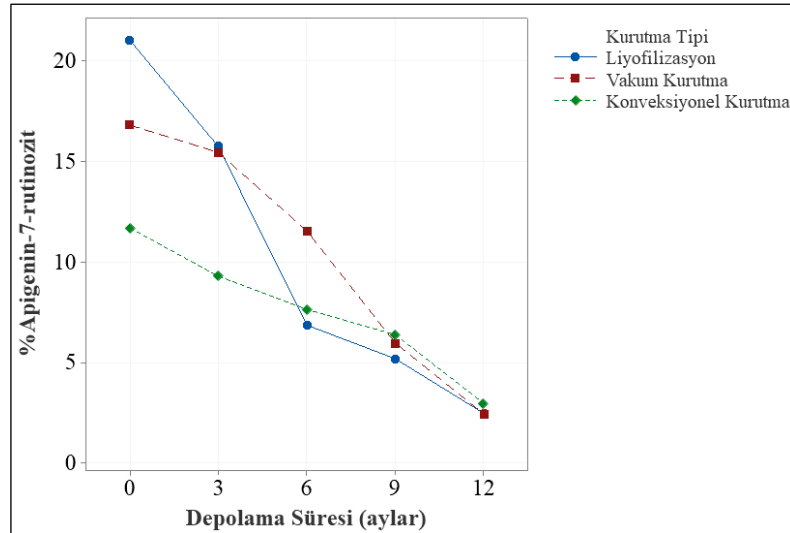
Şekil 4.41 Altın Susam Yağlarının Apigenin-7-Rutinozid Yüzde Değerleri

Yapılan varyans analizi susam yağı örneklerinin apigenin-7-rutinozid değerleri için oluşturulan modelin anlamlı olduğunu belirtmektedir (Çizelge 4.9). Tüm faktörlerin, susam çeşidi-depolama süresi ve kurutma tipi-depolama süresi etkileşimlerinin susam yağlarının apigenin-7-rutinozid içerikleri üzerinde kayda değer etkilere sahip oldukları görülmektedir ($p < 0,05$). İstatistiksel analiz sonuçları, susam yağlarının apigenin-7-rutinozid miktarlarının depolama süresince azaldığını göstermektedir (Şekil 4.42). Beyaz susam yağlarının daha yüksek apigenin-7-rutinozid içerdikleri istatistiksel olarak da belirlenmiştir. Konveksiyonel kurutma işleminin, susam yağlarının apigenin-7-rutinozid değerlerini azalttığı temel etki grafiğinde görülmektedir (Şekil 4.42). Kurutma tipi-depolama süresi faktörlerine ait etkileşim grafiği, depolamanın

başlangıcında liyofilize edilmiş susam tohumlarından elde edilen susam yağlarının en yüksek apigenin-7-rutinozit içeriklerine sahip olduklarını işaret etmektedir. Depolamanın sonuna gelindiğinde ise, kurutma yöntemlerinden bağımsız olarak susam yağlarının hemen hemen eşit miktarlarda apigenin-7-rutinozit içerdikleri istatistiksel olarak saptanmıştır (Şekil 4.43).



Şekil 4.42 Susam Yağlarının Apigenin-7-Rutinozit Değerleri Üzerine Faktörlerin Temel Etki Grafikleri



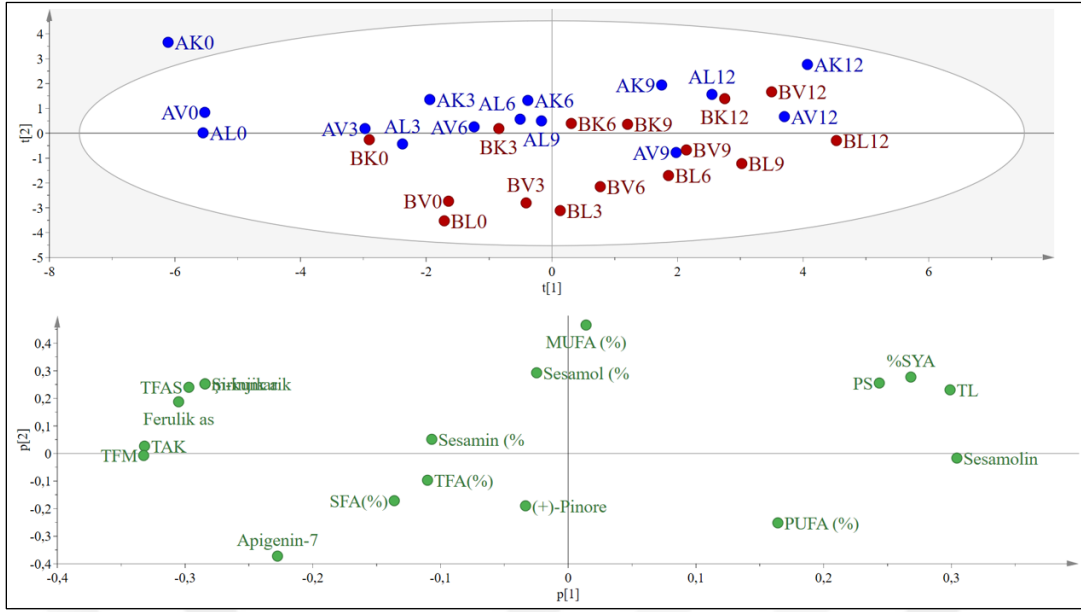
Şekil 4.43 Susam Yağlarının Apigenin-7-Rutinozit Değerleri Üzerine Faktörlerin Etkileşim Grafikleri

Çizelge 4.9 Susam Yağı Örneklerinin Kimyasal ve Metabolomik Bileşenleri İçin Oluşturulan ANOVA Çizelgesi

	TFM (mg gallik asit/100g)	TAK (μ mol Troloks /g)	%SYA	PS (meq O2/kg yağ)	%TFA	%MUFA	%PUFA	%SFA	%TL	%TFAS	%A-7-R
Modelin p değeri	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,60	0,03	0,53	0,00	0,00	0,00
R²	0,99	0,99	0,99	0,97	0,78	0,71	0,91	0,73	0,99	0,97	0,78
R_{adj}²	0,99	0,99	0,99	0,88	0,22	0,00	0,66	0,71	0,97	0,89	0,22
Q²	0,95	0,97	0,95	0,55	0,00	0,00	0,00	0,10	0,89	0,61	0,00
Faktörlerin p değerleri											
Susam Çeşidi (SÇ)	0,00	0,00	0,01	0,00	0,93	0,19	0,02	0,35	0,84	0,00	0,00
Kurutma Tipi (KT)	0,00	0,00	0,52	0,52	0,95	0,09	0,12	0,30	0,00	0,42	0,00
Depolama süresi (DS)	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,53	0,49	0,41	0,00	0,00	0,00
Etkileşimlerin p değerleri											
SÇ*KT	0,11	0,20	0,57	0,30	0,48	0,37	0,00	0,06	0,37	0,41	0,17
SÇ*DS	0,00	0,00	0,57	0,00	0,57	0,63	0,30	0,66	0,06	0,00	0,02
KT*DS	0,35	0,00	0,41	0,00	0,48	0,95	0,63	0,97	0,00	0,29	0,00

4.7 Susam Yağı Örneklerinin Temel Bileşenler Analizi

Susam yağı üretiminde seçilen susam tohumu çeşidinin ve uygulanan kurutma işleminin etkilerinin, depolama süresince oluşan değişimlerin daha iyi analiz edilebilmesi için verilere temel bileşenler analizi (TBA) uygulanmıştır. Metabolomik ve kimyasal analizler sonucunda elde edilen tüm veriler kullanılarak oluşturulan TBA modelinin bileşen sayısı 8 ve $R^2=0,98$, $Q^2=0,66$ olarak bulunmuştur. TBA modeli örnekler arasında susam tohumu tipine göre bir ayrım olduğunu göstermektedir (Şekil 4.44). Altın susam yağları elipsin üst tarafında yer alırken, beyaz susam yağları elipsin alt kısımlarında toplanmıştır. Depolama süresine bağlı olarak da bir miktar gruplanma mevcuttur. Kurutma tipi ve susam tohumu çeşidinden bağımsız olarak, 12 ay süreyle depolanan susam yağı örnekleri elipsin sağ üst bölgesinde bulunmaktadır. 3-6-9 ay süreyle depolanmış beyaz ve altın susam yağı örnekleri elipsin merkezinde kümelenmiştir. Depolamanın başlangıcında (0. Ay) tüm susam yağı örneklerinin grafiğin sol alt ve üst kısımlarında yer aldıkları tespit edilmiştir. Altın susam yağları daha yüksek TFM, TAK, MUFA, sesamol, m-kumarik asit değerlerine bağlı olarak beyaz susam yağlarından ayrılmıştır. Beyaz susam yağları ise, sesamin, pinoresinol ve PUFA yüzdelerindeki farklılıklar nedeniyle çoğunlukla elipsin alt taraflarına yerleşmektedirler (Şekil 4.44).



Şekil 4.44 TBA Modelinin Dağılım Grafiği ve Ağırlık Düzlemi (Altın Susam Yağları: Kırmızı Renkle, Beyaz Susam Yağları: Mavi Renkle Gösterilmektedir)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Altın ve beyaz susam tohumları dondurarak, vakum ve konveksiyonel kurutma yöntemleriyle kurutulmuş, bu tohumlardan soğuk sıkım susam yağları elde edilerek 12 ay boyunca +4 °C’de depolama işlemi tamamlanmıştır. Depolama periyodu boyunca belirli aralıklarla (0-3-6-9-12 ay) örneklerin toplam fenolik madde içerikleri, antioksidan kapasite değerleri, serbest yağ asitliği miktarları, peroksit sayısı değerleri, yağ asidi profilleri ve metabolomik bileşenleri izlenmiştir. Susam tohumu çeşidinin, kurutma tipinin ve depolama süresinin örneklerin kimyasal ve metabolomik özelliklerini etkileyen önemli faktörler oldukları yapılan varyans analizi ile ortaya çıkarılmıştır. Temel bileşenler analizi ise susam yağlarının çoğunlukla susam çeşidine göre, bir miktar da depolama süresine bağlı olarak kümelenediklerini işaret etmektedir. Depolama süresince susam çeşidinden bağımsız olarak örneklerin TFM ve TAK değerlerinde azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Konveksiyonel kurutma işlemi uygulanmış altın susam yağlarının daha yüksek TFM ve TAK içeriklerine sahip oldukları saptanmıştır. Örneklerin PUFA değerleri incelediğinde ise, liyofilizasyon işlemi uygulanmış beyaz susam tohumlarından üretilen beyaz susam yağlarının ve konveksiyonel kurutma yöntemi ile kurutulan altın susam tohumlarından elde edilen altın susam yağlarının nispeten daha yüksek oranlarda PUFA içerdikleri gözlemlenmiştir. Altın susam yağlarının SYA değerleri, beyaz susam yağlarının SYA değerlerinden daha yüksektir. Susam yağlarının PS değerleri, depolamanın 9. ayından itibaren limit değerin üzerine çıkmıştır. Metabolomik bileşenler grubunda lignanlar (sesamol, sesamin, sesamolin ve (+)-pinoresinol) ve fenolik asitler (m-kumarik asit, ferulik asit, şirinjik asit) belirlenmiştir. Susam yağlarında bulunan flavanoidler arasında tek tespit edilebilen bileşik apigenin-7-rutinozittir. Altın susam yağlarının toplam fenolik asitler miktarının, beyaz susam yağlarının içerdiği fenolik asitler yüzde değerlerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Beyaz susam yağlarının apigenin-7-rutinozit miktarları daha yüksektir. Beyaz ve altın susam yağlarında en yüksek bağlı yüzde değerlerine sahip lignan sesamolindir. Konveksiyonel kurutma yöntemi uygulanmış altın ve beyaz susam yağlarının sesamol yüzdeleri artış göstermiştir. Altın ve beyaz susam yağlarının pinoresinol yüzdeleri depolama süresince değişim göstermemiştir. Susam yağlarında bulunan toplam lignanların depolama süresince

artışlar gösterdiği yapılan varyans analizi sonucunda belirlenmiştir. Altın susam tohumlarına konveksiyonel ya da vakum altında kurutma işlemi uygulanması fenolik bileşenler ve antioksidan kapasite değerleri açısından altın susam yağlarının kalitesini iyileştirmektedir. Öte yandan, liyofilize edilmiş ve vakum altında kurutulmuş susam tohumlarından elde edilen susam yağlarının çoklu doymamış yağ asitleri ve oksidatif stabilite değerleri açısından daha iyi özelliklere sahip oldukları görülmektedir. Bu nedenle, altın susam tohumları için konveksiyonel ya da vakum altında kurutma işlemlerinin, beyaz susam tohumları için ise dondurarak veya vakum altında kurutma işlemlerinin uygulanmasının susam yağlarının kalite özellikleri açısından uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Elde edilen bulgular, her iki susam çeşidinden elde edilen yağların +4°C’ de en fazla 9 ay depolanmasının mümkün olduğunu işaret etmektedir. Farklı metabolomik bileşenlerin araştırılması özellikle ülkemize özgü yağlık bir tohum olan altın susam tohumunun ve bu tohumdan elde edilen altın susam yağının daha detaylı karakterize edilmesini sağlayacaktır. Seçilen kurutma yöntemlerindeki sıcaklık değerlerinin değiştirilmesi, depolama sürecinin farklı sıcaklıklarda tekrarlanması çalışmanın sonuçlarını daha fazla destekleyecektir.

KAYNAKLAR

- Aernouts, B., Polshin, E., Saeys, W., & Lammertyn, J.** (2011). Mid-infrared spectrometry of milk for dairy metabolomics: a comparison of two sampling techniques and effect of homogenization. *Analytica chimica acta*, 705(1-2), 88-97.
- Agidew, M. G., Dubale, A. A., Atlabachew, M., & Abebe, W.** (2021). Fatty acid composition, total phenolic contents and antioxidant activity of white and black sesame seed varieties from different localities of Ethiopia. *Chemical and biological technologies in agriculture*, 8, 1-10.
- Ahmed, I. A.M., Musa Özcan, M., Uslu, N., Juhaimi, F. A., Osman, M. A., Alqah, H. A., & Babiker, E. E.** (2020a). Effect of microwave roasting on color, total phenol, antioxidant activity, fatty acid composition, tocopherol, and chemical composition of sesame seed and oils obtained from different countries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10), e14807.
- Ahmed, I. A. M., AlJuhaimi, F., Özcan, M. M., Ghafoor, K., Şimşek, Ş., Babiker, E. E., Magdi A.O., Gasseem, M. A., & Salih, H. A.** (2020b). Evaluation of chemical properties, amino acid contents and fatty acid compositions of sesame seed provided from different locations. *Journal of Oleo Science*, 69(8), 795-800.
- Ahmed, I. A. M., Uslu, N., Özcan, M. M., Juhaimi, F. A., Ghafoor, K., Babiker, E. E., & Alqah, H. A.** (2021). Effect of conventional oven roasting treatment on the physicochemical quality attributes of sesame seeds obtained from different locations. *Food chemistry*, 338, 128109.
- Ahmed, S., de la Parra, J., Elouafi, I., German, B., Jarvis, A., Lal, V., Lartey, A., Longvah, T., Malpica, C., Vázquez-Manjarrez, N., Prenni, J., Aguilar-Salinas, C., & Watkins, S.** (2022). Foodomics: a data-driven approach to revolutionize nutrition and sustainable diets. *Frontiers in Nutrition*, 9, 874312.
- Akdeniz, F., & Sert, H.** (2019). A research on disease-causing microfungi on Golden sesame plant growing in Manavgat District. *Mantar Dergisi*, 10(3), 93-99.
- Akele, M. L., Nega, Y., Belay, N., Kassaw, S., Derso, S., Adugna, E., Desalew, A., Arega, T., Tegenu, H. & Mehari, B.** (2024). Effect of roasting on the total polyphenol content and antioxidant activity of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds grown in Ethiopia. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101163.

- Akyıldız, A., Polat, S., & Ağçam, E.** (2017). Konveksiyonel ve Dondurarak Kurutma Yöntemlerinin Karpuzun Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi. *Gıda*, 42(2), 169-176.
- Alibaş, İ.** (2011). Kırmızı şili biberinin vakumla kurutma karakteristikleri. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 7(4), 429-435.
- AOCS** (1993). Method Ca 5a-40. Determination of Free Fatty Acid Content, In Official Methods and Recommended Practices of the AOCS (3rd ed.) Champaign: The American Oil Chemists' Society.
- AOCS.** (2009). AOCS Official Method Cd 8b-90, Peroxide Value Acetic Acid-Isooctane Method. In Official Methods and Recommended Practices of the AOCS (3rd ed.) Champaign: The American Oil Chemists' Society.
- Arab, R., Casal, S., Pinho, T., Cruz, R., Freidja, M. L., Lorenzo, J. M., Hano, C., Madani, K., & Boulekbache-Makhlouf, L.** (2022). Effects of seed roasting temperature on sesame oil fatty acid composition, lignan, sterol and tocopherol contents, oxidative stability and antioxidant potential for food applications. *Molecules*, 27(14), 4508.
- Bakal, H.** (2022). Comparison of oil content and fatty acids composition of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties grown as main and double crop in mediterranean environment in Turkey. *Turkish Journal Of Field Crops*, 27(1), 119-126.
- Balkir, P., Kemahlioglu, K., & Yucel, U.** (2021). Foodomics: A new approach in food quality and safety. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 49-57.
- Bartel, J., Krumsiek, J., & Theis, F. J.** (2013). Statistical methods for the analysis of high-throughput metabolomics data. *Computational and structural biotechnology journal*, 4(5), e201301009.
- Başoğlu, F.** (2014). *Yemeklik yağ teknolojisi*. Dora Yayınları, 4.Baskı,Bursa,345 s.
- Beauclercq, S., Nadal-Desbarats, L., Hennequet-Antier, C., Collin, A., Tesseraud, S., Bourin, M., Bihan-Duval, E.L., & Berri, C.** (2016). Serum and muscle metabolomics for the prediction of ultimate pH, a key factor for chicken-meat quality. *Journal of proteome research*, 15(4), 1168-1178.
- Brigante, F. I., Podio, N. S., Wunderlin, D. A., & Baroni, M. V.** (2022). Comparative metabolite fingerprinting of chia, flax and sesame seeds using LC-MS untargeted metabolomics. *Food Chemistry*, 371, 131355.

- Chau, C. F., Ciou, J. Y., & Wu, C. L.** (2021). Commercialized sesame oil analysis: quality characterization and oxidative stability of blended sesame oil. *ACS Food Science & Technology*, 1(7), 1222-1227.
- Cifuentes, A.** (2012). Food analysis: present, future, and foodomics. *International Scholarly Research Notices*, 2012(1), 801607.
- Cubero-Leon, E., Peñalver, R., & Maquet, A.** (2014). Review on metabolomics for food authentication. *Food Research International*, 60, 95-107.
- Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X. H., Wang, J., Zheng, Z. A., Gao, Z.J., & Xiao, H. W.** (2019). Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes—a comprehensive review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(9), 1408-1432.
- Dossou, S. S. K., Xu, F., Cui, X., Sheng, C., Zhou, R., You, J., Tozo, K., & Wang, L.** (2021). Comparative metabolomics analysis of different sesame (*Sesamum indicum* L.) tissues reveals a tissue-specific accumulation of metabolites. *BMC Plant Biology*, 21, 1-14.
- Dravie, E. E., Kortei, N. K., Essuman, E. K., Tettey, C. O., Boakye, A. A., & Hunkpe, G.** (2020). Antioxidant, phytochemical and physicochemical properties of sesame seed (*Sesamum indicum* L.). *Scientific African*, 8, e00349.
- Elkhaleefa, A., & Shigidi, I.** (2015). Optimization of sesame oil extraction process conditions. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 5(03), 305.
- Emwas, A. H., Roy, R., McKay, R. T., Tenori, L., Saccenti, E., Gowda, G. N., Raftery, D., Alahmari, F., Jaremko, L., & Wishart, D. S.** (2019). NMR spectroscopy for metabolomics research. *Metabolites*, 9(7), 123.
- Elsafy, M., Ekholm, A., Elkhatim, K. A. S., Hamid, M. G., Othman, M. H., Abdelhalim, T. S., Rahmatov, M., Johansson, E., & Hassan, A. B.** (2024). Tracking the storage stability in sesame (*Sesamum indicum* L.): impact of accelerated storage on storability characteristics, seed quality, phytochemical content, and fatty acids. *Discover Agriculture*, 2(1), 55.
- Gebremeskel, A. F., Ngoda, P. N., Kamau-Mbuthia, E. W., & Mahungu, S. M.** (2022). The effect of roasting, storage temperature, and ethanoic basil (*Ocimum basilicum* L.) extract on the oxidative stability of crude sesame (*Sesamum indicum* L.) oil. *Food Science & Nutrition*, 10(8), 2736-2748.

- Gümüşkesen, A. S., & Yemişcioğlu, F. (2010).** *Bitkisel Sıvı ve Yağ Üretim Teknolojisi*. Meta Basım, İzmir, Türkiye, 215.
- Günaydın, S., Sağlam, C., & Çetin, N. (2022).** Tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılan kurutma yöntemleri. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 5(1), 30-45.
- Goksen, S., Kaltalıoğlu, K., & Coskun-Cevher, S. (2022).** Investigation Of Effect Of Roasted Sesame Seed Extract On Oxidative Events In Experimental Animal Wound Model. *Current Research In Science And Mathematics*, 4.
- Gowda, G. N., & Djukovic, D. (2014).** Overview of mass spectrometry-based metabolomics: opportunities and challenges. *Mass Spectrometry in Metabolomics: Methods and Protocols*, 3-12.
- Greenacre, M., Groenen, P. J., Hastie, T., d'Enza, A. I., Markos, A., & Tuzhilina, E. (2022).** Principal component analysis. *Nature Reviews Methods Primers*, 2(1), 100.
- Heidari, M., Talebpour, Z., Abdollahpour, Z., Adib, N., Ghanavi, Z., & Aboul-Enein, H. Y. (2020).** Discrimination between vegetable oil and animal fat by a metabolomics approach using gas chromatography–mass spectrometry combined with chemometrics. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 3415-3425.
- Huang, L., Li, J., Bi, Y., Xu, Y., Wang, Y., Wang, J., & Peng, D. (2021).** Simultaneous determination of α -tocopherol, β -tocopherol, γ -tocopherol, δ -tocopherol, sesamin, sesamol, and asarinin in sesame oil by normal-phase high performance liquid chromatography. *Journal of Food Composition and Analysis*, 104, 104132.
- Huang, Y., Liu, C., Ge, Z., Huang, F., Tang, H., Zhou, Q., & Zheng, C. (2023).** Influence of different thermal treatment methods on the processing qualities of sesame seeds and cold-pressed oil. *Food Chemistry*, 404, 134683.
- Indiarto, R., Asyifaa, A. H., Adiningsih, F. C. A., Aulia, G. A., & Achmad, S. R. (2021).** Conventional and advanced food-drying technology: A current review. *Int. J. Sci. Technol. Res*, 10(1), 99-107.
- Islam, F., Gill, R. A., Ali, B., Farooq, M. A., Xu, L., Najeeb, U., & Zhou, W. (2016).** Sesame. In *Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production* (pp. 135-147). Academic Press.

- Jadhav, S. R., Shah, R. M., Karpe, A. V., Morrison, P. D., Kouremenos, K., Beale, D. J., & Palombo, E. A.** (2018). Detection of foodborne pathogens using proteomics and metabolomics-based approaches. *fmicb*, 9, 3132.
- Jangam, S. V.** (2011). An overview of recent developments and some R&D challenges related to drying of foods. *Drying Technology*, 29(12), 1343-1357.
- Ji, J., Liu, Y., Shi, L., Wang, N., & Wang, X.** (2019). Effect of roasting treatment on the chemical composition of sesame oil. *Lwt*, 101, 191-200.
- Johnson, C. H., & Gonzalez, F. J.** (2012). Challenges and opportunities of metabolomics. *Journal of cellular physiology*, 227(8), 2975-2981.
- Jolayemi, O. S., Tokatli, F., & Ozen, B.** (2016). Effects of malaxation temperature and harvest time on the chemical characteristics of olive oils. *Food Chemistry*, 211, 776-783.
- Jolayemi, O. S., Tokatli, F., & Ozen, B.** (2021). UV–Vis spectroscopy for the estimation of variety and chemical parameters of olive oils. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(5), 4138-4149.
- Kaplan, O., & Çelebier, M.** (2020). Metabolomik Çalışmaların Dünü, Bugünü ve Yarını. *Türkiye Klinikleri. Tıp Bilimleri Dergisi*, 40(3), 366-374.
- Kasper, J. C., Winter, G., & Friess, W.** (2013). Recent advances and further challenges in lyophilization. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 85(2), 162-169.
- Kawasaki, H., Shimanouchi, T., & Kimura, Y.** (2019). Recent development of optimization of lyophilization process. *Journal of chemistry*, 2019(1), 9502856.
- Konsoula, Z., & Liakopoulou-Kyriakides, M.** (2010). Effect of endogenous antioxidants of sesame seeds and sesame oil to the thermal stability of edible vegetable oils. *LWT-Food Science and Technology*, 43(9), 1379-1386.
- Kurt, C.** (2018). Variation in oil content and fatty acid composition of sesame accessions from different origins. *Grasas y aceites*, 69(1), e241-e241.
- Langyan, S., Yadava, P., Sharma, S., Gupta, N. C., Bansal, R., Yadav, R., & Kumar, A.** (2022). Food and nutraceutical functions of Sesame oil: An underutilized crop for nutritional and health benefits. *Food Chemistry*, 132990.
- Lee, S. W., Jeung, M. K., Park, M. H., Lee, S. Y., & Lee, J.** (2010). Effects of roasting conditions of sesame seeds on the oxidative stability of pressed oil during thermal oxidation. *Food chemistry*, 118(3), 681-685.

- Lee, E., & Choe, E.** (2012). Changes in oxidation-derived off-flavor compounds of roasted sesame oil during accelerated storage in the dark. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 1(1), 89-93.
- Liland, K. H.** (2011). Multivariate methods in metabolomics—from pre-processing to dimension reduction and statistical analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 30(6), 827-841.
- Lim, T. K.** (2012). *Sesamum indicum*. *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants: Volume 4, Fruits*, 187-219.
- Liu, X., Ser, Z., & Locasale, J. W.** (2014). Development and quantitative evaluation of a high-resolution metabolomics technology. *Analytical chemistry*, 86(4), 2175-2184.
- Liu, Z., Rochfort, S., & Cocks, B.** (2018). Milk lipidomics: What we know and what we don't. *Progress in lipid research*, 71, 70-85.
- Martens, J., Berden, G., Van Outersterp, R. E., Kluijtmans, L. A., Engelke, U. F., Van Karnebeek, C. D., Wevers, R. A., & Oomens, J.** (2017). Molecular identification in metabolomics using infrared ion spectroscopy. *Scientific reports*, 7(1), 3363.
- Mekky, R. H., Hegazy, M. M., Cádiz-Gurrea, M. D. L. L., Fernández-Ochoa, A., & Segura Carretero, A.** (2021). Bioactive Phytochemicals from Sesame Oil Processing By-products. In *Bioactive Phytochemicals from Vegetable Oil and Oilseed Processing By-products* (pp. 1-40). Cham: Springer International Publishing.
- Mishra, S. P., Sarkar, U., Taraphder, S., Datta, S., Swain, D., Saikhom, R., & Laishram, M.** (2017). Multivariate statistical data analysis-principal component analysis (TBA). *International Journal of Livestock Research*, 7(5), 60-78.
- Mohamed Ahmed, I. A., Musa Özcan, M., Uslu, N., Juhaimi, F. A., Osman, M. A., Alqah, H. A., & Babiker, E. E.** (2020). Effect of microwave roasting on color, total phenol, antioxidant activity, fatty acid composition, tocopherol, and chemical composition of sesame seed and oils obtained from different countries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10), e14807.
- Moses, J. A., Norton, T., Alagusundaram, K., & Tiwari, B. K.** (2014). Novel drying techniques for the food industry. *Food Engineering Reviews*, 6, 43-55.

- Murata, J., Ono, E., Yoroizuka, S., Toyonaga, H., Shiraishi, A., Mori, S., & Horikawa, M.** (2017). Oxidative rearrangement of (+)-sesamin by CYP92B14 co-generates twin dietary lignans in sesame. *Nature Communications*, 8(1), 1-10.
- Nas, S., Gökalp, H. H., & Ünsal, M.** (2001). *Bitkisel yağ teknolojisi*. Pamukkale Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi Matbaası, 259-280.
- Neme, K., Tola, Y. B., Mohammed, A., Tadesse, E., Shaheen, F., Ahmed, S., & Müller, F.** (2023). Effect of seed processing treatments on oil quality of Ethiopian sesame varieties. *CyTA-Journal of Food*, 21(1), 31-40.
- Nowak, D., & Jakubczyk, E.** (2020). The freeze-drying of foods—The characteristic of the process course and the effect of its parameters on the physical properties of food materials. *Foods*, 9(10), 1488.
- Oboulbiga, E. B., Douamba, Z., Compaoré-Séréme, D., Semporé, J. N., Dabo, R., Semde, Z., & Dicko, M. H.** (2023). Physicochemical, potential nutritional, antioxidant and health properties of sesame seed oil: a review. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1127926.
- Okcu, B. N., & Aktas, A. B.** (2024). Characterization of structured lipids produced through interesterification of blends comprising beef tallow, milk, and vegetable oil using infrared spectroscopy. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 101(3), 309-320.
- Onur, N.** (2017). Türk mutfak kültüründe özel bir tat: Manavgat'ın altın susamı. *Uluslararası Kırsal Turizm ve Kalkınma Dergisi (IRTAD)* E-ISSN: 2602-4462, 1(1), 19-25.
- Ortea, I.** (2022). Foodomics in health: Advanced techniques for studying the bioactive role of foods. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 150, 116589.
- Özpolat, M., Akkaya, M. R., & Bakaçhan, Y.** (2021). Altın (Gökova) susamın (*Sesamum indicum* L.) bazı tohum ve yağ özellikleri. *Akademik Gıda*, 19(3), 300-308.
- Pansare, S. K., & Patel, S. M.** (2019). Lyophilization process design and development: a single-step drying approach. *Journal of pharmaceutical sciences*, 108(4), 1423-1433.
- Parikh, D. M.** (2015). Vacuum drying: basics and application. *Chemical Engineering*, 122(4), 48-54.

- Putri, S. P., Nakayama, Y., Matsuda, F., Uchikata, T., Kobayashi, S., Matsubara, A., & Fukusaki, E.** (2013). Current metabolomics: practical applications. *Journal of bioscience and bioengineering*, 115(6), 579-589.
- Ramroudi, F., Yasini Ardakani, S. A., Dehghani-Tafti, A., & Khalili Sadrabad, E.** (2022). Investigation of the physicochemical properties of vegetable oils blended with sesame oil and their oxidative stability during frying. *International Journal of Food Science*, 2022(1), 3165512.
- Ren, S., Hinzman, A. A., Kang, E. L., Szczesniak, R. D., & Lu, L. J.** (2015). Computational and statistical analysis of metabolomics data. *Metabolomics*, 11, 1492-1513.
- Richter Reis, F.** (2014). Studies on conventional vacuum drying of foods. *Vacuum drying for extending food shelf-life*, 7-18.
- Roberts, L. D., Souza, A. L., Gerszten, R. E., & Clish, C. B.** (2012). Targeted metabolomics. *Current protocols in molecular biology*, 98(1), 30-2.
- Sarafraz Ardakani, M., Akrami Mohajeri, F., Askari, E., Javdan, G., Pourramezani, F., Fallahzadeh, H., & Khalili Sadrabad, E.** (2023). Efficacy of different sesame oil refining stages in reduction of heavy metals, antioxidant activity, and oxidative parameters. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023(1), 1197398.
- Sallam, K. I., Abd-Elghany, S. M., Imre, K., Morar, A., Herman, V., Hussein, M. A., & Mahros, M. A.** (2021). Ensuring safety and improving keeping quality of meatballs by addition of sesame oil and sesamol as natural antimicrobial and antioxidant agents. *Food Microbiology*, 99, 103834.
- Satkin, B., & Aktas, A. B.** (2024). The optimisation of processing and storage conditions of lyophilised purslane-fortified yoghurts by central composite design. *International Journal of Dairy Technology*, 77(2), 282-291.
- Schrimpe-Rutledge, A. C., Codreanu, S. G., Sherrod, S. D., & McLean, J. A.** (2016). Untargeted metabolomics strategies—challenges and emerging directions. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 27(12), 1897-1905.
- Seçer, A.** (2016). Türkiye’de susam üretim ve dış ticaretinde gelişmeler. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 31(1), 27-36.
- Sévin, D. C., Kuehne, A., Zamboni, N.,**

& Sauer, U. (2015). Biological insights through nontargeted metabolomics. *Current opinion in biotechnology*, 34, 1-8.

Sévin, D. C., Kuehne, A., Zamboni, N., & Sauer, U. (2015). Biological insights through nontargeted metabolomics. *Current opinion in biotechnology*, 34, 1-8.

Shyu, Y. S., & Hwang, L. S. (2002). Antioxidative activity of the crude extract of lignan glycosides from unroasted Burma black sesame meal. *Food Research International*, 35(4), 357-365.

Steffan, B., Wätjen, W., Michels, G., Niering, P., Wray, V., Ebel, R., & Proksch, P. (2005). Polyphenols from plants used in traditional Indonesian medicine (Jamu): uptake and antioxidative effects in rat H4IIE hepatoma cells. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 57(2), 233-240.

Suja, K. P., Jayalekshmy, A., & Arumughan, C. (2005). In vitro studies on antioxidant activity of lignans isolated from sesame cake extract. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(10), 1779-1783.

Sumara, A., Stachniuk, A., Olech, M., Nowak, R., Montowska, M., & Fornal, E. (2023). Identification of sunflower, rapeseed, flaxseed and sesame seed oil metabolomic markers as a potential tool for oil authentication and detecting adulterations. *Plos one*, 18(4), e0284599.

Sundar, S., Singh, B., Kaur, A., & Yadav, M. P. (2022). Impact of infrared and dry-air roasting on antioxidant potential, oxidative stability, chemical characteristics, and fatty acid profile of black and white sesame (*Sesamum indicum* L.) oil. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12), e17252.

Tan, A. Ş. (2011). Bazı susam çeşitlerinin menemen koşullarında performansları. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 11-28.

Taskin, O., Polat, A., Izli, N., & Asik, B. B. (2019). Intermittent microwave-vacuum drying effects on pears. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 69(1), 101-108.

Tera, M., Koyama, T., Murata, J., Furukawa, A., Mori, S., Azuma, T., & Horikawa, M. (2019). Identification of a binding protein for sesamin and characterization of its roles in plant growth. *Scientific reports*, 9(1), 8631.

TGK. (2012). Türk Gıda Kodeksi Zeytinyağı ve Bitki Adı ile Anılan Yağlar Tebliği, Tebliğ no. 2012/29, Resmi Gazete, S. 28262

- Toorani, M. R., Farhoosh, R., Golmakani, M. T., & Sharif, A.** (2021). Thermal antioxidative kinetics of sesamol in triacylglycerols and fatty acid methyl esters of sesame, olive, and canola oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 98(8), 871-880.
- Ümmetoğlu, M., Taşkın, T., & Tan, A. Ş.** (2015). Manisa il ve ilçelerinde yetiştirilen susam çeşitlerinin dağılımı ve mevcut durumunun araştırılması. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 37-58.
- Yemişçiöğlu, F., Özdikicierler, O., & Gümüskesen, A. S.** (2016). Bitkisel yağ rafinasyonunda yeni bir yaklaşım: minimal rafinasyon. *Akademik Gıda*, 14(2), 172-179.
- Valdés, A., Alvarez-Rivera, G., Socas-Rodríguez, B., Herrero, M., Ibanez, E., & Cifuentes, A.** (2021). Foodomics: Analytical opportunities and challenges. *Analytical Chemistry*, 94(1), 366-381.
- Wan, Y., Li, H., Fu, G., Chen, X., Chen, F., & Xie, M.** (2015). The relationship of antioxidant components and antioxidant activity of sesame seed oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(13), 2571-2578.
- Wan, Y., Zhou, Q., Zhao, M., & Hou, T.** (2023). Byproducts of sesame oil extraction: composition, function, and comprehensive utilization. *Foods*, 12(12), 2383.
- Wei, P., Zhao, F., Wang, Z., Wang, Q., Chai, X., Hou, G., & Meng, Q.** (2022). Sesame (*Sesamum indicum* L.): A comprehensive review of nutritional value, phytochemical composition, health benefits, development of food, and industrial applications. *Nutrients*, 14(19), 4079.
- Wu, R., Ma, F., Zhang, L., Li, P., Li, G., Zhang, Q., & Wang, X.** (2016). Simultaneous determination of phenolic compounds in sesame oil using LC–MS/MS combined with magnetic carboxylated multi-walled carbon nanotubes. *Food chemistry*, 204, 334-342.
- Yang, Y., Wang, L., Wang, Y., An, Y., Zhou, Q., & Xiang, X.** (2024). Analysis of flavor and widely metabolomics differences in black sesame before and after processing. *Oil Crop Science*, 9(1), 38-45.
- Yin, W., Washington, M., Ma, X., Yang, X., Lu, A., Shi, R., Wang, X., & Zhao, R.** (2020). Consumer acceptability and sensory profiling of sesame oils obtained from different processes. *Grain & oil science and Technology*, 3(2), 39-48.

Yin, W. T., Ma, X. T., Li, S. J., Liu, H. M., & Shi, R. (2021). Comparison of key aroma-active compounds between roasted and cold-pressed sesame oils. *Food Research International*, 150, 110794.

Zeb, A., Muhammad, B., & Ullah, F. (2017). Characterization of sesame (*Sesamum indicum* L.) seed oil from Pakistan for phenolic composition, quality characteristics and potential beneficial properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(3), 1362-1369.

Zhang, F., Li, K., Yin, W. T., Liu, H. M., Zhu, X. L., & Hu, P. (2024). Characterisation of flavourous sesame oil obtained from microwaved sesame seed by subcritical propane extraction. *Food Chemistry: X*, 21, 101087.

Zhou, S., Zou, H., Huang, G., & Chen, G. (2021). Preparations and antioxidant activities of sesamol and its derivatives. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 31, 127716.