



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ŞANLIURFA SADEYAĞINDA BİBERİYE UÇUCU YAĞININ DOĞAL
ANTİOKSİDAN OLARAK KULLANIM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Esmâ TEKİN
GIDA MÜHENDİSLİĞİ**

**ŞANLIURFA
2026**



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ŞANLIURFA SADEYAĞINDA BİBERİYE UÇUCU YAĞININ DOĞAL
ANTİOKSİDAN OLARAK KULLANIM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Esmâ TEKİN
GIDA MÜHENDİSLİĞİ**

**DANIŞMAN: Prof. Dr. Şerafettin ÇELİK
2. DANIŞMAN: Arş. Gör. Naciye ÜNVER**

**ŞANLIURFA
2026**

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezinin tamamlanması sürecinde sahip olduğu bilgi ve deneyimlerini paylaşan değerli danışman hocam Prof. Dr. şerafettin ÇELİK'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tezin laboratuvar aşamalarında kıymetli görüş ve katkılarıyla destek olan 2./Eř Danışman hocam Dr. Naciye ÜNVER'e,

Tez çalışmasının gerçekleştirilmesi sürecinde bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan bölüm hocalarıma,

Laboratuvar çalışmalarında ve tez aşaması sürecinde her türlü desteği sağlayan arkadaşlarıml Gıda Yüksek Mühendisi Berfin ERĞÜN'e, Gıda Yüksek Mühendisi Esra DENİZ'e, Veteriner Hekim Mustafa YILDIZ'a ve Gıda Mühendisi Başak DEMİRTAş'a,

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde maddi ve teknik destek sağlayan Harran Üniversitesi-BAP birimine,

Hayatıml boyunca bana destek oldukları gibi eğitim hayatımda da her zaman yanımda olan, sevgi ve özverilerini her zaman hissettiğim canıml anneme ve değerli babama sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
KISALTMALAR	v
SİMGELER.....	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler	4
2.2. Biberiye (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.)	5
2.3. Antioksidanlar	10
2.4. Lipit Oksidasyonu	11
2.5. Bitkisel Yağlarda Yapılan Bazı Çalışmalar	12
2.6. Benzer Çalışmalar	15
3. GEREÇ ve YÖNTEM	28
3.1. Gereç	28
3.2. Yöntem	28
3.2.1. Biberiye uçucu yağında yapılan analizler.....	31
3.2.1.1. Biberiye uçucu yağından fenolik ekstrakt eldesi	31
3.2.1.2. Toplam fenolik madde miktarı tayini	32
3.2.1.3. Antioksidan kapasite tayini	32
3.2.2. Şanlıurfa sadeyağında yapılan analizler	33
3.2.2.1. İndüksiyon süresi ve raf ömrü hesaplaması.....	33
3.2.2.2. Serbest yağ asitliği değeri.....	34
3.2.2.3. Peroksit analizi	34
3.2.2.4. p-Anisidin analizi	35
3.2.2.5. Renk analizi.....	36
3.2.3. İstatistiksel analizler	36
4. BULGULAR	38
4.1. Biberiye uçucu yağının bazı özellikleri.....	38
4.1.1. Toplam fenolik madde	38
4.1.2. Antioksidan kapasite	38
4.1.2.1. DPPH radikal indirgeme kapasitesi.....	38
4.2. Şanlıurfa sadeyağının indüksiyon süresi ve raf ömrü	38
4.3. Şanlıurfa sadeyağında oksidasyon stabilitesi.....	40
4.3.1. Serbest yağ asitliği.....	41
4.3.2. Peroksit değeri	44
4.3.3. p-Anisidin	46
4.3.4. Renk değerleri	49
5. TARTIŞMA.....	59
5.1. Biberiye uçucu yağının bazı özellikleri.....	59
5.1.1. Toplam fenolik madde	59
5.1.2. Antioksidan kapasite	59
5.1.2.1. DPPH radikal indirgeme kapasitesi.....	59

5.2. Şanlıurfa sadeyağının indüksiyon süresi ve raf ömrü.....	60
5.3. Şanlıurfa sadeyağının oksidasyon stabilitesi	61
5.3.1. Serbest yağ asitliği.....	61
5.3.2. Peroksit değeri	62
5.3.3. p-Anisidin.....	63
5.3.4. Şanlıurfa sadeyağında renk.....	64
6. SONUÇLAR	65
7. ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR.....	69
ÖZ GEÇMİŞ	77

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞANLIURFA SADEYAĞINDA BİBERİYE UÇUCU YAĞININ DOĞAL ANTIOKSİDAN OLARAK KULLANIM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Esma TEKİN

HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şerafettin ÇELİK

2. Danışman: Arş. Gör. Naciye ÜNVER

Yıl: 2026, Sayfa: 77

Bu çalışmada, biberiye uçucu yağının (BY) Şanlıurfa sadeyağında doğal antioksidan olarak kullanım potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmanın birinci aşamasında, biberiye yapraklarından hidrodistilasyon yöntemiyle elde edilen biberiye uçucu yağı (75, 150 ve 300 mg/kg) ve α -tokoferol (75 mg/kg) sadeyağa ilave edilmiştir. Kontrol (herhangi bir antioksidan içermeyen sadeyağ örneği), BY ve α -tokoferol içeren sadeyağ örneklerinin indüksiyon süreleri 3 farklı sıcaklıkta (100, 110 ve 120 °C) sabit hava akışında (20 L/s) ransimat cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Örneklerin indüksiyon süreleri kullanılarak tahmini raf ömürleri hesaplanmış ve α -tokoferol (75 mg/kg) ilaveli sadeyağ örneğine eşdeğer ve en uzun raf ömrüne sahip BY oranının 75 mg/kg olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise kontrol, 75 mg/kg oranında BY içeren (BYS) ve 75 mg/kg oranında α -tokoferol içeren (α T-S) sadeyağ örnekleri, 25 °C'de 3 farklı ışık ortamında (UV-C, floresan ve karanlık ortamda) 20 gün süreyle depolanmış ve belirli aralıklarla örneklerin serbest yağ asitliği, peroksit, *p*-anisidin ve renk değerleri araştırılmıştır. Bu aşamada BY (75 mg/kg) ile α T (75 mg/kg) ilavesinin, karanlık, UV-C ve floresan ışıklı ortamlarda sadeyağa eşdeğer düzeyde antioksidan stabilite kazandırdığı ve renk stabilitesini koruduğu, ayrıca yağın raf ömrünü arttırdığı tespit edilmiştir. Çalışmada, Şanlıurfa sadeyağının oksidasyon stabilitesinin artırılması amacıyla biberiye uçucu yağının kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Sadeyağ, Oksidatif Stabilite, Biberiye Uçucu Yağı, Lipit Oksidasyonu, Raf Ömrü

ABSTRACT

MASTER’S THESIS

INVESTIGATION OF THE POTENTIAL USE OF ROSEMARY ESSENTIAL OIL AS A NATURAL ANTIOXIDANT IN ŞANLIURFA BUTTER OIL

Esma TEKİN

**HARRAN UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL
FOOD ENGINEERING**

Thesis Advisor: Prof. Şerafettin ÇELİK

2. Thesis Advisor: Res. Asst. Naciye ÜNVER

Year: 2026, Page: 77

In this study, the potential use of rosemary essential oil (BY) as a natural antioxidant in Şanlıurfa butter oil was investigated. In the first stage of the study, rosemary essential oil obtained from rosemary leaves by hydrodistillation was added to butter oil at concentrations of 75, 150, and 300 mg/kg, while α -tocopherol was added at a concentration of 75 mg/kg. The induction periods of the control (butter oil without any added antioxidant), BY-supplemented, and α -tocopherol-supplemented butter oil samples were determined at three different temperatures (100, 110, and 120 °C) using a Rancimat apparatus under a constant airflow rate of 20 L/s. The estimated shelf lives of the samples were calculated based on their induction periods, and 75 mg/kg REO was identified as the concentration providing the longest shelf life, comparable to that achieved with 75 mg/kg α -tocopherol. In the second stage of the study, the control, butter oil supplemented with 75 mg/kg BY (BYS), and butter oil supplemented with 75 mg/kg α -tocopherol (α T-S) were stored at 25 °C under three different light conditions (UV-C light, fluorescent light, and darkness) for 20 days. At predetermined intervals, the samples were analyzed for free fatty acidity, peroxide value, *p*-anisidine value, and color parameters. The results demonstrated that the addition of BY (75 mg/kg) and α -tocopherol (75 mg/kg) provided comparable antioxidant protection to Şanlıurfa butter oil under dark, UV-C, and fluorescent light conditions, while also maintaining color stability and extending the shelf life of the product. Overall, the findings indicate that rosemary essential oil can be effectively used as a natural antioxidant to enhance the oxidative stability of Şanlıurfa butter oil.

KEYWORDS: Butter oil, Oxidative Stability, Rosemary Essential Oil, Storage Stability, Oxidation

KEYWORDS: Butter oil, Oxidative Stability, Rosemary Essential Oil, Lipid Oxidation, Shelf Life

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	İkinci aşamaya ilişkin sadeyağ üretiminin deneysel tasarımı . . .	30
Çizelge 3.2.	Üçüncü aşamaya ilişkin sadeyağ üretiminin deneysel tasarımı .	30
Çizelge 4.1.	Şanlıurfa sadeyağı örneklerinin indüksiyon sürelerine ait varyans analiz sonuçları	38
Çizelge 4.2.	Şanlıurfa sadeyağı örneklerine ait ortalama indüksiyon süreleri(saatt) ve oluşan gruplar	39
Çizelge 4.3.	Şanlıurfa sadeyağı örneklerin indüksiyon sürelerine göre oluşturulan grafik denklemleri ve bu denklemlere göre 25 °C’de hesaplanan tahmini raf ömrü süreleri (gün)	40
Çizelge 4.4.	Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde oksidasyon stabilitesinin tespiti-ne yönelik analizlere ait varyans analiz sonuçları	41
Çizelge 4.5.	Şanlıurfa sadeyağında ortalama renk ve ΔE değerlerine ait varyans analiz sonuçları	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Lipit oksidasyonunun basamakları	12
Şekil 3.1.	Biberiye (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) görselleri	28
Şekil 3.2.	Biberiye uçucu yağının elde edilmesi	29
Şekil 3.3.	Sadeyağ örneklerinin farklı ortamlarda depolanmasına ait görseller	31
Şekil 3.4.	Biberiye uçucu yağından fenolik ekstrakt eldesine ilişkin görseller	32
Şekil 3.5.	Rancimat analizi	33
Şekil 3.6.	Serbest asitlik değeri analizi	34
Şekil 3.7.	Sadeyağda peroksit analizi	35
Şekil 3.8.	<i>p</i> -anisidin değeri	36
Şekil 3.9.	Renk değerleri analizi	36
Şekil 4.1.	Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde ortalama serbest yağ asitliği değerleri, % oleik asit	43
Şekil 4.2.	Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde peroksit değerlerinin depolama periyodu boyunca değişimi	45
Şekil 4.3.	Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde <i>p</i> -anisidin değerlerinin depolama periyodu boyunca değişimi	47
Şekil 4.4.	Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde <i>L</i> * değerlerinin depolama peri- yodu boyunca değişimi	51
Şekil 4.5.	Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde <i>a</i> * değerlerinin depolama peri- yodu boyunca değişimi	54
Şekil 4.6.	Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde <i>b</i> * değerlerinin depolama peri- yodu boyunca değişimi	55
Şekil 4.7.	Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde ΔE değerlerinin depolama periyodu boyunca değişimi	57

KISALTMALAR

ABTS	2,2/-azino-bis(3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonik asit)
ANOVA	Varyans Analizi
BHA	Bütillendirilmiş Hidroksi Anisol
BHT	Bütillendirilmiş Hidroksi Toluene
BYS	Biberiye Uçucu Yağı İçeren Şanlıurfa Sadeyağı
°C	Santigrat derece
CUPRAC	Bakır İndirgeme Antioksidan Kapasitesi
DW	Dry weight (Kuru madde)
DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
GAE	Gallik Asit Eşdeğeri
IDF	Uluslararası Sütçülük Federasyonunu (International Dairy Federation)
IC₅₀	% 50 inhibisyonu sağlayan miktar
K₂₃₂	Konjuge dien değeri
OLA	Oleik Asit
ppm	Milyonda Bir (mg.L ⁻¹)
rpm	Dakikadaki Devir Sayısı
TBA/TBARS	Tiyobarbitürik asit reaktifi değeri sayısı
TEAC	Troloks Eşdeğer Antioksidan Kapasitesi
TFM	Toplam Fenolik Madde
TBHQ	Tersiyer Bütildihidrokinon
KM	Kuru Madde

SİMGELER

L	Litre
α	Alfa
β	Beta
μ	Mikro (10^{-6})
N	Normal
ppm	Milyonda bir birim
g	Gram
%	Yüzde
M	Molar

1. GİRİŞ

Yeterli ve dengeli beslenme temel gıdaların alınmasına dayanmaktadır. Süt, içerdiği bileşenler sayesinde bu temel gıdaların yapıtaşını oluşturur. Hemen hemen her yaştaki bireylerin doğrudan tüketebileceği süt, çoğu zaman gıda endüstrisinde işlenerek yoğurt, peynir, krema, kaymak, tereyağı, sadeyağ gibi farklı ürünlere dönüştürülerek de insan tüketimine sunulmaktadır.

Süt laktoz, yağ, kazein, laktoalbümin ve laktoglobülin içermektedir. Bu bileşenlerden en önemlisi olan süt yağı içerdiği fosfor, kalsiyum, magnezyum, çinko ve potasyum gibi mineraller ve yağda/suda eriyen vitaminler (A,D,E,K, B₁₂) bakımından beslenmede önemli rol oynamaktadır (Alan ve Besler., 2008). Süt yağından kaymak, krema, tereyağı ve sadeyağ elde edilmektedir. Özellikle tereyağı ve krema mikrobiyolojik bozulma, lipoliz veya oksidasyon nedeniyle sınırlı bir depolama süresine sahiptir. Bu bozulma süreçlerinin çoğu su fazında veya su ile yağ fazı arasındaki ara yüzde gerçekleştiğinden, su fazının uzaklaştırılmasının süt yağının depolama süresini önemli ölçüde uzattığı bilinmektedir (Mortensen, 2011) (Mortensen, 2011) .

Türk Gıda Kodeksi Tereyağı ve Sadeyağ Tebliğine (Tebliğ No: 2025/9) göre ‘Sadeyağ; süt ve/veya süt ürünlerinden elde edilen, su ve yağsız kuru madde unsurlarının tamamına yakın bölümü uzaklaştırılmış, ağırlıkça en az %99 oranında süt yağı içeren ürün’ olarak tanımlanmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025). Ülkemizde özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde birkaç aylık sezon halinde küçük çaplı işletmelerde sadeyağ üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde sadeyağ olarak bilinen süt ürünü Hindistan’da ghee, İran’da roghan, Fas ve Arap ülkelerinde ise sman, semn, semneh, sminn adını almaktadır (Çelik vd., 2020; Ünver vd., 2021).

Tereyağından geleneksel ve endüstriyel olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak sadeyağ üretilmektedir. Daha çok küçük ölçekli üretimlerde kullanılan geleneksel yöntemde, tereyağı tencere/kazanlarda kısık-orta ateşte eritilmesi sonucunda fosfolipitler kabın dip kısmında yağ ise üst kısımda birikmekte ve zamanla faz ayrışımı gerçekleşmektedir. Daha sonra üst faz alınarak filtre edilmektedir. Büyük ölçekli üretimlerde kullanılan endüstriyel üretimde ise tam otomatik makineler kullanılarak sadeyağ üretimi yapılmaktadır. Bu

yöntemde kontrollü sıcaklıklarda büyük kapasiteli tanklarda tereyağı eritildikten sonra fosfolipitler uzaklaştırılmakta ve vakum kurutucu yardımıyla yağın içinde bulunan su uzaklaştırılmaktadır. Ürünün ticari potansiyeli göz önünde bulundurularak vakum paketleme sistemleri ile oksidasyona karşı koruma sağlanarak yağın raf ömrü uzatılmaktadır (Sserunjogi vd., 1998; Mehta, 2009; Kumbhare vd., 2023).

Şanlıurfa ilinde üretilen sadeyağ coğrafi işaret belgesi olarak Şanlıurfa sadeyağı (Urfa yağı) adıyla tescil (Tescil no: 363) edilmiştir. Coğrafi işarete Şanlıurfa sadeyağı, ‘Şanlıurfa’da yetişen İvesi ırkı koyun sütünden üretilen, su ve yağsız kuru maddesi uzaklaştırılmış, ağırlıkça en az %99 süt yağı içeren bir ürün’ olarak tanımlanmış ve ‘Şanlıurfa’da yetişen İvesi cinsi koyun sütünden üretilmesi’ ayırt edici özelliği olarak belirlenmiştir (Anonim, 2018). Şanlıurfa sadeyağı aroma ve tat açısından da üretildiği bölgede kabul görmekte ve yoğunluklu olarak yemeklerde kullanılmakta, ayrıca pastacılık ve tatlıcılık sektörünün de vazgeçilmezi olmuştur.

Tüm yemeklik yağlar gibi sadeyağ da sıcaklık, ışık, su ve mineral maddeler (Fe ve Cu gibi) gibi çeşitli faktörlerden dolayı hidroliz ve oksidasyon reaksiyonları sonucu bozulabilmektedir. Yemeklik yağların bozulmasını geciktirmek amacıyla üretim sonrası yağlara izin verilen oranlarda çeşitli sentetik antioksidanlar (BHA, BHT, gallatlar gibi) ilave edilmektedir. Bu antioksidanların insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri nedeni ile günümüzde doğal antioksidanlara yönelim söz konusudur. Bu durum, doğal antioksidanların gıdalara entegre edilmesini hızlandırmış ve yeni çalışmaların yapılmasını sağlamıştır.

Gıdalarda oksidasyonu engellemek ve raf ömrünü arttırmak için sıkça kullanılan sentetik antioksidanlar bütillendirilmiş hidroksi tolueen (BHT) ve bütillendirilmiş hidroksi anisol (BHA)’dır. Bu antioksidan maddelerin kullanımları gıda kodeksinde sınırlandırılmıştır. Sentetik antioksidanlar yerine daha sağlıklı ve güvenilir olan bitkisel materyallerin alternatif olarak kullanımı önem arz etmektedir.

Genel olarak sadeyağ üretiminde sentetik veya doğal antioksidanların kullanımının yaygın olmaması nedeniyle depolama sürecinde hidrolitik ve oksidatif reaksiyonlar ürün kalitesi ile raf ömrünü olumsuz etkileyebilmektedir. Şanlıurfa Sadeyağı da diğer yağlar gibi ısı, ışık, oksijen, nem, metal iyonları ve hava ile temas gibi faktörlerin etkisiyle hidrolitik

ve oksidatif reaksiyonlara maruz kalabilmektedir. Bu reaksiyonlar yağda istenmeyen tat ve koku oluşumuna neden olmanın yanı sıra oksidatif stabilitenin azalmasına, depolama kalitesinin bozulmasına ve raf ömrünün kısalmasına yol açmaktadır. Literatürde doğal antioksidanların farklı yağ sistemlerinde oksidasyonu geciktirici etkilerini ortaya koyan çok sayıda çalışma bulunmasına karşın coğrafi işaretli bir ürün olan Şanlıurfa Sadeyağında biberiye uçucu yağının oksidatif stabilite, depolama stabilitesi ve raf ömrü üzerine etkilerini inceleyen ve doğal antioksidan olarak biberiye uçucu yağının kullanım potansiyelini araştıran herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada ön denemeler sonucunda belirlenen konsantrasyonda biberiye uçucu yağı ilave edilen Şanlıurfa Sadeyağının 25 °C’de UV-C ışık, floresan ışık ve karanlık ortam koşullarında 20 gün süreyle depolanması sırasında meydana gelen oksidatif değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda depolama süresince belirli aralıklarla serbest yağ asitliği, peroksit değeri, *p*-anisidin ve renk analizleri gerçekleştirilmiş; elde edilen veriler doğrultusunda sadeyağın oksidatif stabilitesi, depolama stabilitesi ve tahmini raf ömrü değerlendirilmiştir. Elde edilen bulguların, Şanlıurfa Sadeyağının depolama kalitesinin iyileştirilmesine, doğal antioksidan olarak kullanımına yönelik bilimsel bilgi birikimine katkı sağlaması ve bu coğrafi işaretli ürünün katma değerinin artırılmasına katkıda bulunması amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler

Meyve, yaprak, çiçek, tohum, soğan, kök, yumru, kabuk ve gibi kısımlarının bir veya birden fazla kısmı kullanılarak farmakolojik etkiye sahip olduğu belirtilen alkaloidler, terpenoidler veya fenolik maddeler elde edilerek çeşitli alanlarda kullanılan ve kullanıma potansiyeli olan bitkilere tıbbi ve aromatik bitki denir. İnsanlık tarihinin en eski çağlarından beri insanlar bitkileri hangi faydalı amaçla kullanacakları konusunda karar verebilmek için tıbbi ve aromatik bitkilerle ilgilenmişlerdir. İlk olarak beslenme, barınma, hastalıkların tedavi edilmesi, hastalık veya yaralanma kaynaklı ağrıların azaltılması, yaraların iyileştirilmesi, ısınma, savunma gibi amaçlarla kullanmaya çalışmışlardır (Göktaş ve Gıdık., 2019). Eski Yunan ve Romalılar döneminde gıda ürünlerinin lezzetinin artırılmasında, insan ve hayvanların tedavisinde biberiye kullanılmıştır (Basmacıoğlu Malayoğlu, 2010). Daha sonraları ise sosyoekonomik ve teknolojik şartların da gelişmesiyle tıbbi ve aromatik bitkilerden profesyonel anlamda yararlanmak için çeşitli araştırmalar yapmışlardır. Günümüzde bu bitkilerin kullanım alanları şu şekildedir:

- Tıp (fitoterapi, aromaterapi ve alternatif tıp dahil) ve eczacılık alanlarında
- Kozmetik ve parfümeride
- Biyoyakıt
- Baharat ve bitkisel çay üretiminde
- Gıda katkı maddesi olarak
- Bitki koruma alanında (tarımsal mücadelede)
- Hayvan sağlığında ve yem katkı maddesi olarak
- Doğal boyar madde elde edilmesinde
- Peyzaj uygulamalarında (iç ve dış mekân bitkisi olarak)

Günümüzde ise Dünya Sağlık Örgütüne göre sayıları 20.000 civarında olan tıbbi ve aromatik bitkilerin sadece 4.000 kadarı yaygın bir şekilde ilaç olarak kullanılırken bunun da 2.000 çeşidinin ticareti yapılmaktadır. Sahip olduğu coğrafi konum ve iklim çeşitliliği bakımından avantajlı olan ülkemizde ise 500 civarında bitki, tıbbi ve aromatik anlamda kullanılmaktadır. Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.), bu bitkilerden sadece bir

tanesi olup çeşni maddesi, baharat, çay olarak mutfaklarda kullanılırken uçucu yağ, fenolik ekstrakt ve kurutulmuş şekliyle de sağlık, kozmetik, sanayi gibi diğer iş kollarında yerini almaktadır. Sağlık alanında biberiye bitkisinin romatizma ağrıları, unutkanlık ve hafıza zayıflığı, yorgunluk, yüksek kolesterol ve zayıflama konularında tüketildiğinde istenilen sonuçların elde edileceği değerlendirilmiştir (Faydaoğlu ve Sürücüoğlu, 2011).

Biberiye; iğne yapraklı, yaprak dökmeyen, kokulu, mavi, pembe, beyaz, mor çiçekli, çok yıllık, bodur ve odunsu bir Akdeniz Bölgesi bitkisidir. İklim ve toprak özellikleri açısından çok da seçici olmayan bu bitki Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü her yerde doğal olarak yetiştirilebilir. Biberiye; halk dilinde rosmarin, kuş dili, hasalbal, akpüren, urum çiçeği, pürem, beyaz püren, süpürge çalı gibi isimlerle de anılmaktadır (Baytop, 1984; Begum vd., 2013).

2.2. Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.)

Biberiyenin antioksidan olarak kullanımı konusundaki araştırmalar 1950 yıllarında başlamıştır (Hashim vd., 2025). Farklı yöntemler kullanılarak elde edilen biberiye ekstraktı ve uçucu yağlarının bileşimi ve antioksidan kapasiteleri ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır.

Bu araştırmalardan biri 32 farklı baharat bitkisine ait 78 örneğin hem bütün halde öğütülmüş şekli hem de farklı çözücüler kullanılarak elde edilen ekstraktlarının antioksidan özelliklerinin incelendiği ve sitrik asit ile sinerjik etkisinin değerlendirildiği çalışma olmuştur. Biberiye ve adaçayı en yüksek antioksidan etkinlik ve sitrik asitle de sinerjik etki gösterdiği ayrıca biberiyenin yüksek sıcaklıkta (98,6 °C) bile lipit oksidasyonuna karşı koruma sağladığı belirtilmiştir (Chipault vd., 1952).

Yapılan diğer çalışmalar; biberiye bitkisinden elde edilen biberiye ekstraktının ve biberiye uçucu yağının temel bileşenleri açısından farklılıklar gösterdiği ve bu sebeple aynı bitkiden elde edilen uçucu yağın ve ekstraktın aynı seviyede antioksidan etki göstermeyeceği bildirilmiştir. Yapılan bir çalışmada Pakistan coğrafi bölgesindeki biberiyeden elde edilen uçucu yağın temel bileşiminde 1,8-sineol (%38,5), camphor (%17,1), α -pinene (%12,3), limonene (%6,23), camphene (%6,00), linalool (%5,70) tespit edilmiştir (Hussain vd., 2010). Bu konuda yapılan başka bir araştırmada, Güney İspanya'da yetiştirilen bitkiden

elde edilen biberiye uçucu yağının majör bileşenleri camphor (%17,2-34,7), α -pinene (%10,2-21,6), 1,8-cineol (%12,1-14,4), camphene (%5,2-8,6), borneol (%3,2-7,7), β -pinene (%2,3-7,5), verbenone (%2,2-5,8), β -caryophyllene (%1,8-5,1), limonene (%2,0-3,8), α -terpineol (%1,2-2,5), myrcene (%0,9-4,5), p-cymene (%0,2-3,4), bornyl acetate (%0,2-2,3), linalool (%0,3-1,0), ve terpinen-4-ol (%0,4-0,9) olarak bildirilmiştir (Salido vd., 2003).

Xie vd. (2025) tarafından derlenen çalışmada biberiye ekstraktının önemli ana bileşenlerinin karnosik asit, karnosol ve rosmarinik asit olarak belirlendiği bildirilmiştir. Aynı bileşenler farklı lokasyonlardan (Çanakkale, İzmir, Mersin) ve farklı aylarda (Aralık, Eylül, Haziran, Mart) hasat edilen biberiyeden elde edilen 12 çeşit ekstrakta da tespit edilmiştir (Yeşil Çelikaş vd., 2007). Biberiye ekstraktı fenolik diterpenler, karnosik asit ve karnosolün dışında; rosmanol, isorosmanol, epirosmanol, rosmadial, rosmaridiphenol ve rosmariquinone gibi minör bileşenler ile apigenin, naringin, hispidulin, genkwanin, rutin, luteolin, kaempferol, hesperetin, apigenin-7-O-glucoside ve quercetin gibi bazı flavonoid bileşikler ve betulin, amyrin, betulinic asit, oleanic asit, ursolic asit gibi bileşikler de içerebilmektedir (Senanayake, 2018).

Biberiye uçucu yağının antioksidan kapasitesini etkileyen diğer faktörler arasında bitkinin hasat edildiği mevsim, kurutma yöntemleri, bitkinin yetiştiği coğrafi konum, ekstraksiyon yöntemi ve kullanılan çözücü çeşidi, bitkinin kullanılan organları/kısımları, yetiştiği toprak özellikleri, su ve ışık maruziyeti, genetik yapısı olarak belirtildiği derleme çalışmalar da mevcuttur (Chetia vd., 2025; Del Baño vd., 2003; Basmacıoğlu Malayoğlu, H., 2010).

Bozin vd. (2007) hidrodistilasyon yoluyla elde ettikleri biberiye ve adaçayı uçucu yağlarının antimikrobiyal ve antioksidan etkinliklerini araştırmak amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Antimikrobiyal etkinlik 13 bakteri ve 5 mantar çeşidi üzerinden test edilmiştir. Her iki uçucu yağ çeşidi bakteriler üzerinde etkinlik kursa da en güçlü antifungal aktivite yalnızca biberiye uçucu yağında gözlemlenmiştir. Antioksidan aktivitesi ise serbest radikal süpürme kapasitesi ve lipid peroksidasyonu üzerinden değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar BHT ile kıyaslanmıştır. DPPH analizi sonucu elde edilen IC₅₀ değeri biberiye uçucu yağı için 3,82 µg/mL, adaçayı uçucu yağı için 1,78 µg/mL ve BHT için 5,37 µg/mL

olarak bulunmuştur. Bu veriler her iki uçucu yağın da sentetik antioksidan olan BHT'den çok daha güçlü antioksidan aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Lipit peroksidasyonunun inhibisyonu üzerinden yapılan değerlendirmede biberiye uçucu yağının daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak her iki uçucu yağın da antioksidan ve antimikrobiyal etkisi göz önüne alındığında sentetik antioksidanlar yerine doğal koruyucu olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Yazıcı vd. (2020) yaptıkları bir çalışmada hidrodistilasyon yoluyla elde edilen kekik ve biberiye uçucu yağlarının kimyasal yapısı incelenerek bu uçucu yağların antioksidan aktivitesi ve uçucu yağ verimi araştırılmıştır. Kekik ve biberiye uçucu yağlarında serbest radikal süpürme kapasitesi (DPPH), toplam fenolik madde içeriği ve *p*-anisidin değerleri analiz edilmiştir. Biberiye ve kekik uçucu yağlarının toplam fenolik madde içerikleri sırasıyla 12,11 mg GAE/g (kuru madde) ve 18,72 mg GAE/g (kuru madde) olarak bulunurken, *p*-anisidin değerleri 0,9850 ve 1,5507 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca serbest radikal süpürme kapasitesi için yapılan DPPH testinin sonucunda IC₅₀ değeri biberiye uçucu yağında 2,75 µg ekstrakt/mL; kekik uçucu yağında ise 4,74 µg ekstrakt/mL olmuştur. Biberiye uçucu yağında 39 adet fenolik bileşen tespit edilirken kekik uçucu yağında 27 adet fenolik bileşen belirlenmiştir. Her iki uçucu yağın özellikle gıda endüstrisinde koruyucu olarak yapay antioksidanların yerini alabileceği belirtilmiştir.

Erkan vd. (2008) metanolik biberiye ekstraktı, çörekotu (*Nigella sativa L.*) uçucu yağı, karnozik asit, rosmarinik asit ve sesamolün antioksidan aktivitelerini çalışmışlardır. Beş bileşenin tamamında DPPH, ABTS analizleri ile Ferrik Tiyosiyonat Test (FTC) analizleri yapılmıştır. Biberiye ekstraktının ve çörekotu uçucu yağının toplam fenolik madde içerikleri sırasıyla 162 mg GAE/g ve 28,2 mg GAE/g bulunmuştur. IC₅₀ değeri bakımından incelendiğinde karnozik asidin en güçlü antioksidan etki gösterdiği ayrıca biberiye ekstraktının çörekotu uçucu yağından 10 kat daha etkili antioksidan özellik gösterdiği görülmüştür. Ferrik Tiyosiyonat Test (FTC) ve ABTS sonuçlarına göre biberiye ekstraktının çörekotu uçucu yağından daha etkin antioksidan aktiviteye sahip olduğu bulunmuştur. Saf antioksidanların antioksidan etkinlikleri yapılan testlere göre sırasıyla DPPH için rosmarinik asit<sesamol<karnozik asit; ABTS için sesamol< rosmarinik asit<

karnozik asit ve FTC için rosmarinik asit< karnozik asit<sesamol şeklinde olmuştur. Biberiye ekstraktı çörekotu uçucu yağına kıyasla her üç testten de en yüksek antioksidan aktivite göstermiştir. Bu çalışma biberiye ekstraktının ve biberiye bileşenlerinin antioksidan kaynağı olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Hussain vd. (2010) Pakistan coğrafyasında yetişen biberiye bitkisinden hidrodistilasyon ile elde ettikleri biberiye uçucu yağının antiprolifetatif, antioksidan ve antibakteriyel aktivitesini değerlendirmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Uçucu yağın; antiprolifetatif özelliği için MTT testi, antioksidan aktivitesi için DPPH testi ve peroksidasyon inhibisyon yüzdesi hesaplaması, antibakteriyel etkinliği için ise 8 adet bakteri üzerinde analizler yapılmıştır. Ayrıca GS/MS ile biberiye uçucu yağının kimyasal bileşenleri de incelenmiş ve 18 adet fenolik bileşen tespit edilmiştir. Uçucu yağda %38,5 oranında bulunan 1,8-cineole bileşeninin de antioksidan aktivitesi incelenmiştir. Biberiye uçucu yağının antioksidan aktivitesi uçucu yağı oluşturan 1,8-sineol temel bileşeninden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. IC₅₀ değeri göz önüne alındığında antioksidan etkinlik sırasıyla BHT>biberiye uçucu yağı>1,8-cineole şeklinde tespit edilmiştir. Peroksidasyon inhibisyon yüzdesi incelendiğinde biberiye uçucu yağı %59,1 ile 1,8-sineol bileşeninden (%33,6) daha yüksek aktivite göstermiştir. Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre Pakistan bölgesinde yetişen biberiyeden elde edilen uçucu yağın gıda sanayisinde antioksidan olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Aslan Öz ve Velioğlu (2024) Balıkesir'in bazı ilçelerinden (Karesi, Altieylül, Ayvalık, Bigadiç, Erdek, Sındırgı, Gömeç, Burhaniye) topladıkları biberiye (*Rosmarinus officinalis*) ve fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) bitkilerinden su distilasyonu ile elde ettikleri uçucu yağlarının antioksidan ve antimikotik etkilerini araştırmışlardır. Bu etkiler ticari olarak satılan biberiye ve fesleğen uçucu yağlarında da test edilmiştir. Antimikotik özelliklerin incelenmesi; bazı küf ve maya mikroorganizmaları üzerinden değerlendirilirken antioksidan aktivite ise DPPH, toplam fenolik madde içeriği ve ABTS analizleri ile değerlendirilmiştir. Laboratuvarında elde edilen tüm uçucu yağ örneklerinin toplam fenolik madde içeriği, antioksidan kapasitesi ve antimikotik etkisi piyasadan temin edilen tüm ticari uçucu yağ çeşitlerinden daha yüksek bulunmuştur. Yapılan çalışmanın sonucunda fenolik içerik

bakımından en yüksek değer Bigadiç yöresindeki bitkiden elde edilen fesleğenden üretilmiş uçucu yağ olurken, biberiye uçucu yağında ise en yüksek değeri Altıeylül yöresindeki bitkiden üretilen uçucu yağ olmuştur. Fenolik madde miktarı açısından en düşük oranı Ayvalık yöresinden toplanan biberiyeden elde edilen uçucu yağ olmasından dolayı uçucu yağların fenolik madde miktarlarındaki bu değişkenliğin sebebi olarak bitkilerin yetiştirildiği ilçelerin arasındaki rakım ve denize olan uzaklıklarının farklı olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Fesleğen ve biberiye uçucu yağının antioksidan aktiviteleri fenolik madde miktarı ile paralel etki göstermiştir. Yapılan çalışmada en yüksek fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasite fesleğen uçucu yağında tespit edilmiş ve sonuç olarak her iki uçucu yağın da gıda ürünlerinde antioksidan madde olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Narlıoğlu (2024) yapmış olduğu çalışmada su distilasyonu ile elde ettiği biberiye uçucu yağı ile sokslet ve çözücü (hegzan, kloroform) kullanarak elde ettiği biberiye sabit yağının kimyasal bileşenlerini inceleyerek bazı biyolojik özelliklerini ve antioksidan etkinliğini araştırmıştır. Biberiye uçucu ve sabit yağının antioksidan etkisini incelemek amacıyla toplam fenolik madde miktarı, DPPH, toplam flavonoid ve CUPRAC analizleri yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre biberiye sabit yağının biberiye uçucu yağından 4 kat daha güçlü serbest radikal süpürme kapasitesine, daha yüksek miktarda fenolik madde içeriğine ve daha iyi antioksidan etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Fesleğen (*Ocimum basilicum*), biberiye (*Rosmarinus officinalis*), nane (*Mentha piperita*), stevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*) ve kekik (*Thymus vulgaris*) bitkilerinin farklı yöntemlerle kurutulduğu bir çalışmada, kurutma koşullarının bitkilerin fenolik madde içeriğine ve antioksidan kapasitesine olan etki düzeyi araştırılmıştır. Kurutma tüneline (30, 40 ve 50 °C), mikrodalga fırında (450 W, 600 W, 700 W, 800 W), buzdolabında (4 °C, bitkinin nemi %10-15 olana kadar), güneşte (ortalama 20,3 °C, ortalama %86 nem) ve gölgede (ortalama 20,3 °C, ortalama %86 nem, güneş ışığı geçirmeyecek şekilde) olmak üzere 5 farklı kurutma koşullarında bitkiler kurumaya bırakılmıştır. Fesleğen ve biberiye bitkilerinde mikrodalgada (800 W), stevia bitkisi için gölgede kurutma, kekik bitkisinde kurutma tüneli (30 °C) ve nane bitkisinin de güneşte kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerde en fazla fenolik bileşen elde edilmiştir. En güçlü antioksidan etkinlik; fesleğen ve biberiye bitkilerinde

mikrodalgada (800 W ve 700 W), nanede güneşte ve tüm mikrodalga fırın şartlarında, stevya bitkisinde gölgede ve güneşte kurutma, kekik bitkisinin de kurutma tüneli (30 °C) şartlarında sağlanmıştır. Elde edilen bulgular, bitki çeşidinin antioksidan etkinliği ve fenolik madde içeriği kullanılan kurutma yöntemi ile farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Güler, 2019).

Yeşil Çeliktaş vd. (2007) farklı aylarda (Eylül, Haziran, Aralık, Mart) ve değişik lokasyonlardan (İzmir, Çanakkale, Mersin) ayrı ayrı hasat ettikleri biberiye bitkisinden süper kritik CO₂ ekstraksiyon metoduyla 12 çeşit biberiye ekstraktı elde ederek bu ekstraktların kimyasal bileşenleri incelenmiş ve antioksidan etkinlikleri ile serbest radikal süpürme kapasitesi araştırılmıştır. Ekstraktlarda tespit edilen temel aktif bileşenler karnozik asit, karnozol ve rozmarinik asit olmuştur. Yapılan araştırmanın sonucunda bitkide bulunan fenolik madde miktarının ve antioksidan etkinliğinin; bitkinin hasat edildiği mevsime ve yetiştiği coğrafi bölgeye göre değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Mersin ilinde hasat edilen biberiyeden elde edilen ekstraktta yüksek oranda karnozik asit ve düşük miktarda rozmarinik asit tespit edilmiştir. Çanakkale ve İzmir illeri için ise bunun tam tersi durum tespit edilmiştir. En fazla fenolik bileşen ve en yüksek antioksidan kapasite Eylül ayında yapılan hasattan elde edilen ekstrakt örneklerinde görülürken en düşük bileşen miktarı ve en zayıf antioksidan kapasite İzmir ilinden hasat edilen bitkiden elde edilen ekstraktta saptanmıştır. Ayrıca en güçlü antioksidan etkinlik Mersin ilinden hasat edilen biberiyeden elde edilen ekstraktta gözlenmiştir.

2.3. Antioksidanlar

Son zamanlarda yapılan çalışmalar incelendiğinde sentetik katkıların insan sağlığı üzerindeki raporlanmış yan etkilerinden dolayı gıda, kozmetik ve ilaç sanayisinde kimyasal ve sentetik içeriklerden çok bitkisel kaynaklı doğal içeriklerin kullanımında artış eğilimi gösterdiği görülmüştür. Bu sebeple gıda endüstrisinde yağlı gıdaların raf ömrünü geliştirmek ve antioksidatif etkiyi elimine etmek amacıyla kullanılan sentetik antioksidanların yerine geçebilecek bitkisel kaynaklı antioksidan elde etme çalışmaları hız kazanmıştır.

Gıda ürünlerinde katkı maddesi olarak kullanılan antioksidanlar; oksidasyon sonucu gıdalarda oluşabilecek acılaşma veya diğer tat-aroma yönündeki bozulmaları geciktirebilen, yavaşlatabilen ya da engelleyebilen maddeler olarak tanımlanabilir. Antioksidanlar yapay

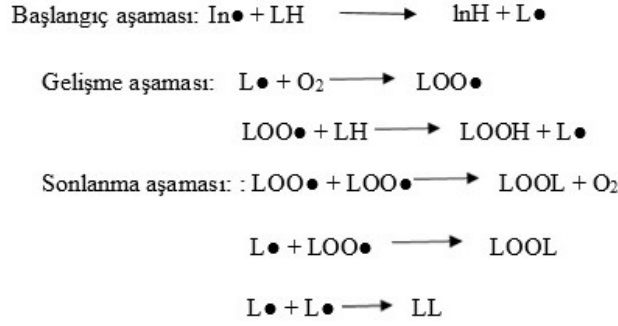
(sentetik) ve doğal antioksidanlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Gıda ürünlerinde kullanılan başlıca sentetik antioksidan maddeler BHA, BHT, TBHQ ve propil gallatlar (PG)'dir. Sentetik antioksidanlar gıda ürünlerinin bozulmasını engellemekle birlikte sağlık ve toksisite açısından taşıdığı risklerden dolayı gıda ürünlerinde kullanımını kısıtlanmaktadır (Tawaha vd., 2007).

Biberiye bitkisinin antioksidan özelliği içerdiği fenolik bileşiklerden kaynaklanmaktadır. Biberiye'nin antioksidan, antifungal, antibakteriyel, hepatoprotektif ve insektisit özelliklerinin olduğu ile ilgili birçok çalışma mevcuttur (Nieto, 2018).

2.4. Lipit Oksidasyonu

Son zamanlarda yaşam standartlarına bağlı olarak tüketilen yağlardan kaynaklı kalp-damar hastalıkları, diyabet, obezite, kanser gibi hastalıklarda ciddi artışlar olduğu görülmektedir. Bu durum hem tüketilen yağ miktarına hem de tüketilen yağın kalitesinden kaynaklanmaktadır. Yağlar, depolama sırasında bozulmanın dışında kalp-damar sistemine zarar veren oksidasyon ürünlerini de oluşturduğundan dolayı uzun vadede insan vücudunda kanserojen etki oluşturabilmektedir (Bahinipati ve Acharya, 2017). Depolama boyunca yağ bileşenleri oksitlenerek parçalanır ve bunun sonucunda oluşan uçucu bileşikler yağın tadında istenmeyen değişikliklere neden olur (Xie vd., 2017).

Yağlarda en yaygın görülen bozulma tipi oksijenin varlığında gerçekleşen otooksidasyondur. Otooksidasyon 3 aşamada gerçekleşir. İlk aşama (initiation-başlama aşaması) lipit moleküllerinden lipit radikallerinin oluşmasıyla gerçekleşir. Hidroksil gibi reaktiflerden bir hidrojenin koparılmasıyla reaksiyon başlar (Pokorny vd., 2001). Bu serbest radikaller, yağ molekülleri tarafından ısı, ışık ve metal katalizörlerin etkisinde oluşur (Geng vd., 2023). Oksidasyonun ikinci aşamasında (propagation-yayılma aşaması) yağ radikalleri başka yağ radikallerine dönüşürler. Bu yağ radikalleri son aşamada (termination-sonlanma aşaması) birleşerek daha kararlı yapılara tamamlanırlar (Pokorny vd., 2001).



In•: serbest radikaller; LH: doymamış yağ asidi molekülleri; LOO•: lipid peroksil radikali; L•: lipid serbest radikali;
O₂: oksijen; LOOH: lipid hidroperoksitleri; LOOL, LL: lipid polimerleri

Şekil 2.1. Lipit oksidasyonunun basamakları

Lipit oksidasyonunun ilk basamağının başlıca ürünleri hidroperoksitlerdir. Kararsız bileşikler olan hidroperoksitler oksidasyonun derecesine bağlı olarak aldehit, keton, alkoller ve uçucu bileşikler gibi ikincil ürünlere dönüşürler. Bu da yağlarda ve yağ içeren gıda ürünlerinde acı tat ve kötü kokuya neden olmaktadır (Kayahan, 2003).

Hayvansal ve bitkisel kaynaklı yağlarda, yağ içeren gıdalarda lipid oksidasyonun seviyesini belirlemek amacıyla birçok test ve analiz yöntemleri mevcuttur. Schaal oven testi (fırın testi), ransimat ve AOM (aktif oksijen metodu) en yaygın kullanılan yöntemlerdendir (Dıraman ve Türk Baydir, 2017). Lipit oksidasyonunu değerlendirmede kullanılan diğer yöntemler arasında peroksit değeri, konjuge dien değeri, iyot değeri, oksidasyonun birincil ürünlerini analizinde kullanılırken; TBARs ve kromatografik metodlar da oksidasyonun ikincil ürünleri hakkında bilgi vermektedir (Abeyrathne vd., 2021).

2.5. Bitkisel Yağlarda Yapılan Bazı Çalışmalar

Kıralan ve Kıralan (2017) tarafından yapılan çalışmada soğuk sıkım ayçiçek yağının termal oksidasyon ve ışık oksidasyonu sonucu oluşan oksidasyon ürünlerini incelemiş ve ayçiçek yağının bu iki depolama koşullarındaki oksidasyon kararlılığını değerlendirmişlerdir. Termal oksidasyon, fırın testi de denilen Schaal Oven Test ile ayçiçeği yağı örnekleri 60 °C'de 6 gün boyunca depolanmıştır. Fotooksidasyon koşulları için ise yağ örnekleri, 3000 lüks şiddetindeki beyaz ışığa yine 6 günlük sürede maruz bırakılmıştır. Depolama stabilitesine

karar verebilmek amacıyla tüm örneklerde peroksit sayısı ve konjuge dien değeri (K_{232}) analiz edilmiştir. Termal oksidasyon çalışmalarının başlangıcında 29,58 meq O_2/kg olan peroksit değeri 6 günlük depolamanın sonunda 79,68 meq O_2/kg olurken K_{232} 12,09 değerinden 20,03 değerine yükselmiştir. 6 günlük fotooksidasyonun ilk günlerinde ise bu değerler sırasıyla 116,97 meq O_2/kg , 22,53 olarak hesaplanmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalan örneklerde uçucu oksidasyon ürünlerinden 6 tanesi tespit edilirken ışık oksidasyonuna uğrayan örneklerde sadece bir tane oksidasyon ürünü tespit edilmiştir.

Koyuncu ve Tunçtürk (2017) yaptıkları bir çalışmada ambalajlama şeklinin ve farklı depolama şartlarının tereyağı örneklerinin üzerindeki oksidasyon kararlılığının etkilerini incelemişlerdir. Bu sebeple vakumlu/vakumsuz şekilde ambalajlama yapılan tereyağı örnekleri hem karanlıkta hem de floresan ışık kaynağı altında 4 °C’de 90 gün boyunca depolanmıştır. Oksidasyon stabilitesini analiz etmek amacıyla peroksit, TBA, serbest asitlik, asitlik derecesi ve uçucu oksidasyon bileşenleri değerlendirilmiştir. İstatistiksel olarak örnekler arasında pH ve titrasyon asitliği bakımından anlamlı bir fark bulunmamıştır. En yüksek peroksit değeri vakumsuz ambalaj içeren ve ışık altında depolanan tereyağı örneklerinde görülürken, en düşük peroksit değeri ise vakumlu ambalajda ve karanlık ortamda depolanan tereyağı örneklerinde gözlenmiştir. Aynı şekilde en yüksek TBA değeri vakumsuz ambalaj içeren ve ışık altındaki yağ örneklerinde gözlenirken en düşük TBA değeri yine vakumlu ortamda ambalajlanmış ve karanlıkta depolanmış yağ örneklerinde saptanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda tereyağının oksidasyon kararlılığının devamlılığı için ışık ve oksijen etkisinden korunması ve bu iki faktörü de engelleyebilen ambalajlarda depolanması gerektiği belirtilmiştir.

Pawłowicz vd. (2013) UV ışık depolamasının farklı çeşitlerdeki soğuk sıkım kanola yağının oksidasyonu ve yağda meydana gelen tat/aroma değişikliği üzerindeki sonuçlarını araştırmayı amaçlamışlardır. Bu sebeple UV ışık altında 4,5 saat boyunca depolamaya bırakılan yağ örneklerinde peroksit, anisidin, TOTOX, konjuge dien/trien, karetenoid, klorofil konsantrasyonu, oksidatif stabilite testi (DSC), uçucu bileşikler ve duyusal analizler yapılmıştır. Örnekler 4,5 saat boyunca UV ışığına maruz kaldıktan sonra karoten içeriği 1-3,8 ppm arasında; klorofil içeriği ise 0,02-0,25 ppm arasında

azalmıştır. Elde edilen veriler incelendiğinde peroksit değerleri hiçbir örnekte belirlenen yasal limitlerin üstünde bir değer çıkmamış ayrıca *p*-anisidin değeri de peroksit gibi düşük çıkmıştır. Yağın bozulması sonucu oluşan hidroperoksitlerin kısmen ikincil ürünlere parçalanması buna sebep olarak gösterilmiştir. Peroksit ve *p*-anisidin değerlerindeki bu kararsız dalgalanmadan dolayı peroksit ve *p*-anisidin gibi kimyasal parametrelerin tek başına bir kalite kaybı göstergesi olamayacağı ayrıca gıda güvenirliliği konusunda bu parametrelerin yanıltıcı sonuçlar verebileceği belirtilmiştir. Bu sebeple oksidasyon kararlılığı için kimyasal parametrelerin dışında yağın duyu analizlerden de geçmesi gerektiği vurgulanmıştır. Aynı şekilde TOTOX, konjuge dien/trien değerlerinde de fazla bir yükselme olmamıştır. Sonuç olarak yağların ışık geçirmeyen opak ambalajlarda depolanması gerektiği, yağın bozulma belirtisi göstermediği durumlarda bile duyu olarak kalite kaybının yaşanabileceği değerlendirilmiştir.

Ahmed vd. (2011) floresan ışık kaynağında depolanan ayçiçeği yağı, desi ghee, hayvansal yağ, kanola yağı, soya yağı, vanaspati ghee, deniz topalağı tohumu/yalancı iğde yemişi yağı ve bu meyvenin posasından elde edilen yağlar olmak üzere toplam 8 çeşit yağın bazı kalite parametrelerini, yağların foto-oksidasyonu üzerinden yorumlamışlardır. Bu çerçevede tüm yağ örneklerinde peroksit değeri, serbest yağ asitliği, beta-karoten içeriği ve renk değerlerine bakılmıştır. Floresan ışık altında depolamanın tüm yağ örneklerinde peroksit, serbest yağ asitliği ve renk kaybını arttırdığı, beta-karoten içeriğini de azalttığı gözlemlenmiştir. Deniz topalağı tohumu/yalancı iğde yemişi yağının özünde doğal olarak bulunan tokoferol ve beta-karoten içeriği sayesinde en stabil yağ olduğu sonucuna varılmıştır.

Hashem vd. (2023) floresan ışık etkisinde ve karanlıkta depoladıkları; herhangi bir antioksidan içermeyen ayçiçeği yağı, soya yağı ve palm yağının fizikokimyasal özelliklerini belirleyerek raf ömrü ve oksidatif kararlılığını çalışmışlardır. Bu kapsamda yağ örnekleri 12 ay süreyle şeffaf pet şişelerde karanlık ve ışık altında (800 lux) oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir. Tüm örneklerde peroksit değeri, serbest yağ asitliği, TBA değeri, indüksiyon süresi, yağ asitleri bileşimi, tokoferol ve tokotrienol içeriği araştırılmıştır. Işık altında depolanan örneklerde, karanlıkta depolananlara göre, daha yüksek peroksit, serbest yağ asitliği ve TBA değeri tespit edilmiştir. İndüksiyon süreleri incelendiğinde oksidatif

kararlılığı en yüksek yağ 27,5 saat ile palm yağı olurken, 5,1 saat ile bozulmaya karşı en hassas yağ ise soya yağı olmuştur. Ayçiçeği yağının indüklenme süresi 9,5 saat olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda ışığın oksidasyonu hızlandırdığı ve bu yüzden yağların ılık ve oksijen olmayan ortamda depolanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

2.6. Benzer Çalışmalar

Biberiye bitkisinden elde edilen ekstrakt ve uçucu yağlarının bazı bitkisel ve hayvansal yağlarda kullanımı ve yağın oksidasyon stabilitesine etkisiyle ilgili çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Bu bağlamda, Song vd. (2023) biberiye ekstraktının koruyucu kapasitesini ve etki mekanizmasını incelemek amacıyla soya yağı, kanola yağı, kamelya yağı, pirinç kepeği yağı ve pamuk yağı gibi bitkisel kullanmışlardır. 400 ppm %70 karnozik asit içeren biberiye ekstraktı ve 200 ppm sentetik antioksidan karışımı (BHT, BHA) bu 5 çeşit yağa oda koşullarında eklenerek diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve rancimat cihazı kullanılarak yağların oksidatif kararlılığını araştırmışlardır. Araştırmacılar ayrıca yağlarda yağ asitleri bileşimi, toplam fenolik madde içeriği, tokoferol içeriği, serbest radikal süpürme kapasitesi analizlerini yapmış ve termal oksidasyon kinetiği parametrelerini belirlemişlerdir. Yapılan araştırmanın sonucunda sentetik antioksidanlara kıyasla biberiye ekstraktının bitkisel yağların termal oksidasyon hızını düşürdüğü, serbest radikal süpürme kapasitesini, indüksiyon süresini ve aktivasyon enerjisini arttırdığı görülmüştür.

Odeh vd. (2021) yaptıkları bir çalışmada soğuk sıkım keten tohumu yağına maserasyon yöntemiyle; biberiye, kekik, fesleğen, rezene ve acı biber baharatlarını ekleyerek keten tohumu yağının oda sıcaklığında amber şişelerde ve azot gazı altında 180 günlük depolama sonucundaki oksidasyon kararlılığını, mikrobiyolojik etkilerini ve duyu özelliklerini değerlendirmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre bitki ve baharatların yağlardaki hidrolitik aktiviteyi etkilerken depolama sonunda serbest asitlik değerinin belirlenen yasal limitlerin altında bir değerde yani önemli bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. Ayrıca baharat ve bitki ilavesinin, yağın fenolik madde miktarını ve antioksidan kapasitesini arttırarak peroksit değerini düşürdüğü ve böylece ürünün raf ömrünü geliştirerek depolama kalitesini arttırdığını belirtmişlerdir. Mikroorganizma inaktivasyonu üzerinde

de baharat ve bitki ilavesinin etkili olduğu gözlenmiştir

Özcan ve Arslan (2011) tarafından yapılan bir çalışmada; %0,25 ve %0,5 konsant-rasyonlarında biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.), karanfil (*Syzygium aromaticum*) ve tarçın (*Cinnamomum zeylanicum*) uçucu yağlarının fındık ve haşhaş yağı üzerindeki antioksidan etkileri araştırılmıştır. Karşılaştırma yapmak için ise %0,02 oranlarında BHA kullanılmıştır. Tüm yağ örnekleri 50 °C'de ve karanlıkta 14 gün boyunca depolanmıştır. Yağ numunelerinde belirli periyotlarla yapılan peroksit değeri analizleri göz önüne alındığında uçucu yağ eklenen örneklerin kontrol örneklerine oranla, daha yüksek antioksidan aktivite gösterdiği görülmüştür. Depolamanın ilk günlerinde antioksidan özellik gösteremese de en güçlü antioksidan etki BHA eklenen numunelerde gözlenmiştir. Uçucu yağlar arasında ham yağların lipit oksidasyonunu geciktirmede en etkili yağın tarçın uçucu yağı olurken bunu karanfil ve biberiye uçucu yağı takip etmiştir.

Türk Baydir vd. (2023) yapmış oldukları çalışmada, ana bileşenleri 1,8-cineol (%15,18), Camphor (%11,39), Borneol (%11,39), Germacrene D (%11,12), Carvacrol (%11,05), α -Pinene (%6,01) ve p-Cimene (%3,07) olarak tespit edilen kurutulmuş (37 °C ve 72 saat) ve yaprakları öğütülmüş toz biberiyenin (*Rosmarinus officinalis* L.) ayçiçek yağı üzerindeki oksidasyon stabilitesi incelenmiştir. %1 ve 5 oranlarında ayçiçek yağına eklenen toz biberiyenin; ayçiçek yağının oksidatif stabilitesini arttırdığı ve dolayısıyla raf ömrünü de uzattığı görülmüştür. Ayrıca ransimat cihazı kullanılarak analiz edilen ayçiçek yağına ilave edilen toz biberiye oranı arttıkça yağın indüksiyon süresinin de arttığı gözlenmiştir.

Tanrıverdi (2011) tarafından yapılan çalışmada, patates ve biber kızartmalarının yapıldığı yerfıstığı ve zeytinyağı örneklerine kekik, biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) ve adaçayı uçucu yağları ilave edilerek bu yağların oksidatif stabilitesi araştırılmıştır. Uçucu yağlar %0,3; 0,6; 0,9 ve 1,2 oranlarında eklenirken yapay antioksidan olan BHT den ise %0,01 oranında eklenmiştir. Zeytinyağı ile yapılan patates ve biber kızartma yağında kekik uçucu yağına göre en güçlü radikal süpürme etkisini biberiye uçucu yağı göstermiştir. Uçucu yağların toplam fenolik madde içeriği ile radikal süpürme etkisi arasında kesin bir ilişki görülmemiştir.

Mezza vd. (2018) yaptıkları bir çalışmada BHT, biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.)

uçucu yağı ve biberiye uçucu yağının moleküler distilasyon yoluyla elde edilen fraksiyonları kullanılarak ayçiçek yağının oksidatif stabilitesi araştırılmıştır. Bitkisel yağ; 0,1g/100 g biberiye uçucu yağı ve fraksiyonları ilave edilirken Arjantin Gıda Kodeksinin belirlemiş olduğu bitkisel yağlara eklenebilen maksimum limit olan 0,02 g/100g BHT ilave edilmiştir. Tüm yağ örnekleri test tüplerinde üzerleri hem açık hem de kapalı ve karanlık bir ortamda 23 °C’de muhafaza edilmiştir. Sonrasında analiz edilmek üzere 0, 5, 15, 26, 46, 65 ve 115. günlerde numuneler alınmıştır. Yapılan bu çalışma ile biberiye uçucu yağı fraksiyonlarının ayçiçek yağının raf ömrü kararlılığını geliştirmiş ve lipit oksidasyonunu geciktirdiği görülmüştür. Moleküler distilasyon yöntemiyle elde edilen biberiye kalıntı fraksiyonlarının biberiye uçucu yağı ve uçucu yağın distilat fraksiyonlarına göre daha düşük serbest radikal süpürme kapasitesine, düşük peroksit değerine ve daha güçlü antioksidan etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. Buna sebep olarak da oksijen içeren fraksiyonların fenolik içerikli fraksiyonlara göre daha etkili antioksidan özelliğinin olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Ruiz-Aracama vd. (2025) %10,97 karnozik asit ve karnozol içeren biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) ekstraktını (deodorize etanolik ekstrakt) ayçiçek yağına (karnozik asit ve karnozol oranı %0,005 ve 0,02 olacak şekilde) ilave ettikleri bir çalışma yapmışlardır. Biberiye ekstraktı içeren ayçiçek yağı ve kontrol (ekstrakt içermeyen) yağ örnekleri 170±5 °C’de ve günde 6 saatlik periyotlarla toplam polar bileşeni (TPC) %25’e (izin verilen yasal limit) ulaşana kadar fritözlerde kızartılmıştır. Hızlandırılmış depolama koşulları için ise her bir yağ örneğinden 10 g numune alınarak kristal petri kaplarında hava akımlı konvansiyonel fırında 70 °C’de yasal TPC limitine ulaşana kadar depolanmıştır. Fırına yerleştirilen petri kaplarının kapakları, içerisindeki yağ örnekleri daha çok havaya maruz kalabilsinler diye açık bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlar; biberiye ekstraktı ilavesinin ayçiçek yağının oksidatif stabilitesi üzerindeki etkisinin, yağın maruz kaldığı koşullara bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterdiğini belirtmiştir. Eklenen biberiye ekstraktının, kızartma koşullarında yağı korumadığı ancak hızlandırılmış depolama koşullarında özellikle en yüksek miktarda biberiye ekstraktı içeren ayçiçek yağı örneklerinde antioksidan etki gösterdiği görülmüştür.

Dıraman ve Hışıl (2009) yapmış oldukları çalışmada kurutulmuş kekik, biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) ve nane baharatları herhangi bir işleme tabi tutulmadan direkt

olarak natürel zeytinyağı, rafine fındık yağı ve bitkisel yağ karışımına ilave edilmiş ve 75 (± 5) °C'de 7 gün boyunca etüvde karanlıkta depolanmıştır. Baharatların antioksidatif etkisinin kullanılan yağın çeşidine göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Zeytinyağı için oksidatif stabiliteyi yükselten baharat biberiye ve nane olurken, rafine fındık yağında kekik ve biberiye, bitkisel yağ karışımında ise kekik baharatının etkin antioksidan özellik gösterdiği görülmüştür.

Maiza vd. (2020) maserasyon yöntemi ile ghee (Hindistan'a özgü sadeyağ) örneklerine %6 oranında kurutulmuş toz biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) ve karanfil (*Syzygium aromaticum*) yaprakları ekledikleri bir çalışmada, bu karışımları karanlıkta 60 °C'de ve 21 günlük depolamanın sonucunda filtre edip sonradan analiz edilmek üzere 4 °C'de sakladıktan sonra, ghee yağ örneklerinin oksidatif stabilitesini incelemişlerdir. Araştırmada elde edilen sonuçlara göre biberiye'nin karanfil yapraklarına kıyasla (arada çok fark olmamasına rağmen) peroksit değerini düşürdüğü bildirilmiştir.

Dias vd. (2014) taze biberiye'nin hidroetanolik ekstraktı ve freeze dryer teknolojisi kullanarak kurutulmuş biberiyeden elde ettikleri ekstraktların hızlandırılmış depolama koşullarında soya yağının antioksidan kapasitesini araştırmışlardır. Ayrıca bu iki yöntemle elde ettikleri ekstraktlara belirli oranlarda sentetik antioksidan olan TBHQ ile karışım oluşturmuş; doğal ekstraktların ve sentetik antioksidanın antioksidan aktiviteleri açısından sinerjik etkisinin olup olmadığını değerlendirmişlerdir. 60 °C sıcaklıktaki fırında 20 günlük bir depolamanın ardından hem taze biberiye hem de freeze dryer ile kurutulan biberiyeden elde edilen ekstraktın antioksidan etki gösterdiği, en yüksek antioksidan etkinin freeze dryer ile kurutulan biberiyeden elde edilen ekstraktta tespit edildiği bildirilmiştir. Ayrıca antioksidan etkinlik açısından TBHQ ve doğal ekstraktlar arasında herhangi bir sinerjik etkinin görülmediği sonucuna varılmıştır.

Casarotti ve Jorge (2012) yapmış oldukları çalışmada, liyofilize biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) ekstraktı ve yapay antioksidanlardan TBHQ eklenen soya yağı 180 °C'de 20 saat kadar ısıtılmıştır. Biberiye ekstraktının ve TBHQ'nın sinerjik etkisinin de araştırıldığı çalışmada biberiye ekstraktının oksidatif stabiliteyi geliştirdiği görülmüştür. TBHQ ile kıyaslanacak olursa, biberiye ekstraktının daha yüksek antioksidan etki gösterdiği ve soya

yağının oksidatif kararlılığını sağlaması yönünde herhangi bir sinerjik etki görülmediği bildirilmiştir.

Tabar ve Baştürk (2018) yaptıkları bir çalışmada; biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.), zencefil (*Zingiber officinale* Roscoe), yeşil çay (*Camelia sinensis*), ısırgan otu (*Urtica dioica* L.), okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis*), sumak (*Rhus coriaria* L.) ve sarımsak (*Allium sativum*) gibi 7 ayrı bitkiden elde edilen ekstraktların hızlandırılmış depolama koşullarında ayçiçek yağı üzerindeki antioksidan etkinliği araştırılmıştır. Bu amaçla, ekstrakt ilave edilmiş yağ örnekleri 25, 50 ve 75 °C'de 21 gün süreyle depolanmıştır. Yapay antioksidanlarla (BHT, tokoferol, askorbil palmitat) kıyaslandığında, biberiye, sumak ve ısırgan otu ekstraktlarının en iyi antioksidan etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Chen vd. (2014) etanolik biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) ekstraktı ekledikleri Ayçiçek yağını 60 °C'de 3 hafta süreyle depolamış ve belirli periyotlarla yaptıkları peroksit, TBA, serbest asitlik ve *p*-anisidin analizleri ile birlikte sentetik antioksidanlar (TBHQ, BHT, BHA) ve biberiye ekstraktının antioksidan etkilerini araştırmışlardır. 3 haftalık depolamanın ardından 200 mg/kg⁻¹ biberiye ekstraktı içeren bitkisel yağ kontrol numunesine göre daha düşük peroksit (75,7±0,47 meq kg⁻¹), TBA (0,161±0,002 µg ml⁻¹), serbest asitlik (0,45±0,05 mg g⁻¹) ve *p*-anisidin (12,4±0,02) değerine sahip olmuştur. 200 ppm BHA, BHT ve TBHQ içeren bitkisel yağda ise sırasıyla peroksit (204±0,68; 159±0,55; 20±0,49 meq kg⁻¹), TBA (0,171±0,002; 0,184±0,002; 0,069±0,001 µg ml⁻¹), serbest asitlik (0,34±0,03; 0,46±0,03; 0,2±0,01 mg g⁻¹) ve *p*-anisidin (14,7±0,03; 16,5±0,04; 6,77±0,01) bulunmuştur. Bu sonuçlar biberiye ekstraktının neredeyse BHA ve BHT kadar güçlü antioksidan özellik gösterdiğinin kanıtı olmuştur.

İnek sütü kreması ile elde edilen ghee örneklerine %0,1 ile 0,25 ve 0,5 oranlarında biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) ekstraktının eklendiği bir çalışmada, ghee örnekleri hem 37±1 ve 60±1 °C'de depolanmış hem de 180 °C'de 60 dakika boyunca kızartma işlemine tabi tutulmuştur. Karşılaştırma yapmak amacıyla, kontrol ghee örneklerine %0,02 BHA ilave edilmiştir. 130 °C'de yapılan ransimat analizlerinde kontrol örneğinin indüksiyon süresi 1.71 saat olurken, biberiye ekstraktı (%0,1) ve BHA eklenen örneklerde bu süre sırasıyla 4,41; 4,36 saat olmuştur. SF (stabilizasyon faktörü) ise biberiye ekstraktlı örnekler

için 2,58 iken BHA içeren örnekler için 2,55 olarak hesaplanmıştır. 37 °C’de kontrol grubu, BHA ve biberiye ekstraktı içeren ghee örnekleri için raf ömrü sırasıyla 45, 90, 210 gün olurken, 60 °C’de bu değerler 4, 12 ve 36 gün olarak değerlendirilmiştir. 180 °C’de 60 dakika kızartılan ghee örneklerinden 15 dakikada bir örnekler alınıp peroksit değerlerine bakılmıştır. İlk 15 dakikada peroksit değerleri kontrol, BHA, biberiye içeren örnekler için sırasıyla $8,10 \pm 1,68$; $4,43 \pm 0,19$; $4,21 \pm 0,14$ mM O₂/kg yağ olurken, 60 dakika sonunda ise $15,27 \pm 0,49$; $14,31 \pm 0,29$; $8,65 \pm 0,21$ mM O₂/kg yağ olmuştur. Yapılan çalışmanın sonucunda; biberiye ekstraktının ghee sadeyağının termal stabilitesini geliştirdiği ve oksidasyonu geciktirdiği için doğal antioksidan olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (Rahila vd., 2017).

Al-Dalain vd. (2011) rezene, biberiye ve zencefilden distilasyon yoluyla elde ettikleri uçucu yağları ayçiçek yağına ilave edip hem oda koşullarında gün ışığında depolama yaparak hem de 180 ± 5 °C’de belirli aralıklarla 18 saat süre boyunca ısıtmışlardır. 200 ppm BHT ve 400 ppm uçucu yağ kullandıkları ayçiçek yağının (taze rafine edilmiş, ağartılmış, deodorize edilmiş ve sentetik antioksidan içermeyen) oksidatif stabilitesini araştırmak için 8 hafta boyunca depolama yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda uçucu yağların; lipit oksidasyonu belirtileri olan birincil ve ikincil ürünlerin oluşumunu engelleyerek ayçiçek yağının hem depolama süresince hem de ısıtma boyunca oksidasyondan korunduğunu tespit etmişlerdir. Söz konusu bitkilerden elde edilen uçucu yağların, ürünlerin raf ömrüne katkı sağlayacağı için doğal antioksidan kaynağı olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Najgebauer-Lejko vd. (2009) pastörize edilmiş ekşi kremadan elde edilen tereyağına antioksidan etkinliğini araştırmak üzere %2 kurutulmuş biberiye ve adaçayı ilave etmiş ve 5 ay boyunca 4 °C’de depolama yapmışlardır. Araştırmada belirli periyotlarla tereyağı örneklerinde pH, iyot sayısı, peroksit, TBA ve serbest yağ asitliği analizleri yapılmıştır. Genel olarak bitkilerin eklendiği tereyağlarında pH, peroksit ve yağ asitliği yükselmiş, ancak TBA testi için reaksiyona uğrayacak madde seviyesi düşmüştür. Özellikle adaçayı eklenen tereyağının yüksek pH değerine sahip olması, adaçayı bitkisinin laktik asit bakterilerine karşı inhibisyon etkisi gösterdiğini belirtmişlerdir. Yağın lipoliz derecesi hakkında bilgi veren serbest yağ asitliğine bakıldığında ise kontrol grubu ve biberiye ilaveli tereyağında çok fazla

dalgalanma olmazken adaçayı ilaveli tereyağında bu stabilitenin sağlanamadığı görülmüştür. Peroksit değerinde ise sadece biberiye içeren tereyağında depolamanın ilk ayında belirgin bir artış olmamakla birlikte bitki ilavesinin 4 °C’de depolamada tereyağını oksidasyona karşı koruyamadığı tespit edilmiştir. Kurutulmuş bitki ilavesi yerine, bu bitkilerden elde edilen ekstrakt veya uçucu yağlarının, yüksek ve yoğun antioksidan bileşen içermesi nedeniyle, depolama stabilitesini sağlamak amacıyla daha tercih edilebilir seçenekler olduğu belirtilmiştir.

İnanç ve Maskan (2013) mısır yağının kızartma sıcaklıklarındaki (150-180 °C) oksidatif stabilitesini incelemek amacıyla 7 ayrı bitkiden (biberiye, karanfil, zencefil, adaçayı, kekik (%80 karvakrol ile zenginleştirilmiş), zerdeçal, dağ kekiği/mercanköşk) elde edilen uçucu yağları ve 60-350 ppm aralığında BHT kullanmışlardır. Uçucu yağlar ise 1500 ile 5000 ppm arasındaki konsantrasyonlarda seçilmiştir. Değerlendirme yapmak amacıyla 200 ppm BHT, 2000 ppm uçucu yağ kullanılan mısır yağı örnekleri ve 150 °C ile 180 °C kızartma sıcaklıkları referans alınmıştır. %80 karvakrol içeren dağ kekiği ve mercanköşk uçucu yağının mısır yağının indüksiyon süresini önemli derecede arttırdığı, ancak diğer uçucu yağların mısır yağının aynı kızartma sıcaklıklarında indüksiyon süresi üzerinde bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu durum uçucu yağın mısır yağı içerisindeki konsantrasyonuna, uçucu yağın aktif bileşen içeriği ve konsantrasyonuna ve uçucu yağların yüksek sıcaklıkta düşük antioksidan etki göstermelerine bağlamışlardır. %80 karvakrol içeren dağ kekiği ve mercanköşk uçucu yağının BHT ve biberiye uçucu yağından daha etkili antioksidan olduğunu ve BHT yerine alternatif olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Yang vd. (2016) soya yağı, pirinç yağı ve pamuk yağının oksidatif stabilitesini incelemek amacıyla %70 karnozik asit içeren 400 ppm biberiye ekstraktı ve 200 ppm (%50 BHT, %50 BHA) yapay antioksidanlarını söz konusu üç çeşit bitkisel yağa ekleyerek bir çalışma yapmışlardır. 120 °C’de yapılan rancimat analizinde kontrol yağ örneklerinden pirinç yağı, soya yağı ve pamuk yağlarının indüksiyon süreleri sırasıyla 3,83 saat; 2,2 saat ve 1,88 saat olarak ölçülmüştür. Biberiye ekstraktı eklenen örneklerin indüksiyon süresi ise sırasıyla 6,22 saat; 3,4 saat ve 3,35 saat olarak ölçülürken, BHA ve BHT karışımı içeren yağ örneklerinin indüksiyon süreleri de 4,79 saat; 2,9 saat ve 2,84 saat olarak ölçülmüştür.

Peroksit analizi için yapılan 24 günlük bir depolama boyunca pamuk yağı kontrol örnekleri hariç, diğer yağların kontrol örneklerinde peroksit değeri sürekli artmıştır. Depolama süresi sonunda BHT ve BHA ile kıyaslanacak olursa, en düşük peroksit değeri biberiye ekstraktı içeren yağ örneklerinde gözlenmiştir. Yapılan analizlerde yüksek indüksiyon süresi ve düşük peroksit değeri ile biberiye ekstraktının en etkili doğal antioksidan olduğu değerlendirilmiştir.

Tohma ve Turan (2015) kızartma sıcaklığındaki (180 °C) fındık yağının oksidatif kararlılığını araştırmak amacıyla fındık yağına farklı oranlarda (10 g/kg ve 50 g/kg) kurutulmuş biberiye bitkisi, etanolik/metanolik biberiye ekstraktı (1000 ppm) ve biberiye uçucu yağı (1000 ppm) eklemiştir. Kızartma işlemi için fritözdeki biberiye katkılı fındık yağı sıcaklığı 180 °C'ye ulaştıktan 30 dakika sonra dondurulmuş parmak patatesler 3 dakika boyunca kızartılmıştır. Her kızartma işleminden sonra yağ 180 °C'ye kadar ısıtılmış ve 30 dakika arayla yeni bir kızartma işlemi yapılmıştır. 6 gün boyunca toplam 60 kızartma işlemi yapılmış ve her günün sonunda da kızartma yağı 60 °C'ye kadar soğutulmuş sonradan analiz edilmek üzere amber şişede -18 °C'de tutulmuştur. Yapılan analizlerde biberiye katkılı tüm fındık yağı örnekleri kontrol örneğine göre daha düşük konjuge dien (CD), *p*-anisidin değerlerine ve polar madde içeriğine sahip olmuştur. Kızartma işlemi sırasında oksidatif kararlılığı en çok destekleyen içerik 50 g/kg oranında fındık yağına eklenen kuru biberiye bitkisi ve sonrasında biberiye ekstraktının bunu takip ettiği görülmüştür.

Gamez Meza vd. (2009) Thompson cinsi üzüm posasından elde ettikleri ekstraktı, biberiye ekstraktı ve tokoferol karışımı (α -, β -, γ - ve δ -tokoferol: %9,1; 1,4; 40,6; 18,9) antioksidanları kullanarak 702 ppm tokoferol (α -, γ - ve δ -tokoferol: %8,8; 72; 18,3) içeren rafine soya yağının depolama stabilitesini ve ekstraktlar ile antioksidan-sitrik asit arasındaki sinerjik etkisini araştırmışlardır. Ekstraktların antioksidan aktiviteleri incelendiğinde en yüksek antioksidan kapasite biberiye ekstraktında gözlenmiştir. Buna karşılık toplam fenolik madde miktarı analizinde, üzüm posası ekstraktı ile biberiye ekstraktının toplam fenolik bileşen miktarı birbirine yakın değerler çıkmıştır. Biberiyeden sonra üzüm posası ekstraktı ve tokoferol karışımı gelmektedir. Ayrıca sitrik asit ile üzüm posası ekstraktının tüm konsantrasyonları ve %0,02 (w/w) tokoferol konsantrasyonu hariç diğer tokoferol içerikleri arasında herhangi bir sinerjik etki görülmemiştir. %2 konsantrasyonlu sitrik asit içeriği ile

biberiye ekstraktının tüm konsantrasyonları arasında sinerjik etki görülmüştür.

Urbancicvd. (2014) kızartma sıcaklığında ayçiçek yağının kararlılığını analiz etmek ve kızartma işlemi boyunca patates kızartmasında akrilamid oluşumunu azaltmak amacıyla biberiye ekstraktı, BHA, TBHQ ve tokoferollerini kullanarak bir çalışma yapmışlardır. 1000 ppm biberiye ekstraktı, 1000 ppm tokoferol ve 200 ppm TBHQ ve BHA eklenen yağlar 180 °C'ye kadar ısıtıldıktan sonra 250 gram patates bu yağlarda 5 dakika boyunca kızartılmıştır. Kızartma işlemi toplam polar madde yasal limitine yaklaşıncaya kadar yani toplam 20 defa kızartma işlemi yapılmış ve her kızartma sonrası yağ soğutulduktan sonra örnekler alınıp analiz edilmiştir. Yapılan toplam polar içeriği, serbest yağ asitliği, konjuge dien/trien analizleri ve akrilamid oluşumu açısından en düşük analiz değerleri biberiye ekstraktı içeren ayçiçek yağında tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek antioksidan etkiyi biberiye ekstraktı göstermiş ve onu takiben tokoferol, TBHQ ve BHA takip etmiştir.

Hraš vd. (2000) biberiye ekstraktı, α -tokoferol, askorbil palmitat ve sitrik asit doğal antioksidanların 60 °C'de 11 gün boyunca depolanan ayçiçek yağı üzerindeki antioksidan etkisini araştırmak amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışma aynı zamanda biberiye ekstraktının diğer antioksidanlarla olan sinerjik etkisini de kapsamaktadır. Yapılan peroksit ve *p*-anisidin analizlerine göre biberiye ekstraktı diğer antioksidanlarla kıyaslandığında tek başına en etkili antioksidan olurken, α -tokoferol prooksidatif özellik göstermiştir. En güçlü sinerjik etki biberiye ekstraktı ve askorbil palmitat karışımı ile sağlanmış hatta biberiye ekstraktı tek başına kullanıldığında ölçülen indüksiyon süresi 128 saat iken biberiye ekstraktı ve askorbil palmitat karışımı bu süreyi 330 saatin üzerine çıkarmıştır. En zayıf sinerjik etki ise biberiye ekstraktı ile sitrik asit karışımı arasında olmuştur. Biberiye ekstraktı ile α -tokoferol arasında negatif yönde bir sinerjik etki gerçekleşmiştir. Tüm antioksidan grupları incelendiğinde antioksidan etkinlik sırasıyla biberiye+askorbil palmitat> biberiye+sitrik asit>biberiye>askorbil palmitat>biberiye+ α -tokoferol>sitrik asit> α -tokoferol şeklinde analiz edilmiştir.

Guo vd. (2016) biberiye etanolik ekstraktının hem kızartma sıcaklığında (180 °C, 25 saat) hem de hızlandırılmış depolama (65 °C, 6 gün) sıcaklığında palm yağı üzerindeki antioksidan etkinliğini incelemişlerdir. Kızartma işlemi için yağ öncelikle 180±5 °C

sıcaklığa kadar ısıtılmış ardından 5 dakika süre ile patatesler kızartılmıştır. Her kızartma işlemi sonrası yağ tekrar 180 ± 5 °C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Bu şekilde 5 gün boyunca toplam 25 saatlik kızartma işlemi yapılmıştır. Hızlandırılmış koşullar için ise 65 °C de etüvde (Schaal Oven Test) depolama yapılmıştır. Sonuçlar ayrıca yapay antioksidan olan BHA, TBHQ ve çay polifenoller (TP) ile kıyaslanmıştır. Belirli oranlarda doğal ve yapay antioksidanların eklendiği palm yağında peroksit, serbest asitlik ve *p*-anisidin analizleri yapılmıştır. Biberiye ekstraktının en güçlü antioksidan etki gösterdiği miktar kızartma sıcaklığında 0,12 g/kg oranında iken hızlandırılmış depolama koşullarında bu optimum miktar 0,7 g/kg oranında olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular biberiye ekstraktının yağ örneklerinin peroksit, serbest asitlik ve *p*-anisidin değerlerini düşürdüğü ve yağın oksidasyonunu geciktirdiği için yapay antioksidanlara alternatif olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Moczowska vd. (2020) etanol, metanol, aseton, etil asetat çözücülerini kullanarak elde ettikleri biberiye ekstraktlarının kenavar tohumu yağı üzerindeki kalite ve depolama stabilitesi üzerindeki etkinliğini çalışmışlardır. Antioksidan içeren kenavar tohumu yağ örneklerini Schaal oven teste tabi tutarak 60 °C’de 14 gün boyunca depolama yapmış ve karşılaştırma amacıyla da sentetik antioksidanlardan BHT kullanmışlardır. Antioksidanlar yağa 20 g/100 g yağ olacak şekilde eklenmiştir. Yapılan çalışma ile biberiye bitkisinin antioksidan kapasitesinin kullanılan çözücü ile değişkenlik göstermiş; en yüksek antioksidan aktivite, yüksek fenolik bileşen içeriği, en güçlü serbest radikal süpürme (ABTS ve DPPH) özelliği biberiyenin metanol ekstraktında tespit edilmiştir. Bu değerler biberiyenin etanol ve aseton ekstraktlarında birbirine yakinken, en düşük antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde içeriği ile en düşük serbest radikal süpürme aktivitesi (ABTS ve DPPH) ise etil asetat ekstraktı içeren yağ örneğinde görülmüştür. 14 günlük depolamanın sonunda en düşük *p*-anisidin (AV) ve peroksit değeri BHT içeren yağ örneklerinde görülürken, BHT den sonra en düşük peroksit değeri aseton ekstraktında; en düşük *p*-anisidin (AV) değeri de etil asetat ekstraktında görülmüştür. TBA analizinde ise en düşük değer metanol ve aseton ekstraktı içeren yağ örneklerinde görülmüştür. Oksidasyonun önlenmesinde en başarısız çözücünün etanol olduğu tespit edilmiştir.

Bañares vd. (2019) hidroksitirozol (HT) ve biberiye ekstraktının engerek otu yağı üzerindeki antioksidan etkisini araştırmak amacıyla 50 °C ve 110 °C aralığındaki sıcaklıkta ransimat cihazı ve DSC ile hızlandırılmış oksidasyona tabi tutmuşlardır. Sonrasında toplam polar madde, *p*-anisidin ve peroksit analizleri yapmışlardır. HT ve biberiye ekstraktı engerek otu yağına 200 ppm oranında eklenmiş ve 2000 ppm seviyelerine kadar çalışmaya devam etmişlerdir. Engerek otu yağına eklenen antioksidan oranı arttıkça indüksiyon süresinin de arttığı görülmüştür. Düşük sıcaklıklarda biberiye ekstraktı oksidasyonu geciktirmede daha etkili iken, yüksek sıcaklıklarda (>70 °C) HT antioksidanının oksidasyon üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür. Yüksek konsantrasyonlarda her iki antioksidanın da engerek otu yağının oksidatif stabilitesini arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Li vd. (2021) rafine soya yağının oksidasyon stabilitesini incelemek amacıyla biberiye bazlı antioksidanlar (rozmarinik asit (RA), biberiye etanolik ekstraktı (RE) ve karnozik asit (CA)) ile sentetik antioksidanlardan TBHQ 0,2 g/kg oranında kullanmışlardır. 180±5 °C sıcaklığa kadar ısıtılan rafine soya yağında donuk parmak patatesler 3 dakika boyunca kızartılmış; bu şekilde 5 gün boyunca günde 20 defa kızartma işlemi yapılmıştır. Günün sonunda kızartma yağından örnekler alınarak 4 °C’de *p*-anisidin, peroksit, serbest asitlik, konjuge dien/trien ve toplam polar madde değerlerine bakılmıştır. Yapılan analizler biberiye bazlı antioksidanların yapay antioksidana kıyasla daha kararlı bir performans göstererek yağın oksidatif bozulmasını daha etkin bir şekilde geciktirdiği gözlenmiştir. Antioksidan etkinlik sırası rozmarinik asit>biberiye ekstraktı>karnozik asit>TBHQ şeklinde olmuştur. Uzun süreli kızartma işlemlerinde biberiye bazlı antioksidanların oksidasyona karşı daha kararlı bir koruma sağladığı belirtilmiştir.

Guo vd. (2023) biberiye ekstraktının rafine kolza yağının (kanola) depolama süresi boyunca oksidatif stabilitesi üzerindeki etkisini ve sentetik antioksidan kadar etkili olabilecek optimum ekstrakt oranını araştırmışlardır. Depolama koşulları olarak kanola yağına belirli oranlarda antioksidan eklendikten sonra oda sıcaklığında üzeri açık ambalajda 6 ay; Schaal fırın testi ile 65±1 °C ve 20 gün olarak belirtilmiştir. Daha sonrasında OSI, peroksit, *p*-anisidin gibi analizleri yapmak amacıyla depolama sırasında belirli periyotlarla yağ örneklerinden numuneler alınıp 4 °C’de depolanmıştır. Peroksit analizi sonuçlarına göre

kanola yağına eklenen antioksidan miktarı arttıkça depolama boyunca oksidatif stabilitenin de arttığı görülmüştür. Oksidasyon kararlılığını arttırmada 100 ppm biberiye ekstraktı, 50 ppm TBHQ antioksidanı ile eşdeğer etkiye sahip olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca oda koşullarında depolama için kanola yağına ilave edilmesi gereken optimum biberiye ekstraktı miktarı 50-200 ppm; Schaal fırın testi koşullarında ise 150 ppm olmuştur. Düşük konsantrasyonlarda (50 ppm) kullanılan biberiye ve TBHQ antioksidanlarından uzun süreli depolama işlemlerinde biberiye ekstraktının TBHQ antioksidanına kıyasla daha güçlü etki gösterdiği belirtilmiştir. Aynı depolama koşullarında biberiye ekstraktı ve TBHQ kanola yağının *p*-anisidin değerini azaltmakla birlikte daha yüksek sıcaklıklarda ve uzun süreli depolamalarda TBHQ antioksidanın yapısı bozulduğundan biberiye ekstraktı daha aktif koruma sağlamıştır. Yapılan analizlerden elde edilen bulgulara göre biberiye ekstraktı kanola yağının raf ömrünü uzatmakla kalmamış, aynı zamanda kanola yağında bulunan tokoferollerini de koruyarak yağın besin değerine de katkı sağlamıştır.

Gashi vd. (2020) antioksidan içermeyen ayçiçek yağının termal stabilitesini incelemek amacıyla buhar distilasyonu yoluyla elde ettikleri biberiye ekstraktını %0,1 oranında ayçiçek yağına ekledikten sonra 8 saat boyunca yanma noktasında ısıtmış ve oda sıcaklığında 16 saat soğumaya bırakmışlardır. 3 döngü halinde gerçekleşen bu işlemler sırasında yağın oksidasyon seviyesini ölçmek amacıyla peroksit, serbest asitlik ve konjuge dien/trien gibi parametrelerinin yanında yoğunluk, viskozite ve FTIR çalışmışlardır. Yağların ısıtılması sırasında gerçekleşen reaksiyonların oluşturduğu ürünler yağın yoğunluğunu ve viskozitesini değiştirdiği; kontrol grubu örneklerine oranla, biberiye ekstraktı içeren yağ örneklerinin daha düşük yoğunluk gösterdiği; ilk ısıtma döngüsünde viskozite düşerken ikinci ve üçüncü ısıtma döngüsünde artış gösterdiği tespit edilmiştir. Kontrol grubu yağ örneklerinde yoğunluk oranı hızlıca azalırken, biberiye ekstraktı içeren örneklerde bu azalmanın daha yavaş olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmanın sonucunda biberiye ekstraktının yağın yapısal bütünlüğünü koruduğu ve yağın bozulmasını geciktirdiği belirlenmiştir.

Ergün (2025) yapmış olduğu bir çalışmada, farklı yöntemlerle kurutmuş olduğu zahter bitkisi fenolik ekstraktı (dondurularak kurutulan zahterin %70 ethanol ekstraktı) ve yapay antioksidan BHT'nin Şanlıurfa sadeyağının antioksidan kapasitesine etkisini araştırmıştır.

Bu amaçla, 75 ppm seviyelerinde zahter ekstraktı ve yapay antioksidan ilaveli sadeyağ örnekleri 60, 70 ve 80 °C’de sırasıyla 120, 90 ve 60 gün boyunca depolanmıştır. Belirli aralıklarla örneklerde peroksit değeri, serbest yağ asitliği, *p*-anisidin analizleri yapılmıştır. Elde edilen bulgular zahter fenolik ekstraktının doğal antioksidan olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

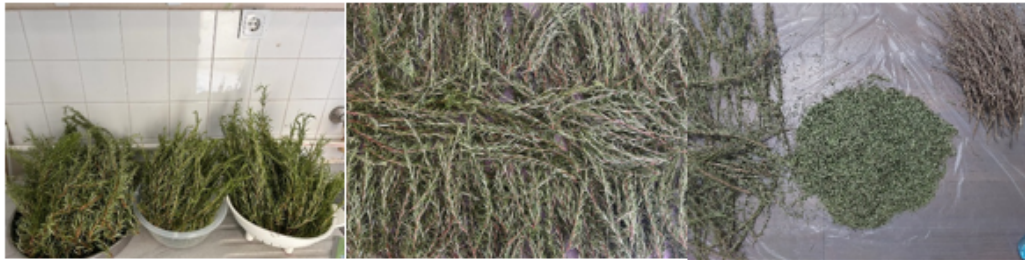
3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Gereç

Biberiye uçucu yağının elde edilmesinde kullanılan biberiye bitkisi (*Rosmarinus officinalis* L.), Prof. Dr. Abdullah KAHRİMAN tarafından Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanında (koordinat bilgisi 37,16970° K, 39,00247° D) yetiştirilen üründen tedarik edilmiş; Şanlıurfa sadeyağı ise Korkmaz Süt Besi Gıda Nakliye Sanayi Ticaret Limited Şti. (Şanlıurfa) şirketinden temin edilmiştir. Analizlerde kullanılan yapay antioksidan α -tokoferol ve etanol, glasiyel asetik asit, izooktan, kloroform ve metanol Sigma Aldrich (Almanya) firmasından tedarik edilmiştir.

3.2. Yöntem

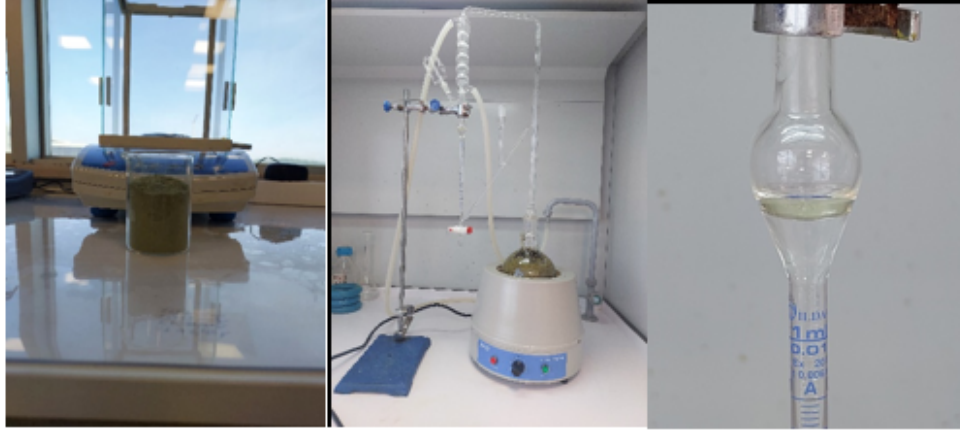
Biberiye bitkisi Haziran-Temmuz aylarında uygun bir makas yardımıyla hasat edildikten sonra toz, toprak ve yabancı maddelerden arındırmak amacıyla ayıklanıp çeşme suyu ile yıkanmıştır. Yıkanan biberiye bitkileri bekletilmeden ince bir tabaka halinde sapları ile birlikte Şekil 3.1’de olduğu gibi gölgede ve oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Kurutma işleminden sonra biberiye bitkisinin yaprakları sap kısmından el yardımıyla tamamen ayrılmıştır. Kurutulmuş biberiye yaprakları öğütülüp ekstraksiyon işlemine tabi tutulmak üzere 4 °C’de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.1. Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) görselleri

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ekstraksiyon işlemine başlamadan önce biberiyeler öğütücüde öğütülmüştür. Öğütülen biberiyeden 60 g örnek alınarak Clevenger distilasyon aparatı ile 700-800 mL ultra saf su kullanılarak hidrodistilasyon metoduyla uçucu yağ

ekstraksiyonu yapılmış ve 3 saat süren ekstraksiyon sonucunda iki faz halinde ayrılan saf su ve uçucu yağ karışımları birbirinden ayrılmıştır. Bu şekilde elde edilen biberiye uçucu yağı (BY) amber cam şişede biriktirilerek analizlerde ve üretimde kullanılabilecek kadar buzdolabında 4 °C’de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.2. Biberiye uçucu yağının elde edilmesi

Literatür bilgileri ışığında sadece örneklerinde 75 ppm seviyesinde α - tokoferol (E307) kullanılmasına karar verilmiştir. İşletmeden temin edilen Şanlıurfa sadece ısıtıcı (Tekon OC14) kullanılarak benmaride 65 °C’de tamamen eritilmiş ve 4 eşit kısma ayrılmıştır. 1.kısım sadece 75 ppm α - tokoferol (pozitif kontrol), 2., 3. ve 4.kısım sadece farklı oranlarda (75, 150 ve 300 ppm) BY eklenmiş ve son kısım ise negatif kontrol (antioksidan içermeyen örnek) olarak kullanılmıştır. Sadece antioksidan madde eklenmesinin ardından antioksidanın sadece içerisinde homojen olarak dağılması için iyice karıştırılmış analiz edilene kadar cam ambalajda dondurucuda (-22 °C) depolanmıştır (Çizelge 3.1). Bu işlemlerden sonra Ransimat cihazı kullanılarak tüm sadece örneklerinin 110, 120 ve 130 °C’de indüksiyon süreleri tespit edilmiştir. İndüksiyon süreleri kullanılarak sadece yaklaşık raf ömrü tespit edilmiştir.

Çizelge 3.1. İkinci aşamaya ilişkin sadeyağ üretiminin deneysel tasarımı

Antioksidan	Konsantrasyon (mg/kg)	Ürün adı
-	-	Kontrol
α -tokoferol (α T)	75	α T-S
BY	75	75 BYS
	150	150 BYS
	300	300 BYS

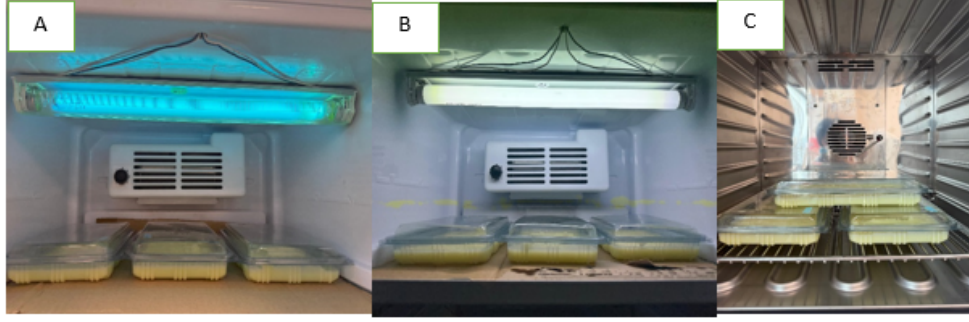
BY: Biberiye uçucu yağı; 75 BYS: 75 mg/kg biberiye uçucu yağı eklenen Şanlıurfa sadeyağı, 150 BYS: 150 mg/kg biberiye uçucu yağı eklenen Şanlıurfa sadeyağı, 300 BYS: 300 mg/kg biberiye uçucu yağı eklenen Şanlıurfa sadeyağı, α T-S: 75 mg/kg α -tokoferol eklenen Şanlıurfa sadeyağı

İkinci aşamada, yaklaşık en uzun raf ömrü içeren örneğin 75 ppm BY katkılı sadeyağ örneğinin olması nedeniyle, üçüncü aşamada 75 ppm BY içeren Şanlıurfa sadeyağı örnekleri (BYS) hazırlanmıştır. Karşılaştırma yapabilmek için herhangi bir antioksidan içermeyen kontrol sadeyağ örnekleri ile 75 ppm α -tokoferol ilaveli sadeyağ numuneleri (α T-S) de üretilmiştir (Çizelge 3.2). Hazırlanan numuneler saydam (termoform PET) ambalajda karanlıkta (25 °C, etüv), floresan (25 °C) ve UV-C ışık (25 °C) altında 20 gün boyunca depolanmış ve 4 günlük periyotlarda planlanan analizler yapılmıştır. Sadeyağın depolanmasında 15 W ışık şiddetinde olan UV-C (Ledvance, 15W G13) ve floresan (Osram Lumilix, 15W/865) lamba kullanılmış, sadeyağ örnekleri ile ışık kaynakları arasında 15 cm mesafe olacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.3).

Çizelge 3.2. Üçüncü aşamaya ilişkin sadeyağ üretiminin deneysel tasarımı

Antioksidan	Konsantrasyon (mg/kg)	Ürün adı
-	-	Kontrol
α -tokoferol (α T)	75	α T-S
BY	75	75 BYS
	150	150 BYS
	300	300 BYS

BY: Biberiye uçucu yağı; 75 BYS: 75 mg/kg biberiye uçucu yağı eklenen Şanlıurfa sadeyağı, 150 BYS: 150 mg/kg biberiye uçucu yağı eklenen Şanlıurfa sadeyağı, 300 BYS: 300 mg/kg biberiye uçucu yağı eklenen Şanlıurfa sadeyağı, α T-S: 75 mg/kg α -tokoferol eklenen Şanlıurfa sadeyağı



A: UV ortamda depolama, B: Floresan ışıktaki depolama, C: Karanlıkta depolama

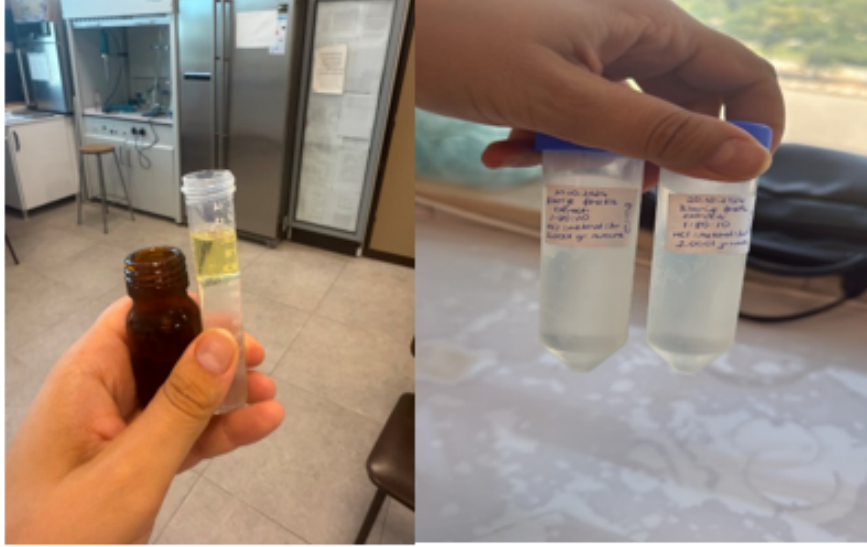
Şekil 3.3. Sadeyağ örneklerinin farklı ortamlarda depolanmasına ait görseller

Çalışmanın bu kısmında Şanlıurfa sadeyağının oksidatif stabilitesinin değerlendirilebilmesi amacıyla herhangi bir antioksidan içermeyen kontrol örneği ile 75 mg/kg oranında biberiye uçucu yağı (BY) ve 75 mg/kg oranında α - tokoferol içeren sadeyağ örnekleri üretilmiş ve 25 $^{\circ}$ C’de farklı ışık kaynağında (karanlık, UV ve floresan ışık) altında 20 gün süreyle depolanmıştır. Depolamanın 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16 ve 20. günlerinde numuneler alınarak serbest yağ asitliği, peroksit değeri ve *p*-anisidin değerleri ile renk değerleri ölçülmüştür.

3.2.1. Biberiye uçucu yağında yapılan analizler

3.2.1.1. Biberiye uçucu yağından fenolik ekstrakt eldesi

Biberiye uçucu yağının fenolik ekstraktı, Vitali vd. (2009) tarafından geliştirilen metot modifiye edilerek elde edilmiştir. Buna göre 2 g uçucu yağ örneği 20 mL HCl:metanol:su (1:80:10; v:v:v) karışımı ile 2 saat boyunca 20 $^{\circ}$ C’de manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Sonrasında karışım tüplere eklenerek 4 $^{\circ}$ C’de 4000 rpm devirde 10 dakika boyunca santrifüjlenerek süpernatant kısmı ayrıldıktan sonra analiz edilmek üzere 4 $^{\circ}$ C’de muhafaza edilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Biberiye uçucu yağından fenolik ekstrakt eldesine ilişkin görseller

3.2.1.2. Toplam fenolik madde miktarı tayini

Toplam fenolik madde analizi Singleton ve Rossi (1965) metodu ve Folin-Ciocalteu yöntemi baz alınarak yapılmıştır. Belirli oranlarda seyreltilen 0,3 mL örnek ekstraktı deney tüpüne alınmıştır. 1:10 oranındaki seyreltik Folin-Ciocalteu çözeltisinden 1,5 mL ve % 7,5'lik Na_2CO_3 çözeltisinden de 1,2 mL ilave edildikten sonra vortekslenip 2 saat boyunca karanlıkta bekletilmiştir. Kör(referans) için ise ekstraksiyon işleminde kullanılan solventten 0,3 mL kullanılmıştır. Karanlıkta bekletme işleminden sonra tüm örnekler 765 nm dalga boyunda spektrofotometrik okuma yapılmıştır. Sonuçlar kurutulmuş numunenin gramı başına mg gallik asit eşdeğeri (mg GAE/g) olarak ifade edilmiştir.

3.2.1.3. Antioksidan kapasite tayini

Antioksidan kapasite, DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) radikali indirgeme metoduyla ve küçük modifikasyonlarla birlikte Alruwaih ve Yaylayan (2017) tarafından kullanılan metot ile analiz edilmiştir. Buna göre belirli miktardaki fenolik ekstrakt üzerine 3,9 mL DPPH (0,1 mM) eklendikten sonra iyice karıştırılmış ve 40 dakika boyunca karanlıkta bekletildikten sonra 515 nm'de spektrofotometrede okumalar yapılmıştır. Kontrol örneği için sadece ekstraktla aynı miktarda etanol (%70) kullanılmış ve geriye kalan diğer adımlar aynı yolla devam etmiştir. Elde edilen sonuç % inhibisyon ve μmol Troloks/g olarak ifade

edilmiştir (Eşitlik 1).

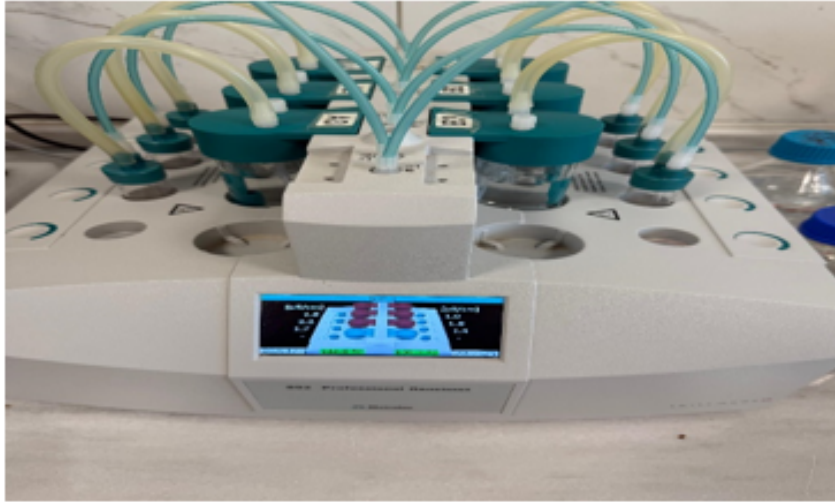
$$inhibisyon (\%) = \left(\frac{Abs_k - Abs_f}{Abs_k} \right) \times 100 \quad (1)$$

Abs_k: Kontrol numunesinin absorbans değeri Abs_f: Fenolik ekstraktın absorbans değeri

3.2.2. Şanhurfa sadeyağında yapılan analizler

3.2.2.1. İndüksiyon süresi ve raf ömrü hesaplaması

İndüksiyon periyodu Şekil 3.5’de görüldüğü gibi Rancimat cihazı (Metrohm, 892 Professional Rancimat) yardımıyla hesaplanmıştır. Ortalama 3,2 g yağ örneği cihazın reaksiyon tüplerine tartıldıktan sonra cihazın ölçüm kaplarına 60 mL saf su eklenmiş, üç farklı sıcaklıkta (110, 120 ve 130 °C) ve hava akışı 20 L/saat olacak şekilde indüksiyon analizi için Ransimat cihazı çalıştırılmıştır. İndüksiyon süresinin değerlendirilmesinde duyarlılık için varsayılan değer 1 µS/cm’dir. Örneklerin 3 farklı sıcaklıkta (110, 120 ve 130 °C) ölçülen indüksiyon süresi değerlerinin doğal logaritması, sıcaklığa karşı grafiğe aktarılarak ekstrapolasyon yöntemiyle oda sıcaklığındaki (25 °C) tahmini raf ömrü hesaplanmıştır (Farhoosh, 2007).



Şekil 3.5. Rancimat analizi

3.2.2.2. Serbest yağ asitliği değeri

AOCS (2017) tarafından belirlenen yöntemle serbest yağ asitliği analizleri yapılmıştır. Bu işlem için sadeyağ örneğinden 2,5 g tartılıp üzerine 25 mL etanol eklendikten sonra manyetik ısıtıcıda yağ tamamen eriyene kadar kaynatılmıştır. Kaynatma işleminden sonra ısıtıcıdan alınan karışımın üzerine birkaç damla %1'lik (m/v) fenolfitalein indikatörü damlatılmış ve 0,1 N NaOH ile çözeltinin rengi açık pembe olana kadar titre edilmiştir (Şekil 3.6). Titrasyon boyunca harcanan 0,1 N NaOH çözeltisinin miktarı not edilerek serbest yağ asitliği değeri % oleik asit olarak hesaplanmıştır (Eşitlik 2).

$$\text{Serbestyağasitliği (\%oleikasit)} = \left(\frac{2.82xV}{m} \right) \quad (2)$$

V: Harcanan 0.1 N NaOH çözeltisi miktarı(mL); m: Yağ örneğinin miktarı(g)



Şekil 3.6. Serbest asitlik değeri analizi

3.2.2.3. Peroksit analizi

AOAC (2000)'a göre peroksit analizleri yapılmıştır. Bu metoda göre 2 g sadeyağ örneği şilifli erlene tartıldıktan sonra üzerine önce 7,5 mL asetik asit sonra 2,5 mL kloroform eklenmiştir. Katı yağ tamamen çözünene kadar karıştırılmış ve 0,25 mL doymuş KI ilave edilip 5 dakika boyunca karanlıkta bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda üzerine 50 mL saf su ilave edilmiş, sonrasında 0,5 mL %1'lik nişasta çözeltisi eklenip 0,002 N sodyum tiyosülfat

($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ile renk berraklaşana kadar titre edilmiştir (Şekil 3.7). Her bir analizin sonucunda harcanan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ miktarı mL cinsinden kaydedilmiştir. Eşitlik 3’ de görüldüğü gibi peroksit değeri (PD) hesaplanmıştır.

$$PV = \left(\frac{2x \text{ Harcanan } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ Miktar}}{\text{Örnek Miktar}} \right) \quad (3)$$



Şekil 3.7. Sadeyağda peroksit analizi

3.2.2.4. p-Anisidin analizi

Bu analiz Tekin (2021)’in modifiye edilmiş metodu kullanılarak yapılmıştır. Bu işlem için 0,5 g sadeyağ örneği tartıldıktan sonra izooktan ile hacmi 25 mL’ye tamamlanmış ve vortekste homojen bir şekilde çözünene kadar karıştırılmıştır. Sonrasında bu karışımdan 5 mL deney tüpüne alınmış ve üzerine 1 mL *p*-anisidin (0,25 g *p*-anisidin tartılıp hacmi glasiyel asetik asitle 100 mL’ye tamamlanmış) çözeltisi de eklenmiştir. Daha sonra karışım 10 dakika boyunca karanlıkta bekletildikten sonra 350 nm dalga boyunda spektrofotometrik okuma yapılmıştır (Şekil 3.7). Kör (referans) için ise 5 mL izooktan ve 1 mL *p*-anisidin kullanılmıştır. Eşitlik 4’de belirtilen formül ile *p*-anisidin değeri hesaplanmıştır

$$p\text{-anisidin değeri}(p - AV) = \left[25x \left(\frac{1.2x(A_{\delta} - A_k)}{m} \right) \right] \quad (4)$$

A_{δ} : Yağ örneğinin absorbans değeri; A_k : Kör(referans) örneğinin absorbans değeri;
m: Yağ örneğinin miktarı(g)



Şekil 3.8. *p*-anisidin değeri

3.2.2.5. Renk analizi

UV-C ışık, floresan ışık ve karanlık ortamda 20 gün boyunca depolanan sadeyağ örneklerinden belirli aralıklarla alınan numunelerin renk ölçüm parametreleri Hunterlab renk tayin cihazı (Color Quest, Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, VA 22090, ABD) kullanılarak analiz edilmiştir (Şekil 3.9). Analiz edilen parametreler L^* , a^* , ve b^* şeklindeki CIE ölçüm skalası kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu skalaya göre L^* değeri parlaklığı (0-100) temsil ederken, a^* değeri kırmızı (+a) veya yeşilliği (-a), b^* değeri ise sarılık (+b) veya maviliği (-b) temsil etmektedir.



Şekil 3.9. Renk değerleri analizi

3.2.3. İstatistiksel analizler

Çalışmada elde edilen verilerin analiz edilmesinde tek/çift yönlü ANOVA kullanılır.

miştir. Varyans analizleri sonucunda önemli çıkan ortalamalar arasındaki farklılıklar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile test edilmiştir. İstatistiksel analizler için MINITAB 17.0 yazılım programı (Minitab, State College, Pa) kullanılarak gerçekleştirilmiş ve istatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Biberiye uçucu yağının bazı özellikleri

4.1.1. Toplam fenolik madde

Biberiye uçucu yağının toplam fenolik madde miktarı, ortalama $11,88 \pm 0,33$ mg GAE/g olarak bulunmuştur.

4.1.2. Antioksidan kapasite

4.1.2.1. DPPH radikal indirgeme kapasitesi

Biberiye uçucu yağının DPPH radikali indirgeme kapasitesi ortalama $138 \pm 10,93$ μ M Troloks/g olarak hesaplanmıştır.

4.2. Şanlıurfa sadeyağının indüksiyon süresi ve raf ömrü

Kontrol, α -tokoferol (75 ppm) ile 75, 150 ve 300 ppm seviyelerinde biberiye uçucu yağ eklenen sadeyağ örneklerinin indüksiyon sürelerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Örnek çeşidi, sıcaklık ve örnek çeşidi x sıcaklık interaksyonu bakımından indüksiyon süreleri arasındaki farklılık çok önemli bulunmuştur ($p < 0.01$).

Çizelge 4.1. Şanlıurfa sadeyağı örneklerinin indüksiyon sürelerine ait varyans analiz sonuçları

		Düzeltilmiş Kareler Ortalaması
Varyasyon kaynağı	SD	İndüksiyon süresi
Örnek çeşidi	4	43,66**
Sıcaklık	2	899,89**
Örnek çeşidi x Sıcaklık	8	5,66**
Hata	70	0,57
Toplam	84	

SD: serbestlik derecesi; **: $p < 0.01$ düzeyinde önemli

Şanlıurfa sadeyağı örneklerinin ortalama indüksiyon süreleri Çizelge 4.2’de görülmektedir. Ransimat cihazında test sıcaklığı yükseldikçe sadeyağ örneklerinin ortalama indüksiyon süresinin çok önemli derecede düştüğü ($p < 0.01$) görülmüştür. Sıcaklık yükseldikçe, yağ ve yağlı gıdalar termal oksidasyona daha fazla maruz kalmakta, dolayısıyla indüksiyon sürelerinin kısalması beklenen bir durum olmakla birlikte tüm sıcaklık değerlerinde en düşük

indüksiyon süresi kontrol örneğinde tespit edilirken bunu biberiye uçucu yağı içeren örnekler takip etmiş, en yüksek indüksiyon süresi ise α T-S örneğinde gözlemlenmiştir. Bu tespit antioksidan kullanımının, sadeyağın oksidasyona karşı kararlılığını arttırdığını kanıtlamıştır. Tüm sıcaklık derecelerinde en yüksek indüksiyon süresi α T-S örneğinde tespit edilirken, 110 °C’de indüksiyon süreleri sırasıyla α T-S>75 BYS>300 BYS>150 BYS>Kontrol olurken, 120 °C’de α T-S>75 BYS>150 BYS>300 BYS>Kontrol ve 130 °C’deki sıcaklıkta ise bu sıralama α T-S>300 BYS>75 BYS>150 BYS>Kontrol örneklerinde gözlenmiştir. Her ne kadar indüksiyon süreleri sayısal olarak her üç sıcaklık derecesinde de farklılık göstermiş olsa da her bir sıcaklık ortamında α T-S örneği haricindeki diğer tüm örnekler istatistiksel olarak aynı grupta sınıflandırılmıştır.

Çizelge 4.2. Şanlıurfa sadeyağı örneklerine ait ortalama indüksiyon süreleri(saat) ve oluşan gruplar

Örnek adı	Sıcaklık (°C)		
	110	120	130
Kontrol	12,52±0,50 ^{Ab}	5,62±0,45 ^{Bb}	2,59±0,18 ^{Cb}
75 BYS	13,05±0,21 ^{Ab}	5,82±0,40 ^{Bb}	2,68±0,08 ^{Cb}
150 BYS	12,94±0,35 ^{Ab}	5,68±0,37 ^{Bb}	2,63±0,06 ^{Cb}
300 BYS	12,98±0,55 ^{Ab}	5,66±0,26 ^{Bb}	2,69±0,10 ^{Cb}
αT-S	18,77±2,24 ^{Aa}	8,73±1,17 ^{Ba}	4,25±0,65 ^{Ca}

Aynı satırda farklı büyük harflerle, aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.01).

75 BYS: 75 mg/kg biberiye uçucu yağı eklenen Şanlıurfa sadeyağı, 150 BYS: 150 mg/kg biberiye uçucu yağı eklenen Şanlıurfa sadeyağı, 300 BYS: 300 mg/kg biberiye uçucu yağı eklenen Şanlıurfa sadeyağı, α T-S: 75 mg/kg α -tokoferol eklenen Şanlıurfa sadeyağı

Çizelge 4.3’te görüldüğü üzere her bir sadeyağı örneği için indüksiyon sürelerinin doğal logaritmasının [Ln (indüksiyon süresi)], sıcaklığa (K) karşı çizilen grafiklere ait lineer doğru denklemi kullanılarak, oda sıcaklığındaki (25 °C) tahmini raf ömrü süreleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu kapsamda raf ömrü süresi en yüksek 75 BYS örneğinde tespit edilirken, bunu sırasıyla 150 BYS, α T-S, 300 BYS ve kontrol örneği takip etmiştir. Elde edilen bu veriler doğrultusunda eklenen Biberiye uçucu yağ (BY) oranının artışına paralel olarak Şanlıurfa sadeyağının raf ömrünün kısaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca aynı düzeyde (75 mg/kg) eklenmesine rağmen BY’nın α -tokoferole oranla, sadeyağın raf ömrü üzerinde daha etkili

olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda BY'nın sadeyağ gibi hayvansal kaynaklı yağlarda yapay antioksidanların yerini alabileceği sonucuna varılmıştır. En yüksek tahmini raf ömrü süresi, 75 BYS örneğinde hesaplanması nedeniyle, sonraki aşamada sadeyağa eklenecek oranın en düşük seviyede (75 mg/kg) BY olmasına karar verilmiştir.

Çizelge 4.3. Şanlıurfa sadeyağı örneklerin indüksiyon sürelerine göre oluşturulan grafik denklemleri ve bu denklemlere göre 25 °C'de hesaplanan tahmini raf ömrü süreleri (gün)

Örnek adı	Denklem	R ²	Tahmini raf ömrü (gün)
Kontrol	$y = -0,0342x + 14,203$	0,99	427,75
75 BYS	$y = -0,0344x + 14,288$	0,99	453,51
150 BYS	$y = -0,0346x + 14,344$	0,99	449,77
300 BYS	$y = -0,0341x + 14,185$	0,99	439,53
α T-S	$y = -0,0323x + 13,656$	0,99	447,08

75 BYS: 75 mg/kg biberiye uçucu yağı eklenen Şanlıurfa sadeyağı, 150 BYS: 150 mg/kg biberiye uçucu yağı eklenen Şanlıurfa sadeyağı, 300 BYS: 300 mg/kg biberiye uçucu yağı eklenen Şanlıurfa sadeyağı

4.3. Şanlıurfa sadeyağında oksidasyon stabilitesi

Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde test edilen parametrelere yönelik varyans analiz sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiştir. Örnek çeşidi bakımından araştırılan tüm parametreler arasındaki farklılığın çok önemli olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.01$). Bu da farklı antioksidan ilavelerinin sadeyağın oksidasyon kararlılığını farklı ölçülerde etkilediğini göstermektedir. Depolama süresi açısından serbest yağ asitliği ve peroksit değerleri arasındaki farklılık çok önemli ($p < 0.01$) görülmüştür. Işık uygulaması bakımından ortalama serbest yağ asitliği değerleri arasındaki farklılık önemli ($p < 0.05$), peroksit ve *p*-anisidin değerleri arasındaki farklılık ise çok önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. İkili ve üçlü interaksiyonlar incelendiğinde, özellikle depolama süresi $\times$ ışık ve örnek çeşidi $\times$ depolama süresi $\times$ ışık etkileşimlerinin çoğu parametre üzerinde önemli bulunmuştur ($p < 0.01$).

Çizelge 4.4. Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde oksidasyon stabilitesinin tespitine yönelik analizlere ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Düzeltilmiş Kareler Ortalaması		
		Serbest yağ asitliği (% oleik asit)	Peroksit değeri (mEq O ₂ /kg)	p-anisidin
Örnek çeşidi	2	0,096**	83,95**	27,10**
Depolama süresi	7	0,019**	425,17**	3,12
Işık çeşidi	2	0,007*	2844,06**	0,05**
Örnek çeşidi x Depolama süresi	14	0,002	22,86**	0,676**
Örnek çeşidi x Işık no	4	0,001	72,99**	1,304**
Depolama süresi x ışık no	14	0,008**	270,41**	2,209**
Örnek çeşidi x Depolama süresi x ışık no	28	0,004**	18,92**	0,824**
Hata	216	0,002	0,29	0,098
Toplam	287			

*: p<0.05 düzeyinde önemli, **: p<0.01 düzeyinde önemli

4.3.1. Serbest yağ asitliği

Serbest yağ asitleri, yağın yapısında bulunan trigliseritlerin hidrolize uğrayıp parçalanmaları sonucu açığa çıkan yağ asitleridir. Bu reaksiyon yağlarda ve yağlı gıdalarda tat (acılaşma) ve koku değişikliğine neden olduğundan dolayı serbest yağ asitliği değeri gıda ürünlerinde bir kalite kriteri olarak değerlendirilmektedir.

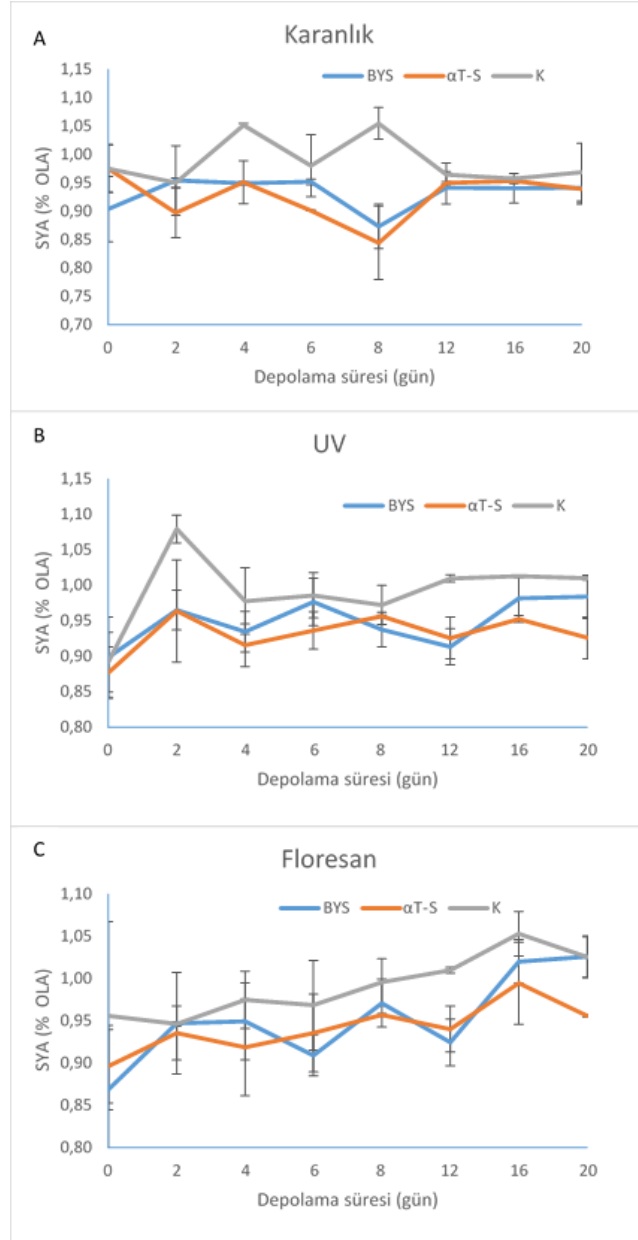
Farklı ışıklı ortamlarda 20 gün süreyle depolanan sadeyağ örneklerinde serbest yağ asitliğinin değişimi Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü üzere depolama boyunca her üç ışık ortamında en yüksek serbest yağ asitliği değeri genel anlamda kontrol örneğinde gözlemlenmiştir. Şekil 4.1-A incelendiğinde, karanlık ortamda depolamanın başlangıcında örneklerin ortalama serbest yağ asitliği değeri %0,92 OLA (% oleik asit) iken depolama boyunca artış ve azalışların olduğu bir seyirde ilerleyerek depolama sonunda %0,95 OLA değerine ulaşmıştır. Bu durumun sadeyağın çok düşük su içeriğine sahip olmasından (%1’in altında) ve örneklerin karanlık ortamda oda sıcaklığında muhafaza edilmesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Karanlık ortamda depolamada kontrol örneğinde serbest asitlik değerinde en yüksek değer 4. ve 8. günlerde tespit edilirken depolamanın sonlarına doğru bu değerlerde düşüş tespit edilmiştir. BYS ve α T-S örneklerinde bu değişim daha dar bir aralıkta gerçekleşmiştir. Hem BYS hem de α T-S örneğinde depolamanın başlangıcında bu değer %0,98 OLA iken periyodun sonunda %0,94

OLA değerine düşmüştür.

Şekil 4.1-B’de ise UV-C ışık altında depolamanın başlangıcında örneklerin ortalama serbest yağ asitliği değeri %0,89 iken karanlık ortama benzer şekilde dalgalanmalı bir süreç izleyerek depolamanın sonunda %0,97 OLA değerine yükselmiştir. UV-C ışık altında depolanan sadeyağ numunelerinden en yüksek serbest yağ asitliği değeri (%1,08 OLA) depolamanın 2. gününde kontrol örneğinde gözlemlenirken bu değer sonrakı süreçlerde küçük değişimlerle birlikte azaldığı görülmüştür. BYS örneğinde serbest yağ asitliği depolama periyodu boyunca çok büyük değişiklik göstermemiş ve %0,89 – 0,98 OLA arasında değişim göstermiştir. α T-S örneğinde UV-C ışık altında depolama boyunca serbest yağ asitliği %0,83 – 0,93 OLA aralığında değişmiş ve genel olarak depolama boyunca diğer örneklerle göre en düşük serbest yağ asitliği değerine sahip olmuştur.

Şekil 4.1-C’de floresan ışık altında ise depolamanın başlangıcında örneklerin ortalama serbest yağ asitliği değeri %0,92 OLA iken karanlık ve UV ışıktaki depolamaya benzer şekilde bir seyir izleyerek depolamanın sonunda %0,95 OLA değerine yükselmiştir. Floresan ışık altında yapılan depolamada kontrol örneğinin, en yüksek serbest asitlik değerini (%1,05 OLA) periyodun 16. gününde aldığı tespit edilmiştir. BYS örneğinde serbest yağ asitliği başlangıçta %0,83 OLA iken depolamanın sonunda %1,03 OLA değerine yükselmiştir. Serbest yağ asitliğindeki değişim, α T-S örneğinde diğer örneklerle göre daha sınırlı düzeyde ilerleyerek genel anlamda tüm gruplar içerisindeki en düşük serbest yağ asitliği değerine sahip olmuştur. Örnek bazında incelendiğinde UV-C ve floresan ışıktaki depolanan kontrol örneğinde BYS ve α T-S örneğine oranla daha yüksek ve hızlı bir artışın görülmesi, antioksidanların lipit hidrolizi üzerindeki dolaylı olarak koruyucu rol üstlendiğini göstermektedir. Ayrıca her iki ışık kaynağının da lipit hidrolizinde serbest yağ asidi oluşumundaki sınırlı artışlara katkıda bulunduğu söylenebilir.

Her 3 depolama koşulunda da kontrol örneği en yüksek serbest yağ asidi değerini alırken, BYS ve α T-S grupları daha kararlı bir yapı göstererek daha düşük değerler almıştır. Başka bir deyişle, 25 °C’de karanlıkta, UV-C ve floresan ışık altında depolanan sadeyağ örneklerinde ortalama en yüksek serbest yağ asitliği değeri kontrol örneğinde, en düşük değer ise α T-S örneğinde gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1. Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde ortalama serbest yağ asitliği değerleri, % oleik asit

A:Karanlık ortam; B: UV ortam; C:Floresan ortam; K: Kontrol grubu Şanlıurfa sadeyağı; BYS: Biberiye uçucu yağı (75 ppm) ilave edilen Şanlıurfa sadeyağı; α TS: α - tokoferol (75 ppm) ilave edilen Şanlıurfa sadeyağı

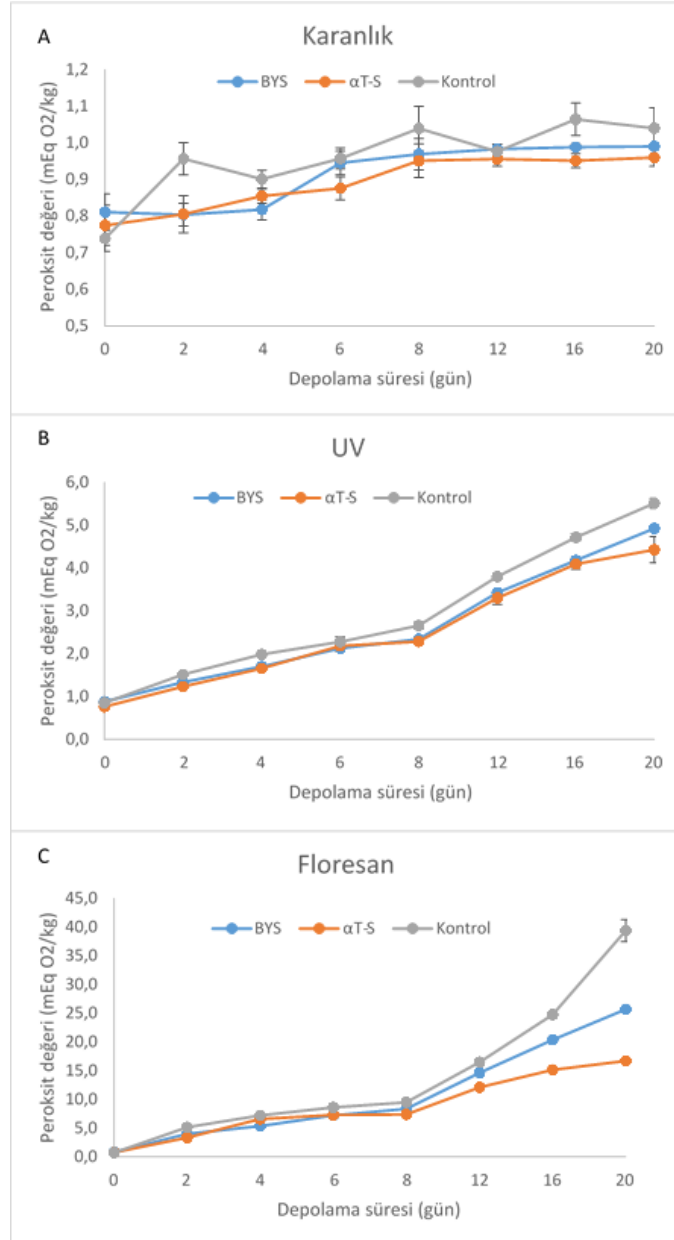
Tüm depolama şartları ve sadeyağ grupları birlikte değerlendirildiğinde, depolama ortamının (ışık) sadeyağın serbest yağ asitliği değerinin üzerinde sınırlı bir etkisinin olduğu görülmektedir. Elde edilen bulgular biberiye uçucu yağı veya α -tokoferol ilavesinin kontrol grubuna kıyasla hidrolitik reaksiyonları kısmen engellese de depolama şartları açısından serbest yağ asitliği değerlerinde çok önemli değişimler yaşanmamıştır.

4.3.2. Peroksit değeri

Peroksit değeri, yağların ve yağlı gıdaların tazeliği hakkında bilgi veren ve oksidasyon seviyesini belirleyen bir kalite parametresi olarak kullanılmaktadır. Bu parametre, doymamış yağ asitlerinin oksijenle tepkimeye girmesi sonucu açığa çıkan hidroperoksit ve peroksitlerin miktarını meq O₂/kg yağ şeklinde ifade edilen bir kavramdır (Gilbraith vd., 2021).

Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde peroksit değerlerinin depolama periyodu boyunca değişimi Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.2 A’da karanlık ortamda depolanan sadeyağ gruplarının periyodun başlangıcında yaklaşık 0,74-0,81 meq O₂/kg olan ortalama peroksit değerinin depolamanın sonunda 0,96-1,04 meq O₂/kg arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu durum karanlık ortamda peroksit oluşumunun çok düşük hızda gerçekleştiğini dolayısıyla da lipid oksidasyonunun diğer iki ortama göre minimum düzeyde gerçekleştiğini göstermektedir.

Şekil 4.2-B’de görüldüğü üzere UV ışık altında depolanan sadeyağ örneklerinde peroksit değerinin artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Depolamanın başlangıcında tüm örnek grupları için yaklaşık 0,85 meq O₂/kg olan peroksit değeri depolama süresi boyunca artış göstermiş, kontrol, BYS ve α T-S örneklerinde sırasıyla 5,51 meq O₂/kg, 4,92 meq O₂/kg ve 4,43 meq O₂/kg değerine yükselmiştir (p<0.01). Özellikle kontrol örneğinin peroksit değerinde daha belirgin bir artış gözlemlenirken BYS ve α T-S örneklerinde kontrole kıyasla daha düşük artış gözlemlenmiştir. Elde edilen veriler UV-C ışık altında depolamanın yağın oksidasyonunu hızlandırdığını ancak biberiye uçucu yağı ve özellikle α -tokoferolün ışığın katalizlediği oksidasyona karşı koruma sağladığı görülmüştür.



Şekil 4.2. Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde peroksit değerlerinin depolama periyodu boyunca değişimi

A:Karanlık ortam; B: UV ortam; C:Floresan ortam; K: Kontrol grubu Şanlıurfa sadeyağı; BYS: Biberiye uçucu yağı (75 ppm) ilave edilen Şanlıurfa sadeyağı; α TS: α -tokoferol (75 ppm) ilave edilen Şanlıurfa sadeyağı

Şekil 4.2-C’de ise floresan ışık altında tüm gruplarda UV-C ışık ve karanlık ortamdaki depolamalara göre özellikle depolamanın 8. gününden itibaren peroksit değerinin hızlı bir şekilde artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum floresan ışık maruziyetinin UV-C ortam maruziyetine göre yağın oksidasyonunu çok daha fazla etkilediğini göstermektedir. Başlangıçta tüm sadeyağ gruplarının 0,74 meq O₂/kg civarı olan peroksit değerinin, depolamanın sonunda kontrol grubu için 39,38 meq O₂/kg, BYS grubu için 25,69 meq O₂/kg ve α T-S grubu için ise 16,7 meq O₂/kg olduğu tespit edilmiştir (p<0.01).

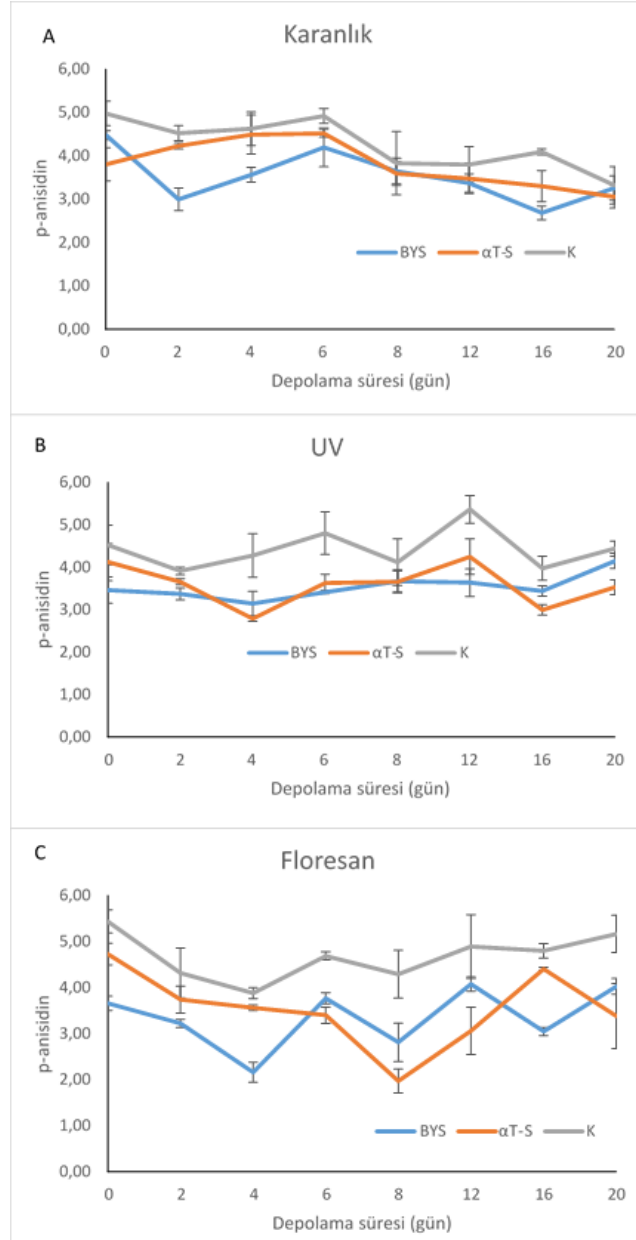
Bu sonuçlar depolama koşulları açısından ışığın ve ışık türünün yağın oksidasyon kararlılığı üzerinde önemli ölçüde etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Peroksit değeri sonuçları floresan ışığın UV-C ışığa göre lipid oksidasyonunu daha çok hızlandırıldığını göstermektedir. Bu durum UV-C ışık kaynağının sadece hidroperoksit oluşumunu hızlandırmakla kalmayıp, aynı zamanda oluşan peroksitlerin hızlı bir şekilde parçalanmasına sebep olarak peroksit değerinin floresan ışığa göre daha düşük olmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Her üç depolama koşulunda da en yüksek peroksit değeri kontrol örneğinde gözlemlenirken en düşük peroksit değerlerinin BYS ve özellikle α T-S örneklerinde gözlemlenmesi, antioksidan ilavesinin sadeyağ örneklerinde ışığın katalizlediği oksidasyona karşı koruyucu etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

4.3.3. p-Anisidin

p-anisidin değeri, yağlarda ve yağ içeren gıdalarda hidroperoksitlerin parçalanması sonucu oluşan 2-alkenaller ile 2,4 dienaller gibi ikincil oksidasyon ürünlerinin miktarını analiz etmede kullanılan bir kalite parametresidir (Tompkins ve Perkins., 1999).

Şanlıurfa sadeyağı numunelerinde depolama periyodu boyunca *p*-anisidin değerlerinin değişimine ilişkin grafikler Şekil 4.3’te verilmiştir. Karanlık ortamda en yüksek *p*-anisidin değeri kontrol örneğinde tespit edilmiştir. Ancak diğer koşullardan farklı olarak karanlıkta depolanan her üç örneğin de *p*-anisidin değerinin depolamanın sonunda kısmen azaldığı

tespit edilmiştir. Kontrol, BYS ve α T-S örneklerinin depolamanın başlangıcındaki *p*-anisidin değerleri sırasıyla 4,98; 4,48 ve 3,81 iken depolamanın sonunda azalarak sırasıyla 3,32; 3,26 ve 3,06'ya gerilediği gözlemlenmiştir. Bu durum karanlık ortamda fotooksidatif stresin katalizleyebileceği düzeyde bir lipid oksidasyonu oluşmadığı, dolayısıyla da ikincil oksidasyon ürünlerinin oluşabileceği düzeyde bir lipid oksidasyonunun karanlık ortamda gerçekleşmemesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.3. Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde *p*-anisidin değerlerinin depolama periyodu boyunca değişimi

A:Karanlık ortam; B: UV ortam; C:Floresan ortam; K: Kontrol grubu Şanlıurfa sadeyağı; BYS: Biberiye uçucu yağı (75 ppm) ilave edilen Şanlıurfa sadeyağı; α TS: α -tokoferol (75 ppm) ilave edilen Şanlıurfa sadeyağı

Şekil 4.3-B’de UV-C ışık altında depolanan örneklerden depolama süresi boyunca kontrol örneğinin daha yüksek *p*-anisidin değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın başlangıcında kontrol örneğinin *p*-anisidin değeri 4,53 iken, depolamanın 12. gününde 5,36 ile en yüksek seviyeye ulaşmış ve depolamanın sonunda ise *p*-anisidin değeri 4,44 gerilemiştir.

Depolamanın başlangıcında BYS örneğinde *p*-anisidin değeri 3,46 iken depolamanın sonunda artarak 4,15’e ulaşmıştır. α T-S örneğinin ise başlangıç *p*-anisidin değeri 4,12 iken depolama süresi boyunca artış ve azalışların gözlemlendiği bir seyrde ilerleyerek depolamanın sonunda 3,53’e gerilemiştir. Antioksidan içeren sadeyağ örneklerinin depolamanın sonunda kontrol örneğine göre daha düşük *p*-anisidin değerine sahip olması sadeyağa antioksidan ilavesinin lipit oksidasyonunda ikincil ürünlerin oluşumunu engellediğini göstermektedir.

Depolama boyunca floresan ışık altında en yüksek *p*-anisidin değerleri kontrol örneğinde tespit edilmiştir. Depolamanın başlangıcında kontrol örneğinin *p*-anisidin değeri 4,32 iken depolama süresi boyunca değişkenlik göstererek depolamanın sonunda 5,17’ye yükselmiştir. Depolamanın başlangıcında α T-S ve BYS örneklerinin *p*-anisidin değerleri sırasıyla 4,73 ve 3,66 iken depolama boyunca artış ve azalışların görüldüğü seyrde ilerleyerek depolamanın sonunda α T-S örneğinde 3,38’e gerilediği, BYS örneğinde ise 4,03’e yükseldiği görülmüştür (Şekil 4.3-C).

Her ne kadar depolama boyunca tüm örneklerin *p*-anisidin değerlerinde artış ve azalışların olduğu bir seyir gözlemlense de her üç depolama koşulunda da depolama boyunca genel olarak BYS ve α T-S örneklerinin kontrole kıyasla daha düşük *p*-anisidin değerine sahip olması, kullanılan antioksidanların oksidasyon mekanizmasına etki ederek oksidasyonun ikincil ürünlerinin oluşmasını kısmen engellediğini göstermektedir.

4.3.4. Renk değerleri

Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde renk ve renk değişimine (ΔE) ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre örnek çeşidi, depolama süresi, ışık çeşidi bakımından test edilen renk parametreleri arasındaki farklılığın istatistiksel anlamda çok önemli ($p < 0.01$) olduğu tespit edilmiştir.

İkili etkileşimler değerlendirildiğinde örnek çeşidi x depolama süresi, örnek çeşidi x ışık çeşidi ve depolama süresi x ışık çeşidi etkileşimlerinin de renk parametrelerinin tamamı üzerinde istatistiksel olarak çok önemli bir etkisi olduğu görülmektedir ($p < 0.01$). Üçlü etkileşimler incelendiğinde örnek çeşidi x depolama süresi x ışık etkileşiminin de renk parametrelerinin tamamı üzerinde istatistiksel olarak çok önemli bir etkisi olduğu görülmektedir ($p < 0.01$). Bu durum sadeyağın renk özelliklerinin tek bir faktörle belirlenmeyeceğinin ve renk değişimleri açısından her 3 faktöründe (örnek çeşidi, depolama süresi ve ışık çeşidi) beraber incelenmesi gerektiğinin göstergesidir.

Çizelge 4.5. Şanlıurfa sadeyağında ortalama renk ve ΔE değerlerine ait varyans analiz sonuçları

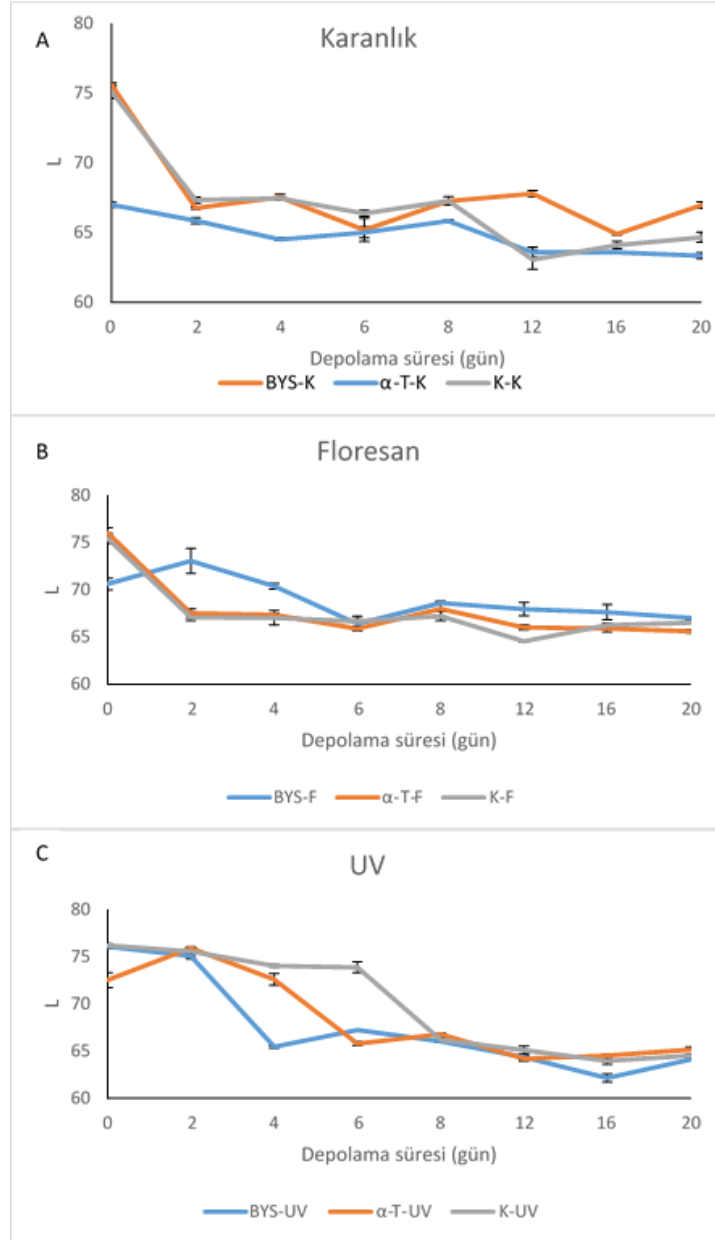
Varyasyon kaynağı	SD	Düzeltilmiş Kareler Ortalaması			
		L*	a*	b*	ΔE
Örnek çeşidi	2	38,80**	0,921**	1,194**	197,55**
Depolama süresi	7	346,93**	9,807**	408,63**	731,57**
Işık çeşidi	2	119,20**	3,008**	451,11**	238,60**
Örnek çeşidi x Depolama süresi	14	13,143**	0,385**	6,192**	18,148**
Örnek çeşidi x Işık no	4	48,349**	1,622**	36,116**	360,83**
Depolama süresi x ışık no	14	42,589**	0,338**	42,276**	47,359**
Örnek çeşidi x Depolama süresi x ışık no	28	16,118**	0,247**	8,012**	19,559**
Hata	216	0,160	0,005	0,114	0,115
Toplam	287				

** : $p < 0.01$ düzeyinde önemli

Şanlıurfa sadeyağ örneklerinin depolama boyunca renk parametrelerine ait grafikler Şekil 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7'de verilmiştir. Renk parametrelerinden L* değeri parlaklığı, a* değeri kırmızılık (+ değer) ve yeşilliği (- değer), b* değeri sarılık (+ değer) ve maviliği (- değer), ΔE ise toplam renk değişimini ifade etmektedir. Karanlıkta (A), floresan (B) ve UV-C (C) ışık altında Şanlıurfa sadeyağına ait L* değerleri Şekil 4.4'de verilmiştir.

Karanlıkta depolanan örneklerin L^* değerindeki değişim Şekil 4.4-A'de verilmiştir. Şekil 4.4-A incelendiğinde depolamanın sonunda en düşük L^* değeri 63,35 ile α T-S grubunda gözlemlenirken, bunu sırası ile kontrol örneği (64,66) ve BYS örneği (66,97) izlemiştir. Floresan ışık altında depolanan örneklerin L^* değerinin depolama süresi boyunca değişimi Şekil 4.4-B'de verilmiş olup bu şekil incelendiğinde tüm örnek gruplarının L^* değerlerinde depolama süresi boyunca genel olarak azalma gözlemlenmiştir. Kontrol ve α T-S örneklerinde BYS örneğine göre L^* değerinde depolamanın ikinci gününde ani bir düşüş yaşandığı tespit edilirken, sonrasında depolama süresince kısmen azalarak sırasıyla 66,51 ve 65,59'a düştüğü görülmüştür. BYS örneğinde ise depolamanın başlangıcında 70,61 olan parlaklık değerinin 67.02'ye gerilediği tespit edilmiştir.

UV-C ışık ortamındaki depolamaya ait renk parametrelerindeki değişim Şekil 4.4-C'de verilmiştir. Şekil 4.4-C'de verilen grafik incelendiğinde depolama süresince tüm örneklerin L^* değerinde istatistiksel olarak önemli bir düşüş meydana geldiği görülmüştür ($p < 0.01$). Buna göre depolama boyunca yağın oksidasyona uğraması sonucu depolama süresi sonunda sadeyağ örneklerinin parlaklığının azaldığı ifade edilebilir. Depolamanın sonunda tüm grupların L^* değeri birbirine yaklaşmış ancak en düşük L^* değeri ise BYS örneğinde gözlemlenmiştir.



Şekil 4.4. Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde L^* değerlerinin depolama periyodu boyunca değişimi

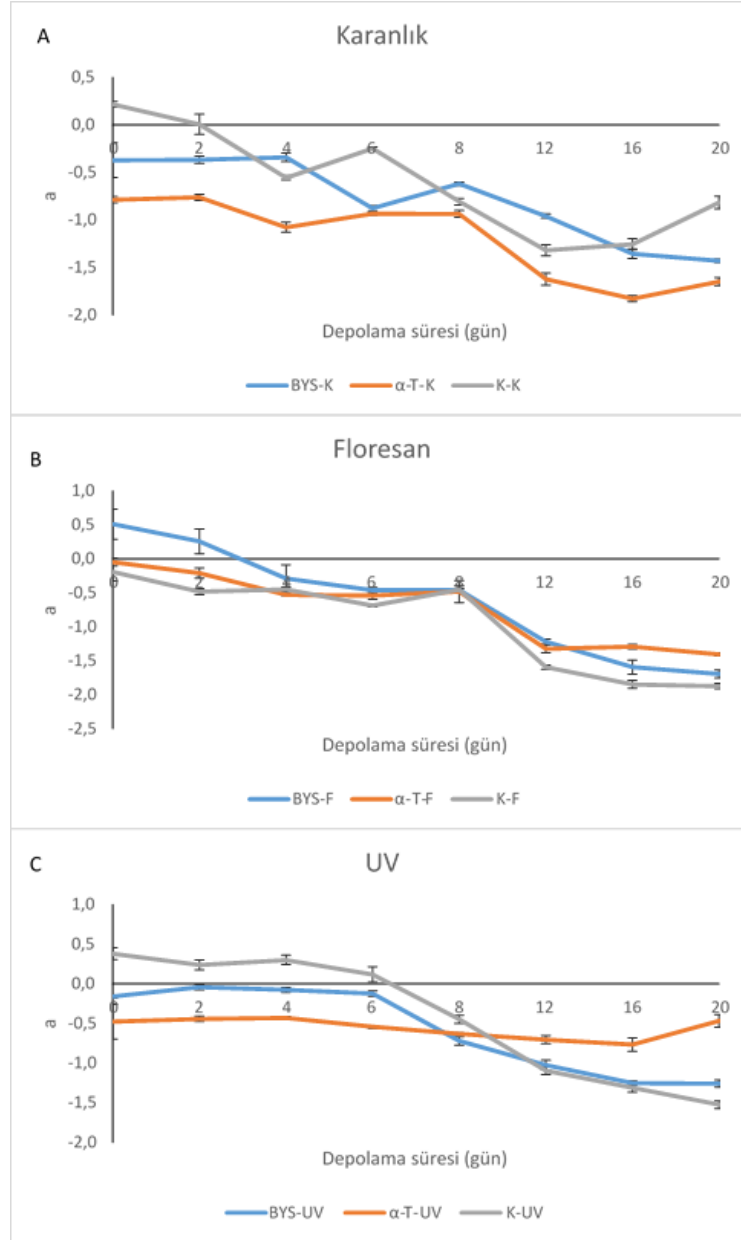
A:Karanlık ortam; B: UV ortam; C:Floresan ortam; K: Kontrol grubu Şanlıurfa sadeyağı; BYS: Biberiye uçucu yağı (75 ppm) ilave edilen Şanlıurfa sadeyağı; α TS: α -tokoferol (75 ppm) ilave edilen Şanlıurfa sadeyağı

Şanlıurfa sadeyağ örneklerinin depolama boyunca a^* değerlerine ilişkin değişim Şekil 4.5'de verilmiştir. Şekil 4.5-A'da karanlık ortamda a^* değerlerinin depolama periyodu boyunca değişimi verilmiştir. Karanlıkta depolamanın başlangıcında Kontrol, BYS ve α T-S örneklerinde a^* değeri sırasıyla 0,22 -0,37 ve -0,79 iken depolamanın sonunda genel anlamda bir düşüş yaşanmış ve kontrol örneğinde -0,82, BYS örneğinde -1,43 ve α T-S örneğinde -1,65 değerlerine düşmüştür. Şekil 4.5-B'te floresan ışık altında her 3 grupta a^* değerinde genel bir düşüş gözlemlenirken depolamanın sonunda en düşük a^* değeri kontrol örneğinde tespit edilmiş ve bunu sırasıyla BYS ve α T-S örnekleri takip etmiştir. Şekil 4.5-C'de diğer ortamlara benzer şekilde UV-C ışık altında tüm örnek gruplarının a^* değerinde depolamaya bağlı olarak bir azalış yaşanmıştır. Bu durum depolamaya bağlı olarak örneklerin içerdikleri kırmızı renk pigmentlerinin azalarak yeşil renk pigmentlerinin baskın hale geldiğini göstermektedir. UV-C ışık altında a^* değerinde en hızlı azalış kontrol örneğinde tespit edilirken en az değişimin α T-S örneğinde görüldüğü tespit edilmiştir. Bu durumun kontrol örneğinin antioksidan içermemesinden dolayı bu örnekte UV-C ışık altında pigment degradasyonunun daha fazla olmasından kaynaklanmış olabileceği, BYS ve α T-S örneklerinde ise içerdikleri antioksidanların etkisinden dolayı pigment degradasyonunun daha düşük seviyede gerçekleşmesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Tüm örnek gruplarının b^* değerindeki değişim Şekil 4.6'da verilmiştir. Örneklerin karanlık ortamdaki b^* değerlerine ait grafik (Şekil 4.6-A) değerlendirildiğinde depolamanın başlangıcında kontrol, BYS ve α T-S örneklerinin b^* değeri sırasıyla 20,36; 20,15 ve 15,75 iken depolamanın sonunda 13,44; 14,57 ve 12,35'e düştüğü tespit edilmiştir ($p<0.01$). Şekil 4.6-B'de tüm örneklerde floresan ışık altında karanlık ortama göre b^* değerinde daha hızlı azalışın olduğu ve depolama süresi sonunda en yüksek b^* değeri α T-S örneğinde gözlemlenirken bunu sırasıyla BYS ve kontrol örneği takip etmiştir. Bu durum antioksidan ilavesinin floresan ışık altında sarı renk stabilitesini korumada etkili olmasının yanında α -tokoferolün BY'dan daha etkili olduğunu göstermektedir. Şekil 4.6-C'de ise UV-C ışık altında

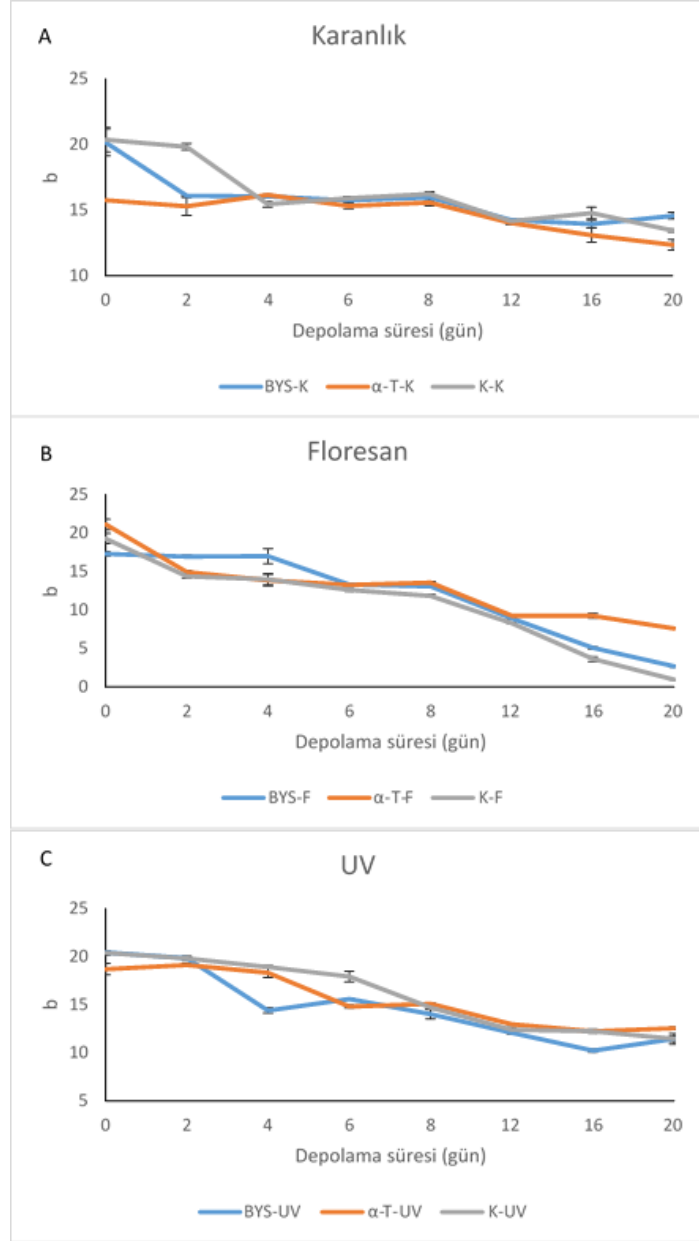
tüm gruptaki b^* değerinin zamanla azaldığı ancak bu azalışın karanlıkta muhafazaya göre daha yüksek, floresan ışık altında depolamaya göre daha az olduğu görülmektedir.

Şekil 4.7’de Şanlıurfa sadeyağının karanlık (A), floresan(B) ve UV-C (C) ışık ortamına bağlı olarak değişen ΔE değerleri grafikleri verilmiştir. Buna göre Şekil 4.7-A grafiğine bakıldığında depolamanın sonunda ΔE değerleri BYS, α T-S ve kontrol grubunda sırasıyla 10,33; 5,08 ve 12,56 olmuştur. Buna göre renk stabilitesinin korunmasında α T ilavesi BY ilavesinden daha başarılı bulunmuştur.



Şekil 4.5. Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde a^* değerlerinin depolama periyodu boyunca değişimi

A:Karanlık ortam; B: UV ortam; C:Floresan ortam; K: Kontrol grubu Şanlıurfa sadeyağı; BYS: Biberiye uçucu yağı (75 ppm) ilave edilen Şanlıurfa sadeyağı; α TS: α -tokoferol (75 ppm) ilave edilen Şanlıurfa sadeyağı



Şekil 4.6. Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde b* değerlerinin depolama periyodu boyunca değişimi

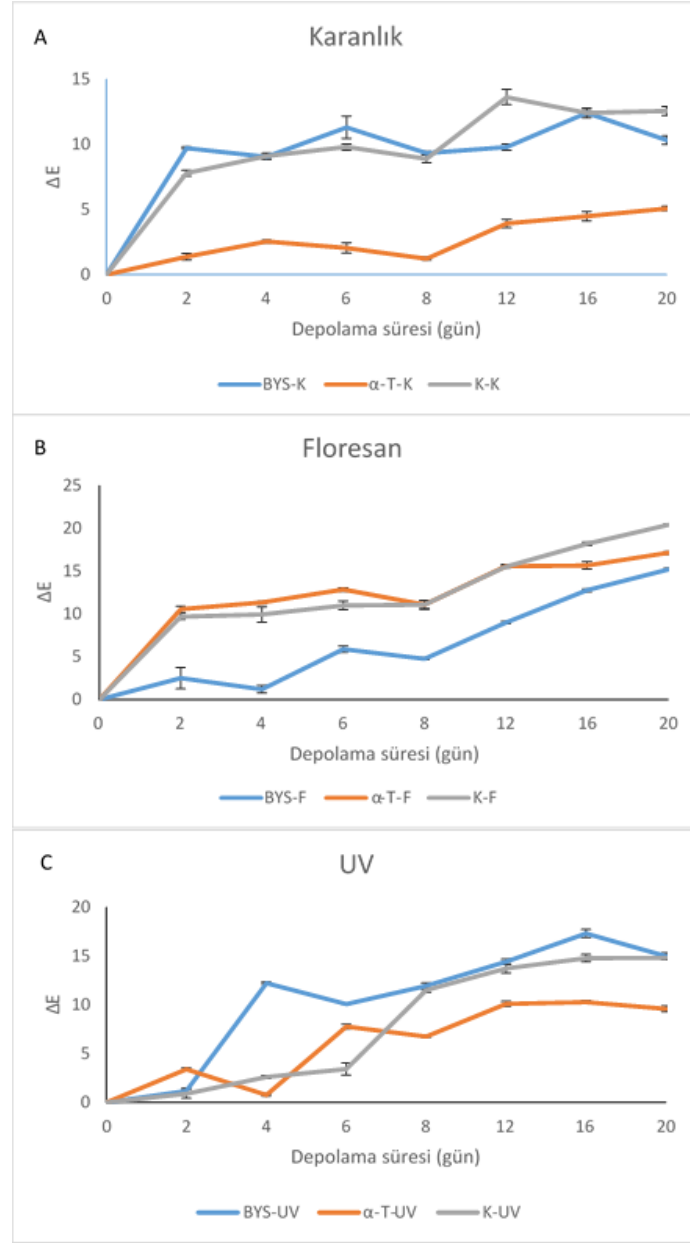
A:Karanlık ortam; B: UV ortam; C:Floresan ortam; K: Kontrol grubu Şanlıurfa sadeyağı; BYS: Biberiye uçucu yağı (75 ppm) ilave edilen Şanlıurfa sadeyağı; α TS: α -

tokoferol (75 ppm) ilave edilen Şanlıurfa sadeyağı

Şekil 4.7-B’de floresan etkisindeki değerler incelendiğinde ΔE değerinin depolama süresi arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. Depolama sonunda kontrol grubunun ΔE değeri 20,43; α T-S grubunun 17,14 ve BYS grubunun 15,19 değerini aldığı görülmüştür. Toplam renk değerlerindeki değişimin en az BYS grubunda görülmesi renk stabilitesi bakımından floresan ışık altında en kararlı grup olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.7-C’de UV-C ışık etkisiyle tüm örnek gruplarında ΔE değeri açısından artış yaşandığı gözlenmiştir. Depolama sonunda en fazla artış 14,99 ile BYS grubunda, en az artış ise 9,60 ile α T-S grubu sadeyağında görülürken kontrol grubunda bu değer 14,81 olmuştur. Bu durum renk stabilitesinin UV-C ışık altında α T-S grubunda diğer gruplara göre daha iyi sağlandığının bir göstergesi olduğu düşünülmektedir.

Genel olarak 4 grafik incelendiğinde örneklerdeki parlaklık ve sarı renk pigmenti en iyi BY ile sağlanırken toplam renk stabilitesinin sağlanmasında α T daha başarılı olarak belirlenmiştir. Tüm örnek grupları değerlendirildiğinde renk stabilitesi en iyi karanlık ortamda korunurken bunu sırasıyla UV-C ve floresan ışık depolaması almıştır. Renk parametrelerindeki en belirgin değişimin floresan ışık altında gözlemlenmiştir. Kontrol grubu antioksidan içeren gruplara göre renk değerlerinin daha az korunduğu görülmüştür. Antioksidan ilavesinin özellikle α T ilavesinin renk stabilitesini arttırdığı söylenebilir.



Şekil 4.7. Şanlıurfa sadeyağı örneklerinde ΔE değerlerinin depolama periyodu boyunca değişimi

A:Karanlık ortam; B: UV ortam; C:Floresan ortam; K: Kontrol grubu Şanlıurfa sadeyağı; BYS: Biberiye uçucu yağı (75 ppm) ilave edilen Şanlıurfa sadeyağı; α TS: α -tokoferol (75 ppm) ilave edilen Şanlıurfa sadeyağı

5. TARTIŞMA

5.1. Biberiye uçucu yağının bazı özellikleri

5.1.1. Toplam fenolik madde

Bu çalışmada, biberiye uçucu yağının bileşiminde bulunan toplam fenolik madde miktarı, ortalama $11,88 \pm 0,33$ mg GAE/g olarak bulunmuştur. Yazıcı vd. (2020) yaptıkları bir çalışmada hidrodistilasyon yoluyla elde ettikleri biberiye uçucu yağının toplam fenolik madde içeriğini 12,11 mg GAE/g KM olarak bildirirken, Aslan Öz ve Velioğlu (2024) Balıkesir'in Altıeylül ilçesinde yetişen biberiyeden aynı yöntemle izole ettikleri biberiye uçucu yağının toplam fenolik madde içeriğini $4497,8 \text{ GAE/L}^{-1}$, Narlıoğlu (2024) ise biberiye uçucu yağı için $0,0003 \text{ } \mu\text{g}/\mu\text{L}$ GAE olarak bildirmişlerdir. Erkan vd. (2008) yaptıkları bir çalışmada metanolik biberiye ekstraktının toplam fenolik madde içeriğini 162 mg GAE/g şeklinde bildirmiştir. Yeşil Çeliktaş vd. (2007) süper kritik CO_2 ekstraksiyon metoduyla elde ettikleri 12 çeşit biberiye ekstraktından Çanakkale'den hasat edilen biberiye ekstraktlarının toplam fenol madde miktarlarını 147,3 ile 104,6 mg GAE/g ekstrakt değerleri arasında bulurken, Mersin ve İzmir illerinden hasat edilen biberiye ekstraktlarının ise sırasıyla 119,7-70,3 mg GAE/g ekstrakt ve 97,6-76,3 mg GAE/g ekstrakt değerleri arasında bulmuşlardır. Bu çalışmadan elde edilen biberiye uçucu yağının toplam fenolik madde miktarına en yakın değer 12,11 mg GAE/g KM ile Yazıcı vd. (2020) tarafından bulunmuştur. Başka bir çalışmada ise Gökbulut vd. (2022) tarafından hidrodistilasyon yoluyla elde ettikleri biberiye uçucu yağının toplam fenolik madde miktarını 13,87 mg GAE/g olarak bildirmişlerdir. Çalışmamızda elde edilen toplam fenolik madde miktarının diğer çalışmalardan farklı değerler alması, biberiye bitkisinin yetiştiği bölgenin coğrafi özellikleri, bitkinin hasat mevsimi, bitki kemosu, elde edildiği ekstraksiyon yöntemi, kullanılan çözücü çeşidi gibi etmenlere bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir.

5.1.2. Antioksidan kapasite

5.1.2.1. DPPH radikal indirgeme kapasitesi

Bu çalışmada biberiye uçucu yağının DPPH radikali indirgeme kapasitesi ortalama $138 \pm 10,93 \text{ } \mu\text{M}$ Troloks/g olarak hesaplanmıştır.

Bozin vd. (2007) hidrodistilasyon yoluyla elde ettikleri biberiye uçucu yağının IC₅₀ değerini 3,82 µg/mL olarak bulurken Yazıcı vd. (2020) IC₅₀ değerini 2,75 µg ekstrakt/mL, Narlıoğlu (2024) ise biberiye uçucu yağının ve biberiye sabit yağının DPPH radikal indirgeme kapasitesini sırasıyla 0,0227 µg/µL Troloks eşdeğeri ve 0,0742 µg/µL Troloks eşdeğeri olarak bulmuşlardır. Hussain vd. (2010) Pakistan coğrafyasına ait biberiyelerden hidrodistilasyon metoduyla elde ettiği biberiye uçucu yağının DPPH analizi sonucu IC₅₀ değerini 20,9 µg/mL, Aslan Öz ve Velioğlu (2024) ise 3,10 µl/mL şeklinde analiz etmişlerdir. Erkan vd. (2008) metanolik biberiye ekstraktı ile yaptığı bir çalışmada biberiye ekstraktının IC₅₀ değerini 54,0±1,4 µM olarak bulmuşlardır. Çalışmamızdan elde edilen DPPH radikali indirgeme kapasitesi değerinin diğer çalışmalardan farklı olmasının sebebi fenolik ekstraktın elde edilme yöntemi, biberiye bitkisinin yetiştiği bölgenin coğrafi özellikleri, bitkinin hasat mevsimi, bitki kemotipi gibi etmenler olabileceği düşünülmektedir.

5.2. Şanlıurfa sadeyağının indüksiyon süresi ve raf ömrü

Bu çalışmada herhangi bir antioksidan içermeyen Şanlıurfa sadeyağının 110 °C'deki indüksiyon süresi 12,52±0,50 saat, 120 °C'deki indüksiyon süresi 5,62±0,45 saat ve 130 °C'deki indüksiyon süresi 2,59±0,18 saat olarak bulunmuştur. 120 °C'deki indüksiyon süresi için elde edilen değer Çelik vd. (2020) tarafından bildirilen indüksiyon süresi (5,752±1,11 saat) ile yakın olduğu görülmektedir. Çalışmamızda antioksidan ilavesinin sadeyağın indüksiyon süresini ve dolayısıyla raf ömrünü arttırdığını göstermektedir. Farklı bitkisel yağların indüksiyon sürelerinin incelendiği bir çalışmada, oksidatif kararlılığı en yüksek yağ 27,5 saat ile palm yağı olurken 5,1 saat ile bozulmaya karşı en hassas yağ ise soya yağı olmuştur. Ayçiçeği yağının indükleme süresi 9,5 saat olarak belirlenmiştir (Hashem vd., 2023). Yapılan bir diğer çalışmada farklı oranlarda biberiye ekstraktı eklenen ve farklı sıcaklıklardaki kızartma işlemine tabi tutulan ghee sadeyağının 130 °C'de yapılan ransimat analizlerinde kontrol örneğinin indüksiyon süresi 1,71 saat olurken, biberiye ekstraktı (%0,1) ve BHA eklenen örneklerde bu süre sırasıyla 4,41 ile 4,36 saat ayrıca biberiye ekstraktı içeren sadeyağın 37 °C'deki raf ömrünü 210 gün, 60 °C'de ise 36 gün olduğunu bulmuşlardır (Rahila vd., 2017). Yang vd. (2016) biberiye ekstraktı ekledikleri soya yağı, pirinç yağı ve pamuk yağlarının 120 °C'de yaptıkları rancimat analizinde kontrol yağ örneklerinden

pirinç yağı, soya yağı ve pamuk yağlarının indüksiyon süreleri sırasıyla 3,83 saat; 2,2 saat ve 1,88 saat olarak ölçülürken, biberiye ekstraktı eklenen örneklerin indüksiyon süresi ise sırasıyla 6,22 saat; 3,4 saat ve 3,35 saat olarak ölçülmüştür. Türk Baydir vd. (2023) farklı oranlarda ayçiçek yağına ekledikleri biberiye baharatının bitkisel yağ üzerindeki ortalama indüklenme süresini 120 °C’de 1,57 saat olarak belirlemişlerdir. Ayrıca %1 biberiye baharatı ekledikleri yağın ortalama indüksiyon süresini 1,68 saat olarak ve %2 biberiye baharatı eklenen örneklerde ise bu değeri ortalama 1,79 saat olarak bulmuşlardır. Çalışmamızdan elde edilen verilerin diğer çalışmalardan farklı olmasının nedeni rancimat cihazıyla yapılan ölçümün sıcaklığına, hava akış hızına ve alınan örnek miktarına bağlı olarak değişkenlik göstermesinden kaynaklanmaktadır.

5.3. Şanlıurfa sadeyağının oksidasyon stabilitesi

5.3.1. Serbest yağ asitliği

Depolama koşulları ve örnek grupları birlikte değerlendirildiğinde; çalışmamızdaki sadeyağın serbest yağ asitliği değerinin çok dar bir aralıkta (0,83-1,05 % oleik asit) değiştiği belirlenmiştir. Yapılan diğer çalışmalar da bunu destekler niteliktedir. Çalışmamızla benzer şekilde; Niranjan vd. (2020) 25 gün boyunca 60 °C sıcaklıkta depoladıkları kontrol ghee örneğinin serbest yağ asitliğinin %0,6 – 0,80 oleik asit; Demir vd. (2024) farklı tereyağı örneklerinden farklı sıcaklıklarda ürettikleri sadeyağ örneklerinin 4 °C’de 60 günlük depolamada serbest yağ asitliği değerinin çok sınırlı bir aralıkta değişim gösterdiğini ve buna sebep olarak da sadeyağın su aktivitesinin düşük bir ürün olmasına bağladıklarını bildirmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada farklı ortamlarda depolanan bitkisel yağların serbest yağ asitliği değerlerinin % oleik asit cinsinden sırasıyla floresan ışığa maruz bırakılan ayçiçeği yağı için %0,70, soya yağı için %0,85 ve palm yağı için %0,25; karanlıkta depolanan ayçiçeği yağı için %0,37, soya yağı için %0,41 ve palm yağı için %0,18 olarak bildirilmiştir (Hashem vd., 2023). Odeh vd. (2021) yaptıkları bir çalışmada soğuk sıkım keten tohumu yağına biberiye ve başka baharatlar ilave ederek oda sıcaklığında ve karanlıkta 180 gün depoladıkları kontrol grubu ve biberiye ilaveli yağın serbest asitlik değerleri, % oleik asit cinsinden sırasıyla; başlangıçta 0,36 ve 0,25, depolamanın 60. gününde 0,40 ve 0,24; 120. günde 0,45 ve 0,33 ve 180. günde 0,55 ve 39 % oleik asit olarak bildirmişlerdir. Chen vd.

(2014) etanolik biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) ekstraktı ekledikleri ayçiçek yağını belirli sıcaklıkta depolamanın ardından 200 mg/kg^{-1} biberiye ekstraktı içeren bitkisel yağın kontrol numunesine göre, daha düşük serbest asitlik değerine ($0,45 \text{ mg g}^{-1}$) sahip olduğunu bildirmişlerdir. Urbancicvd. (2014) yaptıkları bir çalışmada kontrol grubu ayçiçeği yağının serbest asitlik değerlerinin değişimini kızartma işleminden önce ve sonra % 0,13- %0,61 oleik asit olarak, biberiye ekstraktı eklenen yağda ise %0,13 ve %0,47 oleik asit, tokoferol içeren yağda ise bu değerleri %0,13 ve %0,34 oleik asit olarak hesaplamışlardır.

5.3.2. Peroksit değeri

Çalışmamızda farklı ortamlarda depolanan kontrol, BYS ve α T-S örneklerinin meq O_2/kg cinsinden ifade edilen peroksit değeri sırasıyla karanlık ortam için 1,04; 0,99 ve 0,96 ve UV ışıklı ortamda 5,51; 4,92 ve 4,43, floresan ışıklı ortamda ise 39,38; 25,69 ve 16,71 olarak hesaplanmıştır. Buna göre depolama şartları açısından peroksit değeri ve dolayısıyla lipit oksidasyonu üzerindeki en etkili ortamın floresan ışıklı ortamın olduğu ikinci etkili ortamın UV ışıklı ortam ve en az karanlık ortamın etkili olduğu tespit edilmiştir. Çalışmamızın bu sonuçlarıyla benzer olarak ışık kaynaklarının değişik türlerdeki yağlarda peroksit değerini arttırdığı konusundaki çalışmalar sıralanmıştır. UV ışık altında depolamanın yapıldığı bir çalışmada kanola yağının peroksit değeri 1,23-1,62 meq/ O_2 olarak bulunmuştur (Pawłowicz vd.,2013). Farklı yağ çeşitlerinin floresan ışık altında depolandığı bir araştırmada ise yağ örneklerinin ışığa maruziyetine bağlı olarak depolamanın başlangıcında ve sonunda değişen peroksit değerleri; soya yağı için 3,89-20,8 meq/ O_2 , kanola yağı için 3,17-18,5 meq/ O_2 ve ayçiçek yağı için 5,85-23,88 meq/ O_2 şeklinde bildirilmiştir (Ahmed vd., 2011). Hashem vd. (2023) farklı ortamlarda depoladıkları bitkisel yağların peroksit değerleri floresan ışığa maruz bırakılan ayçiçeği yağı için 11 meq O_2/kg yağ, soya yağı için 11,9 meq O_2/kg yağ ve palm yağı için 7,7 meq O_2/kg yağ; karanlıkta depolanan ayçiçeği yağı için 7,5 meq O_2/kg yağ, soya yağı için 8,9 meq O_2/kg yağ ve palm yağı için 5,5 meq O_2/kg yağ olarak bildirmişlerdir. Farklı ortamlarda 6 gün boyunca depolanan soğuk sıkım ayçiçek yağının beyaz ışık altındaki peroksit değerleri değişimi başlangıçta 29,58 meq O_2/kg iken depolamanın sonunda 116,97 meq O_2/kg olarak bildirilmiştir (Kıralan ve Kıralan, 2017). Yapılan bir diğer çalışmada farklı oranlarda biberiye ekstraktı eklenen ve farklı sıcaklıklardaki kızartma işlemine tabi

tutulan ghee sadeyağının peroksit değerleri incelendiğinde; ilk 15 dakikada $4,21 \pm 0,14$ mM O_2 /kg-yağ olurken 60 dakika sonunda ise $8,65 \pm 0,21$ mM O_2 /kg yağ değerlerine ulaştığı bildirilmiştir (Rahila vd., 2017). Chen vd. (2014) etanolik biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) ekstraktı ekledikleri ayçiçek yağını $60^\circ C$ 'de 3 haftalık depolamanın ardından 200 mg/kg^{-1} biberiye ekstraktı içeren bitkisel yağın, kontrol numunesine göre daha düşük peroksit $75,7 \text{ meq kg}^{-1}$ değerine sahip olduğu bulunmuştur. Maiza vd. (2020) maserasyon yöntemi ile %6 oranında toz biberiye baharatı eklemiş olduğu ghee yağ örneklerinde 21 günlük depolamanın sonucunda peroksit değerini $6,80 \text{ meq } O_2 / \text{kg}$ olarak hesaplarlarken kontrol örneğinin peroksit değerini $8,20 \text{ meq } O_2 / \text{kg}$ şeklinde hesapladıklarını belirtmişlerdir. Koyuncu ve Tunçtürk (2017) yaptıkları bir çalışmada $4^\circ C$ 'de karanlıkta ve floresan ışık altında depoladığı tereyağı örneklerinde 90 günlük depolamanın sonunda peroksit değerlerinin $\text{meq } O_2/\text{kg}$ cinsinden karanlıkta depolanan tereyağı örnekleri için 2,45 ile 2,72 arasında, floresan ışık altında depolanan örnekler için ise 7,24 ile 18,09 değerleri arasında hesapladıklarını bildirmişlerdir. Diğer çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da peroksit değeri üzerinde karanlık ortama göre floresan ışıklı ortamın daha etkili olduğu bildirilmiştir. Aynı şekilde tüm depolama şartlarında, biberiye uçucu yağı eklenen sadeyağ örneklerinin kontrol örneğine göre daha düşük peroksit değerleri olarak oksidasyon stabilitesini koruduğu görülmüştür.

5.3.3. p-Anisidin

Çalışmamızdan elde edilen ortalama *p*-anisidin değerlerinin kontrol, BYS ve α -T-S grupları açısından sırasıyla karanlık ortamda 3,32; 3,32 ve 3,06 ve UV ışıklı ortamda 4,44; 4,15 ve 3,53 ile floresan ışıklı ortamda 5,17; 4,03 ve 3,38 şeklinde değiştiği tespit edilmiştir. Çalışmalarda kullanılan yağlar çeşitlilik gösterse de depolama şartlarına bağlı olarak *p*-anisidin değerlerinin arttığını literatürdeki diğer çalışmalar da göstermiştir. Pawłowicz vd. (2013) UV ışık depolamasının farklı çeşitlerdeki soğuk sıkım kanola yağının depolama süresi boyunca *p*-anisidin değerinin 0,23-1,20 arasında değişerek arttığını belirtmişlerdir. Djikeng vd.(2025) yaptıkları bir çalışmada sırasıyla karanlık ortamda ve güneş ışığında 90 gün boyunca izledikleri *p*-anisidin değerlerini susam yağı için 15,46 ile 66,10 arasında; ayçiçeği yağı için 22,05 ile 47,18 arasında; hardal yağı için 14,33 ile 51,61 arasında; yarfıstığı yağı için 7,36 ile 48,24 arasında ve pirinç kepeği yağı için 100,11 ile 107,99 arasında

arttığını bildirmişlerdir. Chen vd. (2014) etanolik biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) ekstraktı ekledikleri ayçiçek yağını 60 °C’de 3 haftalık depolamanın ardından 200 mg/kg⁻¹ biberiye ekstraktı içeren bitkisel yağ örneğinin kontrol numunesine oranla, daha düşük *p*-anisidin (12,4) değerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Tohma ve Turan (2015) kızartma sıcaklığındaki fındık yağına farklı oranlarda ekledikleri biberiye baharatı, biberiyenin etanol ve metanol ekstraktları ve biberiye uçucu yağının bitkisel yağın *p*-anisidin değerlerine olan etkisini inceledikleri bir çalışmada, kızartma işleminin başlangıcında kontrol grubunun *p*-anisidin değeri 2 iken, 6. günün sonunda bu değer 60,9 değerine yükseldiğini ancak biberiye ilaveli bitkisel yağların 6. günün sonundaki *p*-anisidin değerlerinin biberiye uçucu yağı katkılı örnek için 41,1; biberiye etanolik ekstraktı içeren örnek için 38,1; biberiye metanolik ekstraktı katkılı örnek için 40,5; farklı oranlardaki biberiye baharatı ilaveli örnek için 46,7 ve 35,2 bulduklarını bildirmişlerdir.

5.3.4. Şanlıurfa sadeyağında renk

Tohma ve Turan (2015) tarafından fındık yağında yapılan bir çalışmada kızartma işleminin başlangıcında ve 6 gün sonrasındaki değişimi kontrol örneği için L* değerini 41,20 -34,20, a* değerini -1,09 -2,20, b* değerini 4,65 -18,91 şeklinde bulmuşlardır. Biberiye uçucu yağı ekledikleri yağdaki değişimleri ise L* değeri 40,65– 37,88; a* değeri -1,19 – 0,12 ve b* değeri ise 4,59– 17,69 şeklinde bildirmişlerdir. Djikeng vd. (2025) yaptıkları bir çalışmada farklı bitkisel yağların karanlık ortamda ve güneş ışığında 90 günlük depolamanın sonunda yağ örneklerinin renk parametrelerini incelemişlerdir. Güneş ışığında depolanan tüm yağ örneklerinin kırmızı ve sarı renk değerlerinde önemli bir seviyede azalma olduğunu buna karşılık karanlıkta depolanan örneklerde bu değerlerde önemli bir değişimin olmadığını bildirmişlerdir. Depolama boyunca özellikle farklı ışık kaynaklarına tabi tutulan yağ ve yağlı ürünlerde oluşan renk değişimleri doğal renk pigmentlerinin fotooksidasyon sonucu parçalanması ile ilişkilidir. Karotenoidler gibi yağların yapısında doğal olarak bulunan pigmentlerin ışığın etkisiyle bozunması yağlardaki b* değerinin azalmasına yol açmaktadır. Çalışmamızla benzer şekilde Ahmed vd. (2011) yaptıkları bir çalışmada floresan ışığa maruz bırakılan bitkisel ve hayvansal kaynaklı yağlarda renk kaybının yaşandığını ve yağların renklerinde ağarma meydana geldiğini bildirmişlerdir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı konsantrasyonlarda biberiye uçucu yağı ilavesinin Şanlıurfa Sadeyağının oksidatif stabilitesi, depolama stabilitesi ve tahmini raf ömrü üzerine etkileri farklı ışık koşullarında depolama süreci boyunca kapsamlı olarak incelenmiş ve biberiye uçucu yağının Şanlıurfa sadeyağında doğal antioksidan olarak kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen ön denemeler sonucunda belirlenen optimum biberiye uçucu yağı konsantrasyonu kullanılarak hazırlanan sadeyağı örnekleri UV-C ışık, floresan lamba ve karanlık ortam koşullarında 25 °C’de 20 gün süreyle depolanmış; depolama süresince meydana gelen oksidatif değişimler peroksit değeri, *p*-anisidin değeri, serbest yağ asitliği, renk parametreleri ve Ransimat analizleri ile değerlendirilmiştir.

Araştırma sonuçları, depolama süresi ve ışık koşullarının sadeyağın oksidatif stabilitesi üzerinde belirleyici faktörler olduğunu göstermiştir. Depolama süresi boyunca tüm örneklerde oksidatif bozulma göstergelerinde artış meydana gelmesine rağmen, biberiye uçucu yağı ilave edilen örneklerde bu artışın kontrol grubuna göre daha düşük düzeyde gerçekleştiği belirlenmiştir. Özellikle peroksit değeri ve *p*-anisidin değerindeki değişimler, biberiye uçucu yağının primer ve sekonder oksidasyon ürünlerinin oluşumunu önemli ölçüde yavaşlattığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde serbest yağ asitliği değerlerinin daha düşük seviyelerde seyretmesi, doğal antioksidan uygulamasının hidrolitik bozulmayı da sınırlandırabildiğini göstermektedir. Ransimat analizlerinden elde edilen sonuçlar ise biberiye uçucu yağı ilavesinin sadeyağın indüksiyon süresini uzatarak oksidatif stabiliteyi artırdığını ve ürünün tahmini raf ömrünü iyileştirdiğini ortaya koymuştur.

Araştırmada ayrıca depolama ortamının oksidasyon sürecini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Özellikle floresan ve UV-C ışığına maruz bırakılan örneklerde oksidatif değişimlerin daha hızlı gerçekleştiği, karanlık ortamda depolanan örneklerde ise oksidasyonun daha yavaş ilerlediği görülmüştür. Bu durum, yalnızca doğal antioksidan kullanımının değil, uygun depolama koşullarının da sadeyağın kalite özelliklerinin korunmasında önemli rol oynadığını göstermektedir. Dolayısıyla ürün kalitesinin sürdürülebilirliği açısından antioksidan uygulaması ile uygun depolama koşullarının birlikte değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmanın en önemli bilimsel katkılarından biri, coğrafi işaretli bir süt yağı ürünü olan Şanlıurfa Sadeyağında biberiye uçucu yağının doğal antioksidan olarak kullanım potansiyelini ortaya koymasındır. Literatürde doğal antioksidanların farklı yağ sistemlerinde oksidasyonu geciktirici etkilerini inceleyen çalışmalar bulunmasına rağmen, Şanlıurfa Sadeyağında biberiye uçucu yağının oksidatif stabilite, depolama stabilitesi ve raf ömrü üzerine etkilerini bütüncül olarak değerlendiren çalışmaların bulunmaması, bu araştırmanın özgün değerini artırmaktadır. Elde edilen bulgular, doğal antioksidanların geleneksel süt yağı ürünlerinde kalite kayıplarını azaltmada etkin şekilde kullanılabileceğini göstermesi bakımından literatüre önemli katkı sağlamaktadır.

Endüstriyel açıdan değerlendirildiğinde, biberiye uçucu yağının uygun konsantrasyonda kullanılması, sentetik antioksidanlara doğal bir alternatif oluşturabilecek potansiyele sahiptir. Bu durum, tüketicilerin doğal katkı maddelerine yönelik artan taleplerini karşılamanın yanı sıra, sadeyağın depolama süresince kalite özelliklerinin korunmasına, raf ömrünün uzatılmasına ve ekonomik kayıpların azaltılmasına katkı sağlayabilir. Ayrıca coğrafi işaretli Şanlıurfa Sadeyağının kalite standardının korunması ve pazardaki rekabet gücünün artırılması açısından da elde edilen sonuçların üreticilere yol gösterici nitelikte olduğu değerlendirilmektedir.

Bununla birlikte çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Araştırma yalnızca belirli bir depolama sıcaklığında (25 °C), üç farklı ışık koşulunda ve ön çalışmalar sonucunda belirlenen tek bir biberiye uçucu yağı konsantrasyonunda yürütülmüştür. Ayrıca uçucu yağın aktif bileşenlerinin kimyasal karakterizasyonu gerçekleştirilmemiş ve tüketici kabulüne yönelik duyuşal değerlendirmeler kapsamlı olarak incelenmemiştir. Bu nedenle elde edilen sonuçların farklı üretim koşullarına doğrudan genellenmesi dikkatle değerlendirilmelidir.

Gelecekte gerçekleştirilecek çalışmalarda farklı depolama sıcaklıkları, daha uzun depolama süreleri, farklı doğal antioksidan konsantrasyonları ve doğal antioksidan kombinasyonlarının birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir. Ayrıca biberiye uçucu yağının aktif bileşenlerinin (özellikle karnozik asit, karnosol ve rosmarinik asit) oksidatif stabilite üzerindeki etkilerinin ayrıntılı olarak araştırılması, GC-MS gibi ileri analitik tekniklerle uçucu yağ bileşiminin karakterize edilmesi ve doğal antioksidan uygulamalarının tüketici

kabulü, ekonomik uygulanabilirliği ve endüstriyel üretim koşullarındaki performansının değerlendirilmesi, bu alandaki bilgi birikimine önemli katkılar sağlayacaktır.

Sonuç olarak, biberiye uçucu yağının Şanlıurfa Sadeyağında doğal antioksidan olarak kullanılmasının oksidatif bozulmayı yavaşlattığı, depolama stabilitesini geliştirdiği ve ürünün tahmini raf ömrünü uzattığı belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, hem bilimsel açıdan doğal antioksidanların süt yağı ürünlerindeki etkinliğini desteklemekte hem de coğrafi işaretli geleneksel ürünlerin kalite özelliklerinin korunmasına yönelik uygulamalara önemli katkılar sunmaktadır. Bu yönüyle çalışma, Şanlıurfa Sadeyağının kalite standartlarının geliştirilmesi ve doğal koruyucu kullanımına yönelik gelecekte yapılacak araştırmalar için önemli bir bilimsel altyapı oluşturmaktadır.

7. ÖNERİLER

Tüm bu sonuçlar incelendiğinde;

- Sadeyağ gibi hayvansal kaynaklı yağlarda oksidasyon kararlılığını desteklemek amacıyla kullanılması gereken optimum biberiye uçucu yağı oranı 75 ppm olarak tespit edilmiştir. Ancak daha düşük oranlarda BY kullanımı denenmesi ve antioksidan etkinliği araştırılması,

- Sadeyağın en az % 99 süt yağı içermesi ve doymuş bir yağ olmasından dolayı serbest yağ asitliğinin depolama koşullarındaki farklılıklardan etkilenmediği gözlemlenmiş ve bu sebeple serbest yağ asitliğinin tek başına bir oksidasyon nedeni olarak değerlendirilmemesi, bunun yanında peroksit değeri, *p*-anisidin değeri ve renk parametreleri ile birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abeyrathne, E. D. N. S., Nam, K., & Ahn, D. U. (2021). Analytical methods for lipid oxidation and antioxidant capacity in food systems. *Antioxidants*, 10(10), Makale 1587. <https://doi.org/10.3390/antiox10101587>
- Ahmed, T., Atta, S., Sohail, M., Khan, A. R., & Akhtar, S. (2011). Effect of fluorescent light on quality and stability of edible fats and oils. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 33(2), 233–237.
- Al-Dalain, S. Y. A., Al-Fraihat, A. H., & Al-Kassasbeh, E. T. (2011). Effect of aromatic plant essential oils on oxidative stability of sunflower oil during heating and storage. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(9), 864–870.
- Alruwaih, N. A., & Yaylayan, V. A. (2017). Comparative evaluation of bioactive compounds in lyophilized and tray-dried rocket (*Eruca sativa*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), Makale e13205. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13205>
- American Oil Chemists' Society. (2017). *Official method Ca 5a-40: Free fatty acids in crude and refined fats and oils* [In Official methods and recommended practices of the AOCS, 7th ed.]. AOCS.
- Anonim. (2018). *Şanlıurfa sadeyağı (Urfa yağı)*. Coğrafi İşaretler Portalı. <https://ci.turkpatent.gov.tr/cografi-isaretler/detay/38155>
- AOAC. (2000). *Peroxide value of oils and fats (Method 965.33.12)* [In Official methods of analysis of AOAC International, 17th ed.]. AOAC International.
- Bahinipati, J., & Acharya, V. (2017). A study on oxidative stability and physico-chemical alterations under different storage conditions in commonly used edible oils in India. *Biomedicine*, 36(4, Supplement). <https://www.researchgate.net/publication/319456221>
- Bañares, C., Martín, D., Reglero, G., & Torres, C. F. (2019). Protective effect of hydroxytyrosol and rosemary extract in a comparative study of the oxidative stability of Echium oil. *Food Chemistry*, 290, 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.141>
- Baño, M. J. D., Lorente, J., Castillo, J., Benavente-García, O., del Río, J. A., Ortuño, A., Quirin, K. W., & Gerard, D. (2003). Phenolic diterpenes, flavones, and rosmarinic acid distribution during the development of leaves, flowers, stems, and roots of *Rosmarinus officinalis*: Antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(15), 4247–4253. <https://doi.org/10.1021/jf0300745>
- Baydir, A. T., Soltanbeigi, A., & Maral, H. (2023). The Antioxidant Effect of Rosemary on the Oxidation Stability of Refined Sunflower Oil. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 60–65. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1233032>
- Baytop, T. (1984). *Türkiye'de Bitkilerle Tedavi* [Ecz. Fak. Yayın No: 40]. İ.Ü.

- Begum, A., Sandhya, S., Shaffath, A. S., Vinod, K. R., Swapna, R., & Banji, D. (2013). An in-depth review on the medicinal flora *Rosmarinus officinalis* L. (Lamiaceae). *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 12(1), 61–74.
- Bozin, B., Mimica-Dukić, N., Samojlik, I., & Jovin, E. (2007). Antimicrobial and antioxidant properties of rosemary and sage (*Rosmarinus officinalis* L. and *Salvia officinalis* L., Lamiaceae) essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(19), 7879–7885. <https://doi.org/10.1021/jf0715323>
- Casarotti, S. N., & Jorge, N. (2012). Antioxidant activity of rosemary extract in soybean oil under thermoxidation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(2), 136–145. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00755.x>
- Chen, X., Zhang, Y., Zu, Y., Yang, L., Lu, Q., & Wang, W. (2014). Antioxidant effects of rosemary extracts on sunflower oil compared with synthetic antioxidants. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(2), 385–391. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12311>
- Chetia, M. P., Ashraf, G. J., Sahu, R., Nandi, G., Karunakaran, G., Paul, P., & Dua, T. K. (2025). Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) essential oil: A review of extraction technologies and biological activities. *Next Research*, 2, Makale 100545. <https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.100545>
- Chipault, J. R., Mizuno, G. R., Hawkins, J. M., & Lundberg, W. O. (1952). The antioxidant properties of natural spices. *Journal of Food Science*, 17(1), 46–55. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1952.tb16737.x>
- Çelik, Ş., Ünver, N., & Yakar, Y. (2020). Karacadağ bölgesinde üretilen Şanlıurfa sadeyağı ile Tulum yağının bazı kalite karakteristikleri. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(5), 1200–1208. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.682189>
- Çeliktaş, O. Y., Girgin, G., Orhan, H., Wichers, H. J., Bedir, E., & Vardar-Sukan, F. (2007). Screening of free radical scavenging capacity and antioxidant activities of *Rosmarinus officinalis* extracts with focus on location and harvesting times. *European Food Research and Technology*, 224(4), 443–451. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0306-0>
- Demir, T., Andiç, S., & Oğuz, Ş. (2024). Determination of free fatty acids and volatile compounds of butter oil produced from pasteurized and unpasteurized butter at different temperatures. *Food Science & Nutrition*, 12, 8280–8296. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4433>
- Dıraman, H., & Baydir, A. T. (2017). Yağların oksidasyon kararlılıklarının tespit edilmesinde kullanılan hızlandırılmış stabilite metotları ve bu metotların karşılaştırılması. *Gıda ve Yem Bilimi - Teknolojisi Dergisi*, 18(2), 34–41. <https://izlik.org/JA79UG37FP>
- Dıraman, H., & Hışıl, Y. (2010). Bazı bitkisel (zeytin, fındık ve karışım) yağlara baharat ilavesinin oksidatif stabilite ve yağ asitleri bileşenleri üzerine etkisi. *Gıda*, 35(1), 1–7. <https://izlik.org/JA39RF89YB>

- Dias, L. S., Menis, M. E. C., & Jorge, N. (2015). Effect of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) extracts on the oxidative stability and sensory acceptability of soybean oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(11), 2292–2299. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6914>
- Djikeng, F. T., Ninying, V.-T. Z. S., Karuna, M. S. L., Forlemu, L. A., & Womeni, H. M. (2025). Monitoring the influence of sunlight on the oxidative stability, color, and fatty acid composition of sunflower, sesame, groundnut, mustard, and rice bran oils. *Future Postharvest and Food*, 2, 205–215. <https://doi.org/10.1002/fpf2.70010>
- Ergün, B. Z. (2025). *Zahter (Thymbra spicata L.) fenolik ekstraktının Şanlıurfa sadeyağının oksidatif stabilitesi üzerine etkisi* [Yüksek lisans tezi]. Harran Üniversitesi [YÖK Ulusal Tez Merkezi].
- Erkan, N., Ayranci, G., & Ayranci, E. (2008). Antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract, blackseed (*Nigella sativa* L.) essential oil, carnosic acid, rosmarinic acid and sesamol. *Food Chemistry*, 110(1), 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.058>
- Farhoosh, R. (2007). Shelf-life prediction of edible fats and oils using rancimat. *Lipid technology*, 19(10), 232–234.
- Faydaoğlu, E., & Sürücüoğlu, M. S. (2011). Geçmişten Günümüze Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kullanılması ve Ekonomik Önemi. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 11(1), 52–67. <https://izlik.org/JA42YU59AX>
- Gashi, A., Arapcheska, M., & Rexhepi, F. (2020). Effect of rosemary extract (*Rosmarinus officinalis* L.) on thermal stability of sunflower oil. *Food And Environment Safety*, 19(4), 267–274.
- Geng, L., Liu, K., & Zhang, H. (2023). Lipid oxidation in foods and its implications on proteins. *Frontiers in Nutrition*, 10, Makale 1192199. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1192199>
- Gilbraith, W. E., Carter, J. C., Adams, K. L., Booksh, K. S., & Ottaway, J. M. (2021). Improving prediction of peroxide value of edible oils using regularized regression models. *Molecules*, 26(23), Makale 7281. <https://doi.org/10.3390/molecules26237281>
- Gökbulut, I., Karaman, Y., & Tursun, A. Ö. (2022). Chemical composition, phenolic, antioxidant, and bio-herbicidal properties of the essential oil of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 21(4), 71–82. <https://doi.org/10.24326/asphc.2022.4.3>
- Göktaş, Ö., & Gıdık, B. (2019). Tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanım alanları. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 136–142.
- Guo, M., Yang, L., Li, X., Tang, H., Xue, Y., & Duan, Z. (2023). Antioxidant efficacy of rosemary extract in improving the oxidative stability of rapeseed oil during storage. *Foods*, 12(19), Makale 3583. <https://doi.org/10.3390/foods12193583>

- Guo, Q., Gao, S., Sun, Y., Gao, Y., Wang, X., & Zhang, Z. (2016). Antioxidant efficacy of rosemary ethanol extract in palm oil during frying and accelerated storage. *Industrial Crops and Products*, 94, 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.032>
- Güler, H. D. (2019). *Biberiye, fesleğen, kekik, nane ve stevyanın toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitesi üzerine kurutma yöntemlerinin etkisi* [Yüksek lisans tezi]. Bursa Uludağ Üniversitesi [YÖK Ulusal Tez Merkezi].
- Hashem, H. A., El-Waseif, M. A., El-Kolaly, M. M., & Abdel-Razek, A. G. (2023). Effect of long-term storage in light and dark at room temperature on physicochemical characteristics of some vegetable oils. *Egyptian Journal of Nutrition*, 38(1), 162–197. <https://doi.org/10.21608/ENJ.2023.301804>
- Hashim, A., Fatima, F., & Malave, P. (2025). Therapeutic potential of rosemary: Bridging traditional uses and modern applications. *Biotechnology Journal International*, 29(4), 1–13. <https://doi.org/10.9734/bji/2025/v29i4781>
- Hraš, A. R., Hadolin, M., Knez, Ž., & Bauman, D. (2000). Comparison of antioxidative and synergistic effects of rosemary extract with α -tocopherol, ascorbyl palmitate and citric acid in sunflower oil. *Food Chemistry*, 71(2), 229–233. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00161-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00161-8)
- Hussain, A. I., Anwar, F., Chatha, S. A. S., Jabbar, A., Mahboob, S., & Nigam, P. S. (2010). Rosmarinus officinalis essential oil: Antiproliferative, antioxidant and antibacterial activities. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41(4), 1070–1078.
- İnanç, T., & Maskan, M. (2013). Testing the antioxidant effect of essential oils and BHT on corn oil at frying temperatures: A response surface methodology. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90(12), 1845–1850. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2351-8>
- Kayahan, M. (2003). *Yağ kimyası*. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık.
- Kıralan, S. S., & Kıralan, M. (2017). Soğuk Pres Ayçiçeği Yağının Farklı Depolama Koşullarındaki Oksidatif Stabilitesi. *Akademik Gıda*, 15(2), 155–162. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.333672>
- Koyuncu, M., & Tunçtürk, Y. (2017). Effect of packaging method and light exposure on oxidation and lipolysis in butter. *Oxidation Communications*, 40(2), 785–798.
- Kumbhare, S., Prasad, W., Khamrui, K., Wani, A. D., & Sahu, J. (2023). Recent innovations in functionality and shelf life enhancement of ghee, clarified butter fat. *Journal of Food Science and Technology*, 60(1), 11–23. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05335-7>
- Li, P., Yang, X., Lee, W. J., Huang, F., Wang, Y., & Li, Y. (2021). Comparison between synthetic and rosemary-based antioxidants for the deep frying of French fries in refined soybean oils evaluated by chemical and non-destructive rapid methods. *Food Chemistry*, 335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127638>

- Maiza, A., Caprioli, G., Sagratini, G., Vittori, S., Papa, F., Ricciutelli, M., & Fiorini, D. (2020). Butter oil (ghee) enrichment with aromatic plants: Chemical characterization and effects on fibroblast migration in an in-vitro wound healing model. *Arabian Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.10.017>
- Malayoğlu, H. B. (2010). Biberiyenin (*Rosmarinus officinalis* L.) antioksidan etkisi. *Hayvansal Üretim*, 51(2), 59–67.
- Mehta, B. M. (2009). Butter, butter oil, and ghee. İçinde R. A. Moreau & A. Kamal-Eldin (Ed.), *Gourmet and health-promoting specialty oils* (ss. 527–559). AOCS Press. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-97-4.50027-9>
- Meza, N. G., Noriega-Rodríguez, J. A., Leyva-Carrillo, L., Ortega-García, J., Bringas-Alvarado, L., García, H. S., & Medina-Juárez, L. A. (2009). Antioxidant activity comparison of Thompson grape pomace extract, rosemary and tocopherols in soybean oil. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33(1), 110–120. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00285.x>
- Mezza, N. G., Borgarello, V. A., Grosso, R. N., Fernandez, H., Pramparo, C. M., & Gayol, F. M. (2018). Antioxidant activity of rosemary essential oil fractions obtained by molecular distillation and their effect on oxidative stability of sunflower oil. *Food Chemistry*, 242, 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.042>
- Moczkowska, M., Karp, S., Horbańczuk, O. K., Hanula, M., Wyrwisz, J., & Kurek, M. A. (2020). Effect of rosemary extract addition on oxidative stability and quality of hemp seed oil. *Food and Bioproducts Processing*, 124, 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.08.002>
- Mortensen, B. K. (2011). Anhydrous milk fat/Butter oil and ghee. İçinde J. W. Fuquay, P. F. Fox & P. L. H. McSweeney (Ed.), *Encyclopedia of Dairy Sciences* (2. bs., ss. 515–521). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00328-9>
- Najgebauer-Lejko, D., Grega, T., Sady, M., & Domagała, J. (2009). The quality and storage stability of butter made from sour cream with addition of dried sage and rosemary. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 25(5–6), 753–761.
- Narlıoğlu, E. (2024). *Biberiye yağ bileşenlerinin belirlenmesi ve bazı biyolojik özelliklerinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Balıkesir Üniversitesi.
- Nieto, G. (2018). Antioxidant and antimicrobial properties of rosemary (*Rosmarinus officinalis*, L.): A review. *Medicines*, 5(3), Makale 98. <https://doi.org/10.3390/medicines5030098>
- Niranjan, N., Kumar, S., Kumar, M., & Kumar, R. (2020). Comparative study on keeping quality of market ghee under accelerated storage conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(9), 2507–2512.
- Odeh, D., Kraljić, K., Skukan, A. B., & Škevin, D. (2021). Oxidative stability, microbial safety, and sensory properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil infused

- with spices and herbs. *Antioxidants*, 10(5), Makale 785. <https://doi.org/10.3390/antiox10050785>
- Öz, M. N. A., & Velioglu, M. (2024). Balıkesir yöresinden toplanan biberiye ve fesleğen bitkilerine ait uçucu yağların antioksidan ve antimikotik özelliklerinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(3), 783–794. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1378455>
- Pawłowicz, R., Gromadzka, J., Tynek, M., Tylingo, R., Wardencki, W., & Karlovits, G. (2013). The influence of UV irradiation on degradation of virgin rapeseed oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115(6), 648–658. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201200126>
- Rahila, M. P., Nath, B. S., Naik, N. L., Pushpadass, H. A., Manjunatha, M., & Franklin, M. E. E. (2017). Rosemary (*Rosmarinus officinalis* Linn.) extract: A source of natural antioxidants for imparting autoxidative and thermal stability to ghee. *Journal of Food Processing and Preservation*, Makale e13443. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13443>
- Ruiz-Aracama, A., Alberdi-Cedeño, J., Nieva-Echevarria, B., Martinez-Yusta, A., & Goicoechea-Oses, E. (2025). Effect of rosemary extract on sunflower oil degradation studied by ¹H NMR: Differences under frying conditions and accelerated storage. *Food Chemistry*, 474, Makale 143146. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143146>
- Salido, S., Altarejos, J., Nogueras, M., Sánchez, A., & Luque, P. (2003). Chemical composition and seasonal variations of rosemary oil from southern Spain. *Journal of Essential Oil Research*, 15(1), 10–14. <https://doi.org/10.1080/10412905.2003.9712248>
- Senanayake, S. P. J. N. (2018). Rosemary extract as a natural source of bioactive compounds. *Journal of Food Bioactives*, 2, 51–57. <https://doi.org/10.31665/JFB.2018.2140>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Song, X., Sui, X., & Jiang, L. (2023). Protection function and mechanism of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract on the thermal oxidative stability of vegetable oils. *Foods*, 12(11), Makale 2177. <https://doi.org/10.3390/foods12112177>
- Sserunjogi, M. L., Abrahamsen, R. K., & Narvhus, J. A. (1998). A review paper: Current knowledge of ghee and related products. *International Dairy Journal*, 8(8), 677–688. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(98\)00106-X](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(98)00106-X)
- Tabar, B., & Baştürk, A. (2018). Farklı bitkisel ekstraktların ayçiçeği yağının oksidatif stabilitesi üzerine etkileri. *Gıda*, 43(2), 333–346. <https://doi.org/10.15237/gida.GD17115>

- Tanrıverdi, E. (2011). *Kızartma yağlarının stabilitesi üzerine bazı baharat uçucu yağlarının etkisi* [Yüksek lisans tezi]. Selçuk Üniversitesi.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2025, Nisan 4). *Türk Gıda Kodeksi Tereyağı ve Sadeyağ Tebliği (Tebliğ No: 2025/9)* [Sayı: 32860]. Resmî Gazete. Erişim tarihi Ağustos 16, 2026, **from** <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=42352&MevzuatTur=9&MevzuatTertip=5>
- Tawaha, K., Alali, F. Q., Gharaibeh, M., Mohammad, M., & El-Elmat, T. (2007). Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. *Food Chemistry*, 104(4), 1372–1378. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.064>
- Tekin, T. (2021). *Beyaz, yeşil ve siyah çay özütlerinin ayçiçek yağının oksidatif stabilitesi üzerine etkisi* [Yüksek lisans tezi]. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tohma, S., & Turan, S. (2015). Rosemary plant(*Rosmarinus officinalis* L.), solvent extract and essential oil can be used to extend the usage life of hazelnut oil during deep frying. *Europeon Journal of Lipid Science and Technology*, 117(12), 1978–1990. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400382>
- Tompkins, C., & Perkins, E. G. (1999). The evaluation of frying oils with the p-anisidine value. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(8), 945–947. <https://doi.org/10.1007/s11746-999-0111-6>
- Urbančič, S., Kolar, M. H., Dimitrijević, D., Demšar, L., & Vidrih, R. (2014). Stabilisation of sunflower oil and reduction of acrylamide formation of potato with rosemary extract during deep-fat frying. *LWT – Food Science and Technology*, 57(2), 671–678.
- Ünal, R. N., & Besler, H. T. (2008). *Beslenmede sütün önemi*. Sağlık Bakanlığı.
- Ünver, N., Çelik, Ş., & Yakar, Y. (2021). Storage stability and fatty acid composition of Sanlıurfa butterfat. *mljekarstvo*, 71(2), 124–131. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2021.0205>
- Vitali, D., Dragojević, I. V., & Šebečić, B. (2009). Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fibre on the selected nutritional and functional properties of biscuits. *Food Chemistry*, 114(4), 1462–1469. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.032>
- Xie, J., VanAlstyne, P., Uhler, A., & Yang, X. Q. (2017). A review on rosemary as a natural antioxidation solution. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(6), Makale 1600439. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600439>
- Yang, Y., Song, X., Sui, X., Qi, B., Wang, Z., Li, Y., & Jiang, L. (2016). Rosemary extract can be used as a synthetic antioxidant to improve vegetable oil oxidative stability. *Industrial Crops and Products*, 80, 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.044>
- Yazıcı, S. Ö., Aşkın, B., & Kaynarca, G. B. (2020). Kekik ve biberiye esansiyel yağlarının uçucu bileşenleri ve antioksidan özelliklerinin belirlenmesi. *Turkish Journal of*

Agriculture - Food Science and Technology, 8(10), 2105–2112. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i10.2105-2112.3560>