

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇEŞİTLİ YAĞLARLA ÜRETİLEN NANOMATERYALLERİN
KAREKTERİZASYONU ve DİYET BİSKÜVİ ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Mehmet Mustafa EKİN
DANIŞMAN: Doç. Dr. Raciye MERAL
II. DANIŞMAN: Doç. Dr. Zafer CEYLAN

VAN-2022

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇEŞİTLİ YAĞLARLA ÜRETİLEN NANOMATERYALLERİN
KAREKTERİZASYONU ve DİYET BİSKÜVİ ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Mehmet Mustafa EKİN

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2020-8843
No'lu proje olarak desteklenmiştir

VAN-2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Raciye MERAL danışmanlığında, Mehmet Mustafa EKİN tarafından sunulan **“Çeşitli Yağlarla Üretilen Nanomateryallerin Karakterizasyonu ve Diyet Bisküvi Üretiminde Kullanımı”** isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 21/04/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Raciye MERAL

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Yağmur ERİM KÖSE

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KÖTEN

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 10/05/2022 tarih ve 2022/22-I sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mehmet Mustafa EKİN

ÖZET

ÇEŞİTLİ YAĞLARLA ÜRETİLEN NANOMATERYALLERİN KAREKTERİZASYONU ve DİYET BİSKÜVİ ÜRETİMİNDE KULLANIMI

EKİN, Mehmet Mustafa
Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Raciye MERAL
II. Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zafer CEYLAN
Mayıs 2022, 111 sayfa

Bu çalışmada; çörekotu, hindistan cevizi, susam ve üzüm çekirdeği yağları kullanılarak boyutları 169.81-363.40 nm arasında değişen nanoemülsiyonlar elde edilmiş, nanoemülsiyonların karakterizasyonu yapılmış ve bisküvi üretiminde yağ ikame maddesi olarak kullanım olanağı araştırılmıştır. Çalışma sonucu elde edilen verilere göre; % 50 oranında yağı azaltılan ve yerine 2 gram kadar nano boyutta yağ eklenen bisküvilerin enerji değeri kontrol bisküvilerine göre % 8.6 ile 12.82 arasında düşürülmüştür.

Nanoemülsiyonların yağ yerine kullanılması ile kontrol bisküvilerine göre sertlik miktarı daha az, yayılma oranı daha yüksek bisküviler elde edilmiştir. Bisküvilerin yayılma oranı değerleri 5.18 ile 7.84 arasında değişmiştir. Nanoemülsiyon ilave edilerek üretilen bisküvilerin yayılma oranının, kontrol bisküvilerinin yayılma oranına göre yaklaşık % 36 ile 51 arasında arttığı belirlenmiştir.

Doymuş yağ miktarı, kontrol bisküvilerine kıyasla nanoemülsiyon içeren bisküvilerde % 9.40 ile % 44.29 oranı arasında düşürülmüştür. Duyusal analiz sonuçlarına göre bisküvilerin duyusal özellikleri tam yağlı kontrol bisküvisine benzer çıkmış ve bisküvilerde yağın azaltıldığının panelistler tarafından anlaşılmadığı belirlenmiştir. Bu çalışma ile nanoemülsiyonlarda bulunan ve yüzey alanı genişletilmiş yağ nedeniyle, nanoemülsiyonların bisküvi kalitesi üzerinde olumsuz etki oluşturmadaan yağ ikame maddesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Diyet bisküvi, Nanoteknoloji, Nanoemülsiyon, Yağı azaltılmış bisküvi

ABSTRACT

THE CHARACTERIZATION OF NANOMATERIALS MADE WITH VARIOUS OILS and THEIR USE IN DIET COOKIE PRODUCTION

MSc. Thesis, Department of Food Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Raciye MERAL
II. Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zafer CEYLAN
May 2022, 111 pages

In this study; nanoemulsions ranging in size from 169.81-363.40 nm were obtained by using black cumin, coconut, sesame, and grape seed oils, the nanoemulsions were characterized and the possibility of using as a fat substitute in cookie production was investigated. According to the data obtained as a result of the study; the energy value of the cookies, whose fat was reduced by 50% and 2 g of nano-sized oil was added instead, was reduced between 8.6 and 12.82% compared to the control cookies.

By using nanoemulsions instead of fat, cookies having less hardness value and higher spread ratio were obtained compared to control cookies. Spread ratio values of cookies varied between 5.18 and 7.84. It was determined that the spread ratio of the cookies produced by adding nanoemulsion increased between 36 and 51% compared to the control cookies.

The amount of saturated fat was reduced between 9.40% and 44.29% in the cookies containing nanoemulsion. According to the sensory analysis results, the sensory properties of the cookies were similar to the full-fat control cookies and it was determined that the panelists did not understand the fat reduction in the cookies. With this study, it was concluded that nanoemulsions can be used as a fat replacer without adversely affecting the quality of cookies, due to the expanded surface area of nanoemulsions.

Key words: Diet cookies, Nanotechnology, Nanoemulsion, Reduced fat biscuit



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında; nanoteknoloji yolu ile üretilen nanoemülsiyonların; yağ oranı % 50 oranında azaltılmış bisküvilerde yağ yerine kullanım olanağı araştırılmıştır. Nanoteknoloji kullanılarak diyet (yağı azaltılmış) bisküvi üretimini konu alan bu elinizdeki çalışma, uzun ve yoğun emeğin harcandığı bir sürecin neticesidir. Bu süreçte çalışmanın meydana gelmesinde pek çok kişinin katkısı söz konusudur. Öncelikle yüksek lisans eğitimim sürecinde çalışmalarımı alakalı fikirleri ve tavsiyeleri ile sürecin başarılı bir şekilde tamamlanmasına katkı sağlayan, bu araştırma konusunun tespitinden tamamlanmasına kadar geçen her evrede yardımlarını esirgemeyen, eleştiri ve tavsiyeleriyle çalışmanın her aşamasında beni yönlendiren, fikirleriyle ve çalışmalarıyla bana ilham kaynağı olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Raciye MERAL'e, ikinci tez danışmanım Doç. Dr. Zafer CEYLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı FYL-2020-8843 No'lu proje olarak destekleyen Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na; araştırma esnasında yakın ilgi ve desteğiyle kıymetli zamanı ayıran, analizlerime yardımcı olarak destek veren hocam, Prof. Dr. İsa CAVİDOĞLU'na, teknik analiz bilgilerinden yararlandığım hocam Doç. Dr. Emre BAKKALBAŞI'na, Dr. Öğr. Üyesi Yağmur ERİM KÖSE'ye, Arş. Gör. Dr. Emine OKUMUŞ'a, Arş Gör. Tahir YÜCEL'e ve çalışmada gerçekleştirdiğim analizlere ev sahipliği yapan laboratuvarların geliştirilmesinde emeği olan, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım tüm Gıda Mühendisliği bölüm hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her aşamasında yardımları olan kıymetli arkadaşım Aslıhan ALAV'a, analizlerime yardımcı olan değerli arkadaşım Doğan YAŞAR'a, Nazan KUTLU'ya ve Gülşen Berat TORUSDAĞ'a teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde yanımda olan, desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

2022

Mehmet Mustafa EKİN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
EKLER DİZİNİ.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ.....	7
2.1. Bisküvi.....	7
2.2. Yağın Bisküvideki Fonksiyonları	8
2.3. Yağ İkame Maddeleri	8
2.4. Bisküvide Yağ Azaltma Çalışmaları ve Yaşanan Problemler	9
2.5. Nanoteknoloji	14
2.5.1. Gıda endüstrisi ve biliminde nanoteknoloji uygulamaları	16
2.5.2. Nanoemülsiyonlar	17
2.5.2.1. Gıdalarda nanoemülsiyon uygulamaları	18
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	23
3.1. Materyal.....	23
3.2. Yöntem	23
3.2.1. Nanoemülsiyon üretimi	23
3.2.2. Nanoemülsiyonların karakterizasyonu.....	26
3.2.2.1. Kriyo-TEM analizi.....	26
3.2.2.2. Termal karakterizasyon analizi.....	26
3.2.2.3. Zeta potansiyel (ZP) analizi, boyut ve polidispersite indeksi (PDI) analizi	26
3.2.3. Bisküvi üretimi.....	27
3.2.3.1. Hamurun hazırlanması, şekillendirilmesi ve pişirilmesi	27

	Sayfa
3.2.4. Bisküvi analizleri	29
3.2.4.1. Kimyasal analizler	29
3.2.4.1.1. Nem tayini	29
3.2.4.1.2. Kül tayini	30
3.2.4.1.3. Protein tayini	30
3.2.4.1.4. Yağ miktarı tayini.....	31
3.2.4.1.5. Karbonhidrat ve enerji tayini.....	32
3.2.4.2. Bisküvi fiziksel analizleri	32
3.2.4.2.1. Bisküvilerde pişme kaybı	32
3.2.4.2.2. Bisküvilerde yayılma oranı.....	32
3.2.4.2.3. Bisküvilerin renk değerleri	32
3.2.4.2.4. Tekstürel özellikler	33
3.2.4.3. Fenolik madde ve antioksidan aktivitesi tayinleri	33
3.2.4.3.1. Fenolik maddelerin ekstraksiyonu.....	33
3.2.4.3.2. Toplam fenolik madde (TFM) tayini.....	34
3.2.4.3.3. Bisküvilerde DPPH radikal süpürme yöntemi ile antioksidan aktivite (AA) tayini.....	34
3.2.4.3.4. Fenolik madde ve antioksidan madde biyoerişilebilirliği (BE-TFM ve BE-AA).....	35
3.2.4.4. Bisküvi yağ analizleri	36
3.2.4.4.1. Bisküvilerden yağ ekstraksiyonu.....	36
3.2.4.4.2. Serbest yağ asitliği tayini	36
3.2.4.4.3. Peroksit sayısı (PS) tayini.....	37
3.2.4.4.4. Tiyoarbitürik asit sayısı (TBA) tayini	38
3.2.4.4.5. Yağ asidi kompozisyonu tayini	38
3.2.4.5. Duyusal analiz	39
3.2.4.6. İstatistiksel analiz.....	39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	41
4.1. Nanoemülsiyonların Karakterizasyonu	41
4.1.1. Nanoemülsiyonların ortalama boyut, zeta potansiyel (ZP) ve polidispersite indeksi (PDI) analiz bulguları.....	41

	Sayfa
4.1.2. Nanoemülsiyonların morfolojisi	43
4.1.3. Nanoemülyonların termal karakterizasyonu	46
4.2. Bisküvi Kimyasal Analizleri	49
4.2.1. Nem miktarı	49
4.2.2. Kül miktarı	52
4.2.3. Protein miktarı.....	52
4.2.4. Yağ miktarı.....	53
4.2.5. Karbonhidrat miktarı.....	54
4.2.6. Enerji değeri	55
4.3. Bisküvilerin Fiziksel Özellikleri.....	56
4.3.1. Pişme kaybı	56
4.3.2. Renk	58
4.3.3. Bisküvilerin çap, kalınlık ve yayılma oranı değerleri	60
4.3.4. Sertlik ve kırılma.....	64
4.4. Bisküvi Yağı Analizleri	68
4.4.1. Serbest yağ asitliği (SYA).....	68
4.4.2. Peroksit değeri.....	71
4.4.3. Tiyobarbitürik asit sayısı (TBA) tayini	75
4.4.4. Yağ asidi profili.....	78
4.5. Bisküvilerde TFM analizleri.....	81
4.6. Bisküvilerde antioksidan aktivite (DPPH) tayini	84
4.7. Duyusal analiz	86
5. SONUÇ	93
KAYNAKLAR.....	99
ÖZ GEÇMİŞ.....	111

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Örnek kodları ve içeriği.....	29
Çizelge 3.2. Bisküvi formülasyonları	29
Çizelge 3.3. Gaz kromatografisinin çalışma koşulları	39
Çizelge 4.1. Nanoemülsiyonların ortalama boyut, ZP ve PDI değerleri	41
Çizelge 4.2. Bisküvilerin kimyasal özellikleri ve enerji değerleri	51
Çizelge 4.3. Bisküvilerde pişme kaybı	57
Çizelge 4.4. Bisküvilerin renk değerleri.....	58
Çizelge 4.5. Bisküvilerin çap, kalınlık ve yayılma oranı değerleri	60
Çizelge 4.6. Bisküvilerin 0, 45 ve 90. depolama günlerindeki sertlik değerleri	64
Çizelge 4.7. Bisküvilerin 0, 45 ve 90. depolama günlerindeki kırılabilirlik değerleri ...	67
Çizelge 4.8. Bisküvilerin 0, 45 ve 90. depolama günlerindeki % SYA değerleri	68
Çizelge 4.9. Bisküvilerin 0, 45 ve 90. depolama günlerindeki peroksit değerleri.....	71
Çizelge 4.10. Bisküvilerin 0, 45 ve 90. depolama günlerindeki TBA değerleri	76
Çizelge 4.11. Bisküvilerin yağ asidi profili	80
Çizelge 4.12. Bisküvilerin toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/kg) ve biyoerişilebilirlik değerleri	82
Çizelge 4.13. Bisküvilerin antioksidan aktivitesi ve biyoerişilebilirlik değerleri	84
Çizelge 4.14. Bisküvilerin duyu özellikleri ve satın alma isteği değerlendirmesi	87



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Nanoemülsiyon üretimi	24
Şekil 3.2. Birincil emülsiyon ve nanoemülsiyonların görüntüsü	25
Şekil 3.3. Bisküvi üretimi	27
Şekil 3.4. Pişme öncesi ve sonrası görünüm	28
Şekil 3.5. Kırma testi	33
Şekil 4.1. Çörekotu yağı nanoemülsiyonu.....	44
Şekil 4.2. Hindistan cevizi yağı nanoemülsiyonu.....	44
Şekil 4.3. Susam yağı nanoemülsiyonu	45
Şekil 4.4. Üzüm çekirdeği yağı nanoemülsiyonu	45
Şekil 4.5. ÇY örneklerinin termogramı	47
Şekil 4.6. HCY örneğinin termogramı	47
Şekil 4.7. SY örneğinin termogramı	48
Şekil 4.8. UÇY örneğinin termogramı	48
Şekil 4.9. Elde edilen bisküvi örneklerinde çap değerinin belirlenmesi sırasında çekilen fotoğraf	62
Şekil 4.10. Elde edilen bisküvi örneklerinde kalınlık değerinin belirlenmesi sırasında çekilen fotoğraf.....	62
Şekil 4.11. Depolama boyunca bisküvilerden ekstrakte edilen yağların % SYA değerlerinde meydana gelen değişim.....	70
Şekil 4.12. Depolama boyunca bisküvilerden ekstrakte edilen yağların peroksit değerlerinde meydana gelen değişim.....	73
Şekil 4.13. Depolama boyunca bisküvilerden ekstrakte edilen yağların TBA değerlerinde meydana gelen değişim.....	76
Şekil 4.14. Toplam fenolik madde sonuçları	83
Şekil 4.15. Antioksidan aktivite sonuçları.....	85
Şekil 4.16. Duyusal değerlendirme sonuçları	87



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
α	Alfa
β	Beta
γ	Gama
%	Yüzde oranı
°C	Santigrat derece
μg	Mikrogram
μl	Mikrolitre
μm	Mikrometre
a^*	Kırmızı-yeşil renk oluşumu
b^*	Sarı-mavi renk oluşumu
cm	Santimetre
dk	Dakika
g	Gram
H	Kalınlık
kg	Kilogram
kV	Kilovolt
L^*	Parlaklık
log kob/g	Logaritma Koloni oluşturan birim /Gram
m	Numunenin kütlesi, miktarı, g
Mbar	Milibar
meq	Miliekivalent
meq g O ₂ /kg	Miliekivalent gram oksijen/Kilogram
mg	Miligram
mg GAE/kg	Miligram Gallik asit eşdeğeri/Kilogram
mg MDA/kg	Miligram Malondialdehit/Kilogram
mL	Mililitre

Simgeler**Açıklama****mm**

Milimetre

mm/s

Milimetre/Saniye

mV

Milivolt

N (Sertlik ve kırılma)

Newton

N (Çözelti)

Normailite

nm

Nanometre

ppm

Milyonda bir çözelti

Rpm

Dakikada devir sayısı

v/v

Hacimde hacimce yüzde

W

Çap

w/v

Hacimde ağırlıkça yüzde

Kısaltmalar

Açıklama

AA	Antioksidan aktivite
AA-SÖ	Sindirim öncesi antioksidan aktivite
AA-SS	Sindirim sonrası antioksidan aktivite
AACC	Amerikan Hububat Kimyacılar Birliği
AOAC	Analitik Kimyacılar Birliği
AOCS	Amerikan Yağ Kimyagerleri Birliği
BE-AA	Antioksidan madde biyoerişilebilirliği
BE-TFM	Toplam fenolik madde biyoerişilebilirliği
BGF	<i>Vigna mungo</i> unu
BHA	Bütüllemiş Hidroksi Anisidin
BHT	Bütüllemiş Hidroksi Tolüen
CN	Yağ miktarı % 50 azaltılmış ve çörekotu yağı nanoemülsiyonu içeren bisküviler
COVID-19	Koronavirüs hastalığı, 2019
ÇY	Çörekotu yağı nanoemülsiyonu
DLS	Dinamik ışık saçılımı
DPPH	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
EFG	İnülün ve sızma zeytinyağı bazlı bir emülsiyon dolgulu jel
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
HCY	Hindistan cevizi yağı nanoemülsiyonu
HN	Yağ miktarı % 50 azaltılmış ve hindistan cevizi yağı nanoemülsiyonu içeren bisküviler
Kriyo-TEM	Kriyojenik geçirimli elektron mikroskobu
KT	Kontrol bisküvileri
LRF	Lotus kökü unu
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü

Kısaltmalar**Açıklama****OSA Nişastası**

Sodyum oktenil süksinat nişastası

PDI

Polidispersite endeksi

PEG

Polietilen glikol

PS

Peroksit sayısı

SNYağ miktarı % 50 azaltılmış ve susam yağı
nanoemülsiyonu içeren bisküviler**SY**

Susam yağı nanoemülsiyonu

SYA

Serbest yağ asitliği

TBA

Tiyobarbitürik asit

TFM

Toplam fenolik madde

TFM-SÖ

Sindirim öncesi toplam fenolik madde

TFM-SS

Sindirim sonrası toplam fenolik madde

UÇY

Üzüm çekirdeği yağı nanoemülsiyonu

UNYağ miktarı % 50 azaltılmış ve üzüm çekirdeği yağı
nanoemülsiyonu içeren bisküviler**YFMŞ**

Yüksek fruktozlu mısır şurubu

YK

Yağ miktarı % 50 azaltılmış kontrol bisküvileri

ZP

Zeta potansiyel

EKLER DİZİNİ

Sayfa

Ek 1. Duyusal değerlendirme formu.....	109
--	-----



1. GİRİŞ

İnsan beslenmesi açısından tahılların en önemli özelliği yüksek oranda karbonhidrat içermeleridir. Enerji sağlayıcı özelliklerinin yanısıra tahıl ürünlerinin doyum sağlayıcı fonksiyonu kayda değer bir öneme sahiptir. Tat ve aroma yönünden bıkırtıcı olmaması tüketim sıklığını ve oranını arttırmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı tahıllar, çağlar boyu bıkıp usanmadan yenilegelen gıda maddesi olma özelliklerini korumaktadır (Meral, 2011).

İşlenmiş tahıl ürünleri içerisinde yer alan ve sevilerek tüketilen bisküvi, insan sağlığı için gerekli olan karbonhidratlar, yağlar ve lifler gibi besin öğelerini içerir. Bisküvilerin besin değeri, onları dünya çapında çok tercih edilen bir gıda haline getirmiştir. Hazır gıdaya yönelik artan talep, bisküvi pazarının da büyümesini sağlamıştır. Bisküvi pazarının büyümesini sağlayan ana faktörler, bisküvinin kolay bulunabilirliği ve doyurucu bir atıştırmalık tercihi olmasıdır.

Kent yaşamı kültürünün oluşması, aktif yaşam, kadınların iş hayatına aktif katılımı, çalışma hayatına bağlı olarak evde geçirilen sürenin azalması, yemek pişirmek için zamanın kısıtlı olması ve artan gelir seviyesi nedeniyle atıştırmalık gıdaların tüketimi gün geçtikçe artmaktadır. Bu sebeplere bağlı olarak, atıştırmalık gıda kategorisinde bulunan bisküvinin de talebi her geçen gün artmaktadır.

Hazır ve işlenmiş gıdalara yönelik artan talep beraberinde beslenmeye bağlı sağlık problemlerini getirmiştir. Çağımızın en önemli hastalıklarının ana sebebi obezite olmuştur. Obezite günümüzde dünyanın karşı karşıya olduğu, küresel salgın haline gelmiş insanlığın en önemli sorunlarından biridir. Yapılan araştırmalar pek çok ülkede aşırı kilo ve obezite görülme sıklığının hızla arttığını göstermektedir (Steelman ve Westman, 2016).

Obezite görülme sıklığı, 1975 yılından günümüze kadar bütün yaş gruplarında giderek artarak neredeyse üç kat artış göstermiş ve epidemi olarak tanımlanabilecek düzeye gelmiştir (DSÖ, 2020). Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development-OECD) OECD ülkelerinde yetişkin obezite oranlarının 2010 yılında ortalama % 21 olduğunu ve bu oranın 2016 yılında % 24'e yükseldiğini bildirmiştir (OECD, 2016).

2019 yılında 20 OECD ülkesinde, yetişkin bireylerin % 60'ının fazla kilolu veya obez olduğu tespit edilmiştir. (OECD, 2019)

Dünya Sağlık Örgütü'nün verilerine göre; 2016 yılında, dünya üzerinde 18 yaş ve üzeri 1.9 milyardan fazla yetişkin insanın aşırı kilolu olduğu ve bunların 650 milyondan fazlasının obez olduğu ortaya çıkmıştır. 2016 yılında, 18 yaş ve üzeri bireylerin % 39'u aşırı kilolu ve % 13'ü obez olarak belirlenmiştir. 2020 yılında 5 yaşın altındaki 39 milyon çocuğun aşırı kilolu veya obez olduğu tespit edilmiştir (DSÖ, 2020).

Dünya Sağlık Örgütü'nün 2016 istatistiklerine göre, Türkiye'deki 18 yaş ve üstü nüfusun % 32.1'inin obez olduğu, Sağlık Bakanlığı'nın 2016 yılı verilerine göre ise Türkiye'de 15 yaş ve üzeri nüfusun % 19.6 oranında obez olduğu bildirilmiştir. Sağlık Bakanlığı 2020 yılında nüfusun % 21.1'inin obez olduğunu belirlemiştir. Bu veriler ile obezitenin giderek arttığı belirlenmiştir (TUİK, 2020).

OECD ülkelerinde obeziteye bağlı hastalıkların, önümüzdeki 30 yıl içinde ortalama insan yaşam süresinin 2.7 yıl kadar azalmasına sebep olacağı; ayrıca sağlık harcamalarında yüksek tedavi maliyetlerine yol açacağı beklenmektedir (OECD, 2019). Yüksek vücut kitle indeksine bağlı olarak 2019 yılında dünya çapında 5 milyon ölüm gerçekleştiği tahmin edilmektedir (Institute for Health Metrics and Assessment, 2020). Ayrıca obezitenin, insanlarda önemli COVID-19 semptomları gösterdiği ve COVID-19'dan ölme riskine soktuğu bildirilmiştir (Katz, 2021; Tartof ve ark., 2020).

Obezite, diyabet, kardiyovasküler hastalıklar ve belirli kanserler dahil olmak üzere çeşitli bulaşıcı olmayan hastalıklar için önemli bir risk faktörüdür (OECD, 2019). Kalorisi yüksek gıdaların, trans yağların ve doymuş yağların yüksek miktardaki tüketimi ve giderek artan hareketsiz yaşam tarzları, artan küresel obezite oranlarına katkıda bulunmuştur. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'ne göre obezite; vücutta sağlığı bozacak kadar fazla miktarda yağ birikmesiyle ortaya çıkmaktadır. ABD ve Avrupa'da yağ tüketimi toplam günlük kalorinin yaklaşık % 40'ını oluştururken, sağlık uzmanları bu oranın % 30'u geçmemesini tavsiye etmektedir (Zoulias ve ark., 2002a). Bu tavsiyenin nedeni, yüksek yağ alımının obezite, kanser, yüksek kan kolesterolü ve koroner kalp hastalığı gibi çeşitli sağlık bozukluklarına yol açmasıdır (Akoh, 1998).

Kardiyovasküler bozukluklar ve obezite dahil olmak üzere birçok hastalığın dünya çapındaki insidansı ve prevalansı, doymuş ve trans yağlar dahil olmak üzere

yüksek kalorili gıdaların tüketimi ile ilişkilidir (DSÖ, 2020). Dünya Sağlık Örgütü, gıda endüstrisinin, dünyadaki yüksek obezite oranını azaltmak için, işlenmiş gıdaların yağ içeriğini azaltması gerektiğini belirtmiştir (Laguna ve ark., 2012).

Günümüzde bilim ve teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte, insanlar sağlıklı yaşama ve daha faydalı gıdalar tüketme arayışı içine girmişlerdir. Vücuda alınması ile oluşabilecek hastalıkların riskini azaltan sağlıklı gıdaların üretilmesi ise son yıllarda gıda endüstrisinin öncelikli hedefleri içerisinde yer almaktadır.

Dünya’da obezite artarken sosyo-ekonomik durumun artmasına paralel olarak sağlıklı beslenme bilinci de artmıştır. Günümüzdeki temel beslenme problemlerinin çoğunun, yüksek miktarda yağ ve şeker tüketimi ile ilişkili ciddi sağlık sorunları olduğu anlaşılmış ve neticesinde kalorisi azaltılmış ürünlere olan talep her geçen gün artmıştır. Bu nedenle, birçok gıda üreticisi ve bilim adamı, doymuş ve trans yağlar kullanmadan yağı değiştirmek veya yapılandırmak için alternatif yaklaşımlar aramaya odaklanmış, böylece ürünün duyuşal profilini değiştirmeden yağların işlevselliğini sağlamaya odaklanmıştır.

Bisküvi enerji değeri oldukça yüksek olan endüstriyel gıda ürünlerinin içinde önemli bir yere sahiptir. Son yıllarda bisküvi üzerine yürütölen çalışmalarda kalori değeri azaltılmış bisküvi formölasyonu tasarlanması üzerine yoğunlaşmıştır.

Bisküvi üretiminde kullanılan şorteningler, hamurun oluşumundan ve reolojik yapısından, son ürün olan bisküvinin tekstörü ve duyuşal kalitesinden sorumlu temel bileşendir. Ancak son yıllarda sağlık bilincinin artması ve sağlıklı besinlere olan yönelim, bisküvi gibi yüksek miktarda şeker ve yağ içeren ürünlerin tüketimini sınırlandırmayı gerektirmektedir. Çünkü yağın aşırı tüketimi; obezite, yüksek kolesterol ve koroner kalp hastalıkları gibi birçok hastalıkla ilişkilendirilmektedir. Günümüz bireylerinin daha sağlıklı bir hayat yaşamak için tercihleri; tuz, şeker, katkı maddeleri miktarının az, kalori değerinin düşük, lif miktarının yüksek olduğu gıdalar yönünde olmaktadır. Bisküvi gibi karmaşık bir gıda sistemi içindeki yağ, kolayca ikame edilememektedir. Bu nedenle yağ içeriğini azaltmak ve kabul edilebilir özelliklere sahip bisküvi elde etmek için yağ ikame ediciler kullanılmaktadır.

Pratikte bisküvi gibi kalorisi yüksek gıdalardaki doymuş yağ içeriğini azaltmak için katı yağ yerine bitkisel yağ kullanmak mümkündür. Ancak bitkisel yağ kullanımı, daha yağlı ve daha az gevrek nihai ürünlere neden olmakta ve doymamış yağ asitlerinin

oksidasyonu nedeniyle depolama stabilitesini azaltmaktadır (Mert ve Demirkese, 2016). Bisküvilerde yağın azaltılması artan sağlık problemlerini azaltmada etkili bir yaklaşım olmasına rağmen, yağın azaltılmasıyla bisküvinin tüketici tarafından kabul edilebilirliğinde de azalmalar meydana gelmekte ve yağı azaltılan bisküvilerde gevrekliğin ve ağızda dağılmanın azalması gibi istenmeyen sorunlar meydana gelmektedir.

Nanobilim ve nanoteknoloji 21. yüzyılın en önemli araştırma, uygulama ve inovasyon alanlarından biri olarak hızla gelişmektedir. Günümüzde nanoteknoloji; elektronik, bilgisayar, tekstil, malzeme ve ilaç sanayinde kullanılmıştır ve bu teknolojinin gıda alanında da çok çeşitli uygulamalarının olacağı öngörülmektedir. Gıda sanayinde nanoteknoloji uygulamaları yeni yeni başlamakla birlikte diğer sanayi dallarına göre uygulamalar sınırlıdır.

Nanoteknolojinin gıda endüstrisinde ki potansiyel uygulamaları arasında; yeni ürün geliştirme, gıda işleme ve hazırlama kolaylığı, fonksiyonel gıdaların oluşturulması, biyoaktif maddelerin taşınması ve kontrollü salınımı, mikroorganizmaların tespiti, paketleme alanındaki yenilikleri ile ürünlerinin raf ömrünün uzatılması gibi uygulamalar sayılabilmektedir.

Nanomalzemelelerin özellikleri makro ve mikro muadillerinden oldukça farklı olabildiğinden, nanoteknoloji birçok teknolojik soruna çözüm sunabilmektedir. 20 ile 500 nm arasında değişen partikül boyutuna sahip nanoemülsiyonlar; hidrofilik, lipofilik fazlar ve emülgatörlerden oluşan sistemlerdir. Nanoemülsiyonlar nano boyutları, şeffaflıkları veya hafif bulanık görünimleri nedeniyle; sos ve şurup gibi içeceklerin içerisinde yer alan aktif maddeleri ısı, ışık, oksidasyon gibi dış etkenlerden korur ve biyoyararlanımının artırılmasına olanak sağlar (Abdou ve ark., 2018; Donsi ve Ferrari, 2016; Ribes ve ark., 2017). Nanoemülsiyonlar, suda çözünmeyen bileşenlerin sulu sistemlerde dağılmasını sağlar ve geniş bir yüzey alanı sağlar (Meral ve ark., 2019). Genişletilmiş yüzey alanı, nanoteknolojinin elde ettiği önemli avantajlardan biridir. Makro ve mikro ölçekli malzemelerle yapılabilecek çalışmalar az miktarda nano boyutlu malzemelerle de yapılabilmektedir. Bu bağlamda Meral ve ark. (2019), 40 g balık filetolelerini 15-20 mg nano boyutlu nisin içeren nanoliflerle kaplamış ve 15-20 mg nano boyutlu nisinin balıkların raf ömrünü uzatabileceğini göstermiştir. Yine, Ceylan ve ark. (2020), uskumru filetolelerinin oksidatif stabilitesini iyileştirmek için nano boyutlu

buğday ruşeymi yağı kullandıkları çalışmada 150 g balık filetosu için içerisinde 180 mg buğday ruşeymi yağı bulunan, 3.6 mL nanoemülsiyon kullanmışlardır. Bu çalışmaların sonuçlarından da anlaşılabacağı gibi, normalde geniş bir yüzeyi az miktarda aktif bileşenle kaplamak mümkün olmasa da, genişletilmiş yüzey alanına sahip nanomateryaller ile aktif bileşenler ürün yüzeyinde dağıtılmıştır.

Bu çalışmada, çağımızın teknolojisi olan nanoteknoloji ile yağların boyutlarının küçültülmesi, yüzey alanı genişletilen yağların hamur sistemi içerisinde dağılımının artırılması ve sistemde yağ miktarının azaltılması ile enerji değeri düşürülmüş diyet bisküvi üretimi amaçlanmıştır. Bu amaçla, bisküvi formülasyonunda yer alan şorteningin % 50'si azaltılarak azaltılan miktar kadar yerine çörekotu yağı, hindistan cevizi yağı, susam yağı ve üzüm çekirdeği yağları ile hazırlanan nanoemülsiyonlar eklenerek bisküvinin fiziksel, kimyasal, fonksiyonel ve duyuşal özellikleri incelenmiştir.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

2.1. Bisküvi

Bisküvi; yumuşak buğday unundan üretilen, yağ (şortening), şeker ve/veya şeker şurupları kabartıcı madde, emülgatör, aroma maddeleri (vanilya gibi) ve gerektiğinde süt, süt tozu, peynir altı suyu tozu, meyve kurusu, damla çikolata gibi maddelerin eklenip su ile yoğrulması, şekil verilip dinlendirildikten sonra pişirilmesi ile hazırlanan bir gıda maddesidir. Bisküvi, yüksek oranda yağ (şortening), şeker ve kısmen düşük oranda da su içeren bir üründür (Anonim, 1986; Claughton ve Pearce, 1989; Hosenev, 1998).

Bisküvinin tarihi Romalılara dayanmaktadır. Latince’de “bi costus” ve Fransızca’da “bescoit” olarak bilinen bisküvi bu sözcüklerden türetilmiş olup, “iki defa pişirilmiş” anlamına gelmektedir. 19. yüzyıla kadar lüks bir tüketim maddesi olarak kabul edilen bisküvi; fiyatının ucuz olması, kolay bulunabilmesi, uzun süre saklanabilmesi ve lezzeti nedeniyle modern dünyada artık birçok kişi tarafından tüketilen bir gıda maddesi olmuştur. Bireylerin beslenme alışkanlıklarında meydana gelen değişim ve yoğun iş hayatı nedeniyle yemek yemeye ayrılan zamanın azalması, bisküvi, kek, çikolata gibi atıştırılabilir gıdalara olan talebi de arttırmıştır (Önder, 2016). Bisküvi; esas olarak un, şeker ve yağdan yapılan ekmek ve kek gibi diğer unlu mamullerden, düşük nem içeriği nedeniyle ayrılan bir üründür. Genel olarak % 5’in altında olan nem içeriği nedeniyle 6 ay veya daha uzun bir süre saklanabilmektedir. Bisküvi düşük nem, yüksek yağ (% 27-30) ve şeker oranıyla karakterize edilmektedir. Yağ, bisküvi bileşiminde bulunan en önemli bileşenlerden birisidir (Manley, 2000).

2.2. Yağın Bisküvideki Fonksiyonları

Bisküvi üretiminde kullanılan hammaddeler son ürünün özelliklerini ve kalitesini etkilemektedir.

Bisküvi için yağ ana bileşen olup, undan sonra en fazla kullanılan hammaddedir. Bisküvi üretiminde genel olarak katı yağ grubu içerisinde yer alan şorteningler tercih edilmektedir. Şortening; bisküvi hamurunun oluşturulmasında, hamurun işlenebilme özellikleri ve reolojisinden sorumlu bir bileşendir. Yine son ürün olan bisküvinin tekstür ve duyu kalitesinden (hoşa giden ağız hissi, tat, aroma) sorumlu temel bileşendir. Yapı üzerinde böylesine önemli bir bileşenin azaltılması her zaman yanında belli sorunları ortaya çıkarabilmektedir.

2.3. Yağ İkame Maddeleri

Duyusal olarak yağın ağızda bıraktığı his ve tat, kıvam (yoğunluk, dolgunluk), yağlayıcılık (yumuşaklık, krema hissi) ağız kaplama hissi, absorpsiyon ile adsorpsiyon (tat alıcı hücreler üzerindeki fiziksel etki) ve yapışkanlık gibi birçok fiziksel parametre ile belirlenebilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda gıdalarda azaltılan yağ yerine vücut için olumsuz etkisi olmayan ve bahsedilen duyu özellikleri sağlayabilen yağ ikame maddelerinin kullanımı son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Yağ ikameleri; yağın gıdalara kazandırdığı özelliklerin tümünü ya da bir kısmını sağlayan, fakat yağlardan daha az kalori değerine sahip katkı maddeleridir (Anonim, 2005).

Yağ ikame maddeleri, gıdalarda yağ yerine kullanılan ve gıdanın enerji değerini düşüren katkı maddeleridir. Yağ ikame edici maddeler, yağ taklidi maddeler (fat mimetics) ve yağ benzeri maddeler (fat substitutes) şeklinde sınıflandırılır ve bu maddelerin kombinasyonları kullanılır (Huyghebaert ve ark., 1996). Yağ benzeri maddeler, yağların fonksiyonel ve fiziksel özelliklerini taşırlar (Drake ve Swanson, 1995).

Yağ ikame maddelerinin kendine özgü bir takım özellikleri vardır. Gıdalarda hangi yağ ikame maddesinin kullanılacağı o gıdanın türüne, istenen işlevlere, ikame ve yağ miktarına göre değişebilir. Bir yağ ikame maddesinin taşıması gereken özellikleri genel anlamda şu şekilde sıralanabilir (Grossklaus, 1996):

- Duyusal özellik ve fonksiyonellik açısından, az yağlı veya yağı azaltılmış ürünlerde tam yağlı ürüne yakınlık sağlamalıdır.
- İnsan sağlığını tehdit edici özellik taşımamalıdır.
- Bulunduğu gıda maddesi içinde herhangi olumsuz bir tepkimeye sebep olmamalıdır.
- Tam yağlı gıdaya göre daha az kalori içermelidir.

2.4. Bisküvide Yağ Azaltma Çalışmaları ve Yaşanan Problemler

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'nün yaptığı çalışmalar aşırı kilonun genç-yaşlı, kadın-erkek, zengin ve fakir ülke ayrımı yapılmaksızın küresel bir sorun olduğunu; fazla kilo ve obezitenin, dünya çapında gerçekleşen birçok ölümün kaynağını oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu anlamda, bisküvi tüketimi kilo alımına katkı sağlayacak önemli gıda gruplarından birisidir. Buna ilaveten bisküvi üretiminde kullanılan katı yağlar nedeniyle doymamış yağ asitleri ve trans yağ asitlerinden kaynaklanabilecek kalp damar rahatsızlıkları da aşırı bisküvi tüketimiyle ilişkilendirilebilecek bir sorundur. Yukarıda sayılan bu nedenler araştırmacıları, yüksek tüketim oranına sahip olan bisküvide yağın azaltılmasına yönelik çalışmalar yapmaya yöneltmiştir. Bu amaçla çok sayıda araştırmacı, bisküvilerde yağı azaltarak, yağ yerine yağ ikame ediciler kullanarak bisküvi üretmiş ve elde edilen bisküvilerin fiziksel ve duyusal kalite özelliklerini incelemişlerdir.

Yağlar gıdaların hazırlanması ve tüketiminde oldukça önemlidir. Yağlar farklı ürünlerde nem, gevreklik, kırılabilirlik, elastikiyet, kesilebilirlik gibi özellikleri ürüne kazandırabilmektedirler. Bunların dışında gıdalarda tat-aroma ve rengi geliştirir, tekstür ve stabilitesini düzenler. Özellikle pişirilen gıdalarda ısı transferlerinde rolleri vardır (Özat, 2003). Yağ, nem tutma özelliğiyle, fırıncılık ürünlerine tazelik ve nemlilik hissi vermektedir. Yağların ilk sırada yer alan gıdaya kazandırdığı duyusal özelliği, yağda çözünen uçucu aroma bileşenlerinin ağız ve burun yoluyla algılanmasıdır. Bu bileşenler, birçok gıdaya tat ve aroma karakteristiklerini kazandırmaktadır (Serin, 2012).

Yağ içeriğini azaltmak ve kabul edilebilir özelliklere sahip bisküvi elde etmek için yağ ikame ediciler kullanılmaktadır (Laguna ve ark., 2012). Yağ ikame ediciler

gıdalarda yağ yerine kullanıldığında gıdadaki yağı kısmen veya tamamen azaltabilirler (Rothwell, 1997).

Bisküvi ve benzeri fırıncılık ürünlerinde sıklıkla, suyu bağlayarak yağı taklit eden, yağlı ve hoş bir ağız hissiyatı sağlayan, diyet lif vb. karbonhidrat bazlı yağ ikame edicileri kullanılırken, yağın gıdalardan uzaklaştırılması sonucu ortaya çıkabilecek olan problemleri çözmek ve arzu edilen karakteristik özellikleri sağlamak amacıyla; birden fazla yağ ikamesinin uygun kombinasyonlarının oluşturulması, formüle ilave edilecek maddelerin ve işlem basamaklarının da buna uygun olarak ayarlanması gerekmektedir. Çok sayıda maddenin, yağ ikamesi olarak kullanılabilme özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Yağ ikamelerinin kullanıldığı sistemleri formüle etmede en büyük problem, yağın standart üründe verdiği gevreklik, nemlilik ve yağlayıcılık özelliğinin sağlanmasıdır (Bath ve ark., 1992; Nonaka, 1997; Doğan ve Küçüköner, 1999)

Bisküvi gibi karmaşık bir gıda sistemi içindeki yağ, kolayca ikame edilememektedir (Laguna ve ark., 2012). Bisküvideki yağın azaltılması, oldukça zor bir işlem olup, önemli kalite kayıplarına neden olabilmektedir (Lee ve Inglett, 2006). Yağ ikame maddeleri ile standart ürünlere en yakın ürün elde etmenin en zor yanı ağız hissi, tekstür, tat ve kayganlığa ulaşılmaya çalışmaktır (Basman ve ark., 2008).

Konu ile alakalı literatürün bir kısmı incelenecek olursa; bisküvide yağ ikamesi olarak % 20 ile % 50 seviyesinde karbonhidrat bazlı inülinin kullanıldığı bir çalışmada, formülde yağ ikame oranı % 15'in üzerine çıkartıldığında bisküvi tadı panelistler tarafından beğenilmemiş ve bisküvi dokusu sertleşmiştir. Çalışmada bisküvilerde yağ yerine inülin ikamesinin mümkün olduğunu ancak artan inülin ilavesiyle kalite faktörlerinin kötüleştiği, duyu parametrelerde ise azalma belirlendiği bildirilmiştir. Yağ ikamesi ile birlikte özellikle ürünlerin tadının, aromasının ve gevrekliğinin azaldığı belirlenmiştir (Krystyan ve ark., 2015).

Rodríguez-García ve ark. (2013), tarafından inülinin bisküvilerde yağ ikame maddesi olarak kullanıldığı çalışmada; bisküvilerde ki yağ miktarı yerine % 10, 20, 30, 40 oranında inülin kullanılmıştır. % 30 oranındaki yağ ikamesi yapılan bisküvilerde, formülasyonda yağın azalması sebebiyle sert bisküviler elde edilmiştir. İnülin ile yağ ikamesi % 40 olduğunda, sistemi yağlamak için yeterli yağın olmadığı böylece kırılğan bir yapı elde edildiği belirlenmiştir. Çalışmada inülinin bisküvideki yağın yerine % 20 oranına kadar kısmen kullanılabileceğini, yağ ikamesi arttıkça bisküvi çapının azaldığını

belirtmişlerdir. Yine bisküvilerde yağ yerine % 20, 40 ve 50 oranında inülin bazlı emülsiyon dolgulu jellerin kullanıldığı başka bir çalışmada; ikame miktarının artırılması ile bisküvilerin yayılma oranı azalmış ve bisküvi sertliği de giderek artmıştır (Paciulli ve ark., 2020).

Laguna ve ark. (2012), yağı azaltılmış bisküvilerde, yağ miktarının azalması nedeni ile oluşan tekstürel olumsuzlukları düzeltmede ikame maddesi olarak dirençli nişastanın kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Şeker ve ark. (2006), ise yağ ikamesi olarak % 10, 20, 30, 40 oranında enzime dirençli nişasta kullandıkları yağı azaltılmış bisküvilerde, % 30 oranında yağ ikamesi ile kabul edilebilir nitelikte bisküvi elde edildiğini tespit etmiştir. Bisküvilerde yağ ikame maddesi olarak dirençli nişastanın kullanıldığı bir başka çalışmada; yağ oranı % 50 azaltılmış bisküvilerin % 25 azaltılan bisküvilere göre L^* değerleri daha yüksek bulunurken, a^* değerlerinde düşüş gözlemlendiği tespit edilmiştir (Serinyel, 2013).

Bisküvi üretimi için bisküvi yağı yerine ayçiçek yağı-su-selüloz emülsiyonundan oluşan yağ ikamesinin kullanıldığı bir çalışmada; hamur ve bisküvi dokusu özellikleri değerlendirilmiştir. Selüloz emülsiyonu ile hazırlanan bisküvi hamurunun daha yumuşak ve daha elastik olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda, formülasyonunda selüloz emülsiyonu içeren bisküvilerin yayılma oranının da yüksek olduğu belirlenmiştir (Tarancón ve ark., 2012).

Sodyum oktenil süksinat (OSA nişastası) ile stabilize edilmiş emülsiyonların (% 50 ve 70 oranlarında) bisküvilerde yağ ikamesi olarak kullanımının araştırıldığı bir çalışmada; emülsiyon formunda yağ içeren bisküviler, emülsiyon içermeyen bisküvilere kıyasla daha düşük bisküvi yayılma oranına sahip olmuşlardır. Bisküvilerde yağ ikamesi ile bisküvi sertliğinde artış, yayılma oranında azalma ve daha düşük duyusal özellik puanları elde edilmiştir (Dapčević ve ark., 2015).

Bisküvilerde yağ yerine polidekstroz ve guar gamin kullanıldığı bir çalışmada; ikame seviyesindeki artış, daha sert bisküvilere sebep olmuştur (Chugh ve ark., 2015).

Conforti ve ark. (1997), karbonhidrat bazlı çeşitli yağ ikameleri (pektin-gam-yulaf) ile % 33, % 66 ve % 100 oranında yağı azaltılmış bisküvi üretmişlerdir. % 66 ve % 100 ikame seviyeleri ile kontrolden daha hafif bisküviler elde edilmiştir. Yağ ikame edilmiş bisküvilerde muhtelif seviyelerde acı tat tespit edilmiş, pektin bazlı varyasyonlarda, yağ seviyeleri azaldıkça acılığın arttığı ve % 100 yağ ikame edilmiş

bisküvilerde önemli ölçüde acılığın olduğu panelistler tarafından belirtilmiştir. Aynı acılığın gam bazlı bisküvilerde de tespit edildiği bildirilmiştir.

Yağı % 11.5, % 23 ve % 35 oranlarında azaltılan bisküvilerde; pektin ve maltodekstrin kullanımı ile kontrole kıyasla hacimce daha küçük bisküviler elde edilmiş ve bu durum nemin artması sonucu azalan hamur elastikiyetine bağlanmıştır. Çalışmada, tüm örneklerde sertliğin arttığı ve polidekstrozun bisküvilerde % 25 oranından daha yüksek seviyelerde kullanılamayacağı belirtilmiştir (Zoulias ve ark., 2000).

Kayısı çekirdeği ununun bisküvilerde yağ ikame maddesi olarak kullanıldığı çalışmada; % 10, 20, 30 ve 40 oranında kayısı çekirdeği unu içeren bisküvilerin yayılma oranları ve sertliği kontrol grubuna göre olumsuz yönde değişmiştir (Şeker ve ark., 2010).

Bisküvi örneklerinde yağ ikamesi olarak % 5, 10, 15, 20 oranlarında yağ alınmış hardal unu kullanılan bir çalışmada; ikame oranı oranı arttıkça, bisküvi hamurunun ve bisküvinin sertliğinin arttığı tespit edilmiştir (Tyagi ve ark., 2007).

Bisküvi formülasyonunda yağın farklı seviyelerde (% 30, 40 ve 50) ince öğütülmüş buğday kepeği ile ikame edilmesinin hamur yapısı, bisküvi özellikleri ve besin kalitesi üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada; yağ ikame seviyesi arttıkça bisküvi sertliğinin arttığı gevrekliğin ise azaldığı bildirilmiştir. Kepek ile yağ ikamesi bisküvi yayılma oranını da azaltmıştır. Yağ kepek ile % 30'dan daha yüksek seviyelerde ikame edildiğinde, duyuşal özelliklerin önemli ölçüde bozulduğu gözlenmiş ve bu bisküvilerin aroma, tat, dokusal özellikleri ve genel kalitesi panalistler tarafından daha düşük puanlar almıştır (Filipčev ve ark., 2016).

Bisküvilerde yağ ikamesi olarak farklı boyutlardaki buğday kepeği liflerinin hamur reolojisi ve bisküvi kalitesi üzerine etkilerini araştırmak için yapılan bir çalışmada, yağ yerine buğday kepeğinden elde lifler kullanılmıştır. Bisküvi formülasyonunda yağ azaltıldıkça hamur sertleşmiştir. Yağ yerine % 20-30 oranında buğday kepeği lif jellerinin kullanılması, hamurun elastik ve viskoz özelliklerini arttırmıştır. Büyük boy buğday kepeği lifleri, hamurun dokusal özellikleri ve bisküvilerin kalite parametreleri açısından olumlu etkiler göstermiş, daha küçük boyutlu lifler ise kontrole benzer şekilde hamurun viskoelastik özelliklerini geliştirmiştir. Düşük yağlı bisküvi üretiminde bu liflerin kullanımı hamur örneklerinin işlenebilirliği

açısından uygun olmasına rağmen, lif içeriğinin artırılması ve/veya lif boyutunun azaltılması ile daha düşük yayılma oranına sahip daha sert bisküvilere yol açtığı bildirilmiştir (Erinç ve ark., 2018).

Pakistan’da yetismekte olan *Vigna mungo* (BGF) ununun bisküvide yağ ikamesi olarak kullanıldığı bir çalışmada; bisküvi örneklerinin sertlik değerleri arasında önemli ($p<0.05$) farklılıklar bulunmuştur. % 10, 15, 20, 25 ve 50 oranında yağ ikamesi yapılan çalışmada % 50 BGF içeren bisküvi en yüksek sertlik değerine sahip olmuş, bunu % 25 BGF ve % 20 BGF içeren bisküviler takip etmiştir. Yağ ikame oranı % 15 BGF seviyesinin üzerine çıktıkça, bisküvilerin temel duyuşal özelliklerinden biri olan tat skoru; ağızdaki hoş olmayan his ve artan sertlik nedeniyle azalmıştır. % 20 BGF ve % 25 BGF içeren bisküvi örneklerinin dokuları çok sert bulunmuştur. Çalışmada genel kabul edilebilirlik % 15 yağ ikamesine kadar kabul edilebilir seviyede iken, bu ikame seviyesinin üzerine çıkıldıkça azalmıştır (Saeed ve ark., 2020a).

Lotus kökü (LRF) ununun bisküvilerde yağ ikamesi olarak % 5, 10, 15, 20, 25 ve 50 oranlarında kullanıldığı bir çalışmada; yağ ikame seviyesi % 15’in üzerine çıktığında bisküvilerin çapı azalmış, yüksekliği ise önemli ölçüde ($p<0.05$) artmıştır. Yayılma oranı % 10 ikame seviyesine kadar yükselmiş ve ardından düşmüştür. % 10 LRF ve % 15 LRF ilavesi, % 20 LRF ve % 25 LRF ilavesine kıyasla daha az bisküvi sertliği ile sonuçlanmıştır. Bisküvilerde LRF miktarı arttıkça bisküvilerin yüzey rengi açıklık (L^*) ve sarılık (b^*) değerleri azalmıştır. % 15 LRF seviyesinde yağ ikamesi, görünüş, tat, doku ve genel kabul edilebilirlik açısından kontrol bisküvilerinden önemli ölçüde farklı olmamakla birlikte ($p>0.05$), bisküvilerde % 15’in üzerindeki yağ ikamesi, hoş olmayan bir ağız hissi ve daha sert bisküvi tekstürüne neden olmuştur (Saeed ve ark., 2020b).

Karbonhidrat bazlı yağ ikamesi olarak kestane ve keçiyoynuzu unlarının % 25 ve % 50 (ağırlık/ağırlık) oranlarında şortening ile ikame edildiği bisküvi çalışmasında; kontrol örneğinde yağ oranı % 21.80 iken, % 50 kestane ve keçiyoynuzu katkılı bisküvilerin yağ oranının % 11.80 olduğu bildirilmiş ve unlu mamullerde yağ ikamesi olarak kullanımı tavsiye edilmiştir (Çiftçi, 2018).

Mokhtar (2012), bisküvilerde yağ ikame maddesi olarak muz püresi kullandığı çalışmasında; yağın muz püresi ile değiştirilmesinin, genişlik ve yayılma oranı için daha düşük değerlere, ancak kalınlık, hacim ve spesifik hacimde daha yüksek değerlere sahip

bisküvilere sebep olduğunu tespit etmiştir. Duyusal analiz de ise yağ değişiminin görünüm, doku, tat, koku ve genel kabul edilebilirlik açısından daha düşük puanlara sahip bisküvi üretimine yol açtığını bildirmiştir.

Chugh ve ark., (2016) ise yaptıkları bir çalışmada protein bazlı yağ ikame edici (Simplese) içeren az yağlı bisküviler üretmiştir. Optimize edilerek üretilen az yağlı bisküvilerde, yağ içeriğinde az miktarda bir azalmanın, bisküvide sertlik ve gerilme-gerinim oranının artmasına sebep olduğu tespit edilmiştir. Az yağlı bisküvilerin kırılabilirliğinin, protein bazlı yağ ikame ilavesiyle arttığı bulunmuştur. 3 aylık depolama süresince, düşük yağlı bisküvilerin serbest yağ asidi değeri ve peroksit değerindeki artışın daha az olduğu bu nedenle oksidatif açıdan daha kararlı ve kontrol bisküvisinden daha kabul edilebilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Yağ ikame maddesi olarak kullanılan peynir altı suyu proteininin bisküvide genel lezzet ve kabul edilebilirlikte düşüşe yol açması sonucunda, bisküvi için ideal bir yağ ikamesi olmadığı bildirilmiştir (Zoulias ve ark. 2000, 2002b).

Yağ yerine % 25 ve 50 oranlarında dirençli nişasta (RS) ve farklı ticari nişastalar içeren başka bir çalışmada bisküvi ve kek hamurlarında Emjel ilavesiyle sertlik artmıştır. Yağ içeriğini azaltılan bisküvilerde; Hylon VII, Hi-Flo ve CrystaLean (% 50) ikamesi kontrole kıyasla daha yüksek sertliğe sebep olmuştur. Tam yağlı kontrol bisküvilerinin tat puanı 4.8 ve gevreklik puanı 4.8 olarak belirlenirken, az yağlı kurabiyelerin lezzet ve gevreklik skorları % 25 seviyesinde 4.2 ve 4.4'e, % 50 seviyesinde 3.0 ve 3.5'e düşmüştür (Serinyel ve Öztürk., 2017).

2.5. Nanoteknoloji

Nano kelimesi Yunan dilinde “cüce” demektir. Nano ile tanımlanan ölçümler, herhangi bir ölçünün milyarda birini gösterir. Örneğin; nanometre, metrenin milyarda birini ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) ifade etmektedir. Nano yapılar uzunluk olarak bakıldığında ortalama 10-100 atomluk sistemlere (10^{-9} metre) karşılık gelmektedirler. İnsan saç teli çapının ortalama 100.000 nanometre olduğu düşünülürse ne kadar küçük bir ölçekten bahsedilmiş olduğu daha kolay anlaşılmaktadır (Özdoğan ve ark., 2006).

‘Nanometre’ kavramı, ilk kez 1925 yılında kimya alanında Nobel Ödülü kazanan Richard Zsigmondy tarafından önerilmiştir. Richard Zsigmondy, parçacık büyüklüğünü

karakterize etmek için nanometre terimini kullanmış ve mikroskop kullanarak parçacıkların boyutunu ölçen ilk kişi olmuştur (Hulla ve ark., 2015).

Modern nanoteknoloji, 1965 yılında fizik alanında Nobel Ödülü sahibi Richard Feynman ile öne çıkmıştır. 1959 yılında Caltech'teki Amerikan Fiziksel Toplum toplantısı sırasında, atomik seviyede madde manipülasyonu kavramını tanıttığı bir konferans vermiştir. Feynman, *“There's Plenty of Room at the Bottom”* (Temelde yeterince boş yer var) adlı tarihi konuşmasında ilk kez malzemelerin ve aygıtların nanometre aralığındaki özelliklerinin, gelecekte yeni fırsatlara imkân tanıyacağını belirtmiştir. Aynı konuşmada bir örnek vererek, Brittanica Ansiklopedisi gibi 24 ciltlik bir eserin tamamının bir kalem ucuna yazıp sığdırılabileceğini ileri sürmüştür (Feynman, 1959). Bu yeni fikir, yeni düşünme biçimlerini göstermiştir ve Feynman'ın hipotezleri o zamandan beri doğrulanmaktadır.

Feynman'ın dersinden yaklaşık 15 yıl sonra, bir Japon bilimci Norio Taniguchi, bir nanometre mertebesindeki yarı iletken işlemleri tanımlamak için “nanoteknoloji” ifadesini ilk kullanan kişi olmuştur. Nanoteknolojinin, malzemelerin bir atom veya bir molekül tarafından işlenmesi, ayrılması, birleştirilmesi ve deformasyonundan oluştuğunu savunmuştur (Perker, 2010).

Nanoteknolojinin altın dönemi ise 1980'lerde başlamıştır. Nanoteknoloji alanında birçok çalışmaya imza atan Eric Drexler; molekül boyutunda makinelerin, motorların, robot ve bilgisayarların üretilebilme olanaklarından bahsetmiştir. Eric Drexler sonraki 10 yılını nano boyutta cihazların üretilmesi üstüne emek harcayarak geçirmiştir (Perker, 2010).

Nanoteknoloji, malzemelerin nanoboyuta indirgenerek, karakterize edilmesi, maddenin yapısındaki fiziksel ve kimyasal değişimlerinin incelenip yeni yapıların ortaya çıkarılması, ölçüm yapılması, yeni büyük yapı modellemelerinin tasarlanıp uygulamaya konulması gibi çalışmalara olanak verir (Roco ve ark., 1999; Mongillo, 2007).

Nano boyuttaki malzemelerin üstün fiziksel özellikleri vardır. Nano boyuttaki malzemelerin farklı özelliklerinin tespiti ile birlikte; bilişim, iletişim, elektronik, makine, biyoteknoloji, tıp, ilaç, tekstil, inşaat ve savunma sanayileri gibi çeşitli alanlarda devrim niteliğinde yeni ürünlerin üretilmesi sağlanmıştır.

Nanoteknolojinin kullanımı, gıda alanında da artmaya başlamıştır. Gıdaların duyuşal özelliklerinin iyileştirilmesinde, fiziksel özelliklerinin korunmasında, depolama stabilitelerinin artırılmasında, besin içeriklerinin geliştirilmesinde ve biyoaktif maddelerin enkapsülasyonu gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bunlara ilaveten en önemlisi; uygulanacak gıdanın raf ömrünün uzatılabilme imkânıdır.

2.5.1. Gıda endüstrisi ve biliminde nanoteknoloji uygulamaları

Nanobilim ve nanoteknoloji 21. yüzyılın en önemli araştırma, uygulama ve inovasyon alanlarından biri olarak hızla gelişmektedir. Başlıca bilişim, iletişim, elektronik, makine, biyoteknoloji, tıp, ilaç, tekstil, inşaat ve savunma sanayileri gibi çeşitli alanlarda kullanımına yönelik çalışmaların sürdürüldüğü bu teknolojinin, gıda alanında da çok çeşitli, yeni uygulamaları öngörülmektedir.

Bugünün gıda ve gıda imalatı sektöründeki rekabet ortamında firmalar liderliği korumak için yeni yollar arayışı içindedirler. Bunun yanında müşteriler doğal, taze, pratik ve lezzetli gıda ürünleri talep etmektedirler. Gelecekte, ürünlerin performansı artırılarak yeni ürünler ve prosesler geliştirilecektir.

Nanoteknolojinin gıda alanında uygulamaları dört ana başlık altında ifade edilebilir (Tarhan ve ark., 2010):

1. Gıda işleme ve fonksiyonel ürün geliştirilmesi,
2. Biyoaktif maddelerin ve hastalık riskini azaltan ve sağlık üzerinde yararlı etki gösteren besin maddelerinin taşınması ve kontrollü salımı,
3. Patojenlerin tespiti ve gıda güvenliğinin artırılması,
4. Ürün kalitesi ve raf ömrünü olumlu yönde etkileyecek paketlenme sistemlerinin geliştirilmesi.

2.5.2. Nanoemülsiyonlar

Emülsiyonlar, iki karışmayan sıvının birbiri içerisinde dispersiyonudur. Dağınık fazı oluşturan küresel damlacıklar ile onu çevreleyen sıvı sürekli fazdan oluşmaktadır (Ye ve ark., 2010). Basit bir emülsiyon birbiri ile karışmayan iki sıvıdan meydana gelir (genellikle yağ ve su) ve bu sıvılardan biri diğerinin içerisinde küçük küresel damlacıklar şeklinde dağılır. Damlacıkları oluşturan sıvı, dağılmış faz veya iç faz olarak adlandırılırken damlaları çevreleyen sıvı ise sürekli faz veya dış faz olarak adlandırılır. Su/yağ (S/Y), yağ/su (Y/S), çoklu tabakalı nanoemülsiyonlar yağ/su/yağ (Y/S/Y), su/yağ/su (S/Y/S) gibi faz farklılıkları içeren, boyutlarına göre şeffaf, yarı şeffaf ve beyaz renkte nanoemülsiyonlar hazırlanabilmektedir (Zhang ve ark., 2018).

Nanoemülsiyonlar, birbiri içerisinde karışmayan su ve yağ fazının yüzey aktif madde ve/veya yardımcı yüzey aktif madde varlığında oluşturduğu ve dağılan fazın nanometre boyutundaki damlacıklar halinde bulunduğu sistemlerdir. Nano ifadesinin bir gereği olarak damlacık boyutu 1000 nm'nin altındadır (Fast ve Mecozzi, 2009). Nano ölçekte damlacık boyutlarına sahip olan emülsiyonlar literatürde nanoemülsiyon, miniemülsiyon, ultra ince emülsiyon veya mikron altı emülsiyonlar olarak adlandırılmaktadır (Solans ve ark., 2005). Bu terimlerin içerisinde en sık kullanılan ise damlacıkların boyut aralığı hakkında da fikir veren ve mikroemülsiyon (termodinamik açıdan kararlıdır) terimiyle karışmasını önleyen nanoemülsiyon terimidir.

Nanoemülsiyonlar yağ fazı, surfaktanlar veya emülgatörler, aktif içerikler ve diğer katılan içeriklerden oluşur. Yağ fazı temel olarak doğal ve sentetik lipitler, yağ asitleri, orta ve uzun zincirli trigliseritlerden oluşur. Çoğunlukla kullanılan emülgatör ve yardımcı emülgatörler ise doğal ve modifiye edilmiş lesitinler, polietilenoksit, gliseritler ve artı yüklü lipitler, polietilen glikol (PEG) türevleridir (Abamaali ve ark., 2011).

Nanoemülsiyonlar, boyutları küçük olduğundan dolayı geniş yüzey alanı sağlamakta aynı zamanda biyoaktif maddenin çözünme hızı ve oranı ile mukozal geçirgenliği artırmaktadırlar. Nanoemülsiyonların bahsedilen benzersiz özellikleri, onları farmasötik gıda, içecek ve kozmetik endüstrilerinde lipofilik maddeleri kapsülleme, koruma ve sunma için potansiyel bir taşıyıcı haline getirmiştir (McClements ve Rao, 2011; Silva ve ark., 2012).

2.5.2.1. Gıdalarda nanoemülsiyon uygulamaları

Nanoemülsiyonlar, antimikrobiyaller, aromalar, renkler, koruyucular, vitaminler, nutrasötikler ve ilaçlar gibi çeşitli lipofilik aktif bileşenler için; gıda, farmasötik ve kişisel bakım uygulamalarında çalışma sistemleri olarak kullanılırlar. Bu küçük partikül boyutları yüksek optik berraklık, iyi kinetik kararlılık ve yüksek oral biyoyararlanım ile dağıtım sistemleri oluşturmak gibi katkılar sağlamaktadır (Komaiko ve McClements, 2014).

Nanoemülsiyonlar, farklı gıda türlerinde yağ asitleri, polifenoller, vitaminler, doğal renklendiriciler, antimikrobiyaller, bazı mikro besinler ve aromalar gibi işlevsel ajanları taşımak için kullanılabilir. Örneğin içecek endüstrisinde nanoemülsiyonlar; renk, aroma, antioksidanlar ve yağda çözünen vitaminler ve diğer biyoaktif bileşenler için dağıtım sistemleri olarak kullanılır. Nanoemülsiyonların berrak özellik göstermeleri dağıtım sistemleri olarak şeffaf içeceklerde daha uygulanabilir olmalarını sağlamaktadır. Nanoemülsiyonların aroma maddelerini kaplayabileceği ve gıdayı sıcaklıktan, oksidasyondan, enzimatik reaksiyonlardan ve hidroliz gibi bozulma reaksiyonlarından koruyabileceği bildirilmiştir (Chen ve McClements, 2010).

Nanoemülsiyonlar, küçük parçacık boyutu ve yüksek yüzey-hacim oranı sayesinde kapsüllenmiş bileşenin biyoyararlanımını da artırabilmektedir (Acosta, 2009).

Yağda çözünür ancak, suda çözünmeyen formda oldukları için karotenoidler çiğ sebzeler ile alındıklarında biyoyararlanımları oldukça düşüktür. Ribeiro ve ark. (2008)'nin karotenoidlerin sindirim sistemindeki biyoyararlanımlarını artırmak ve sulu sistemlerde çözünürlüğünü geliştirmek için yapmış olduğu çalışmada, β -karoten içeren nanodispersiyonlar hazırlanmıştır. Kullanılan polimerlerin nanodispersiyon fazın kimyasal stabilitesini koruduğu ve kolloidleri koruma özelliğini sağladığı tespit etmişlerdir.

Wang ve ark. (2008), yaptıkları bir çalışmada kurkuminin anti-enflamasyon etkisini geliştirmek için değişik boyutlarda su içinde yağ (Y/S) nanoemülsiyonları hazırlamış ve enkapsüle etmişlerdir. Çalışma sonucunda kurkuminin suda çözünmemesine rağmen, suda yağ emülsiyonlarının kurkumini taşıma kapasitesinin yüksek olduğunu tespit etmiştir.

Vitamin yapıları da nanoemülsiyonlar aracılığı ile stabil tutulmak ve biyoyararlılığı artırılmak istenen gruptandır. E vitamini nanopartikülleri, içecek sanayinde yeni ve gelişmiş ürünlerin üretilmesine olanak sağlamaktadır. E vitamini nanopartikülleri yüksek basınç homojenizatörü ile hazırlanmaktadır ve nişasta ile enkapsüle edilmektedir. E vitamininin, amaçlanan konsantrasyonlarda berrak meyve sularına katılabilecek şekilde nanoemülsiyon şeklinde formüle edilmesi mümkündür (Chen ve Wagner, 2004).

Gıdaların sindirilebilirliği konusunda nanoemülsiyonlardan yararlanmak günümüzde oldukça dikkat çekmektedir. Sindirilebilirlik, gıda bileşeninin ne kadarının gastro-intestinal kanallar aracılığı ile kan dolaşımından adsorbe edilebildiğinin bir ölçüsüdür. Nanoemülsiyon yapıları besinlere ve doğal ekstraktlara daha kolay adsorbe edilme özelliği kazandırabildiği için sindirilebilirliği artırmaktadır. Örneğin, kırmızı-turuncu pigment olarak bilinen ve havuç gibi renkli sebzelerde oldukça yüksek düzeyde bulunan β -karoten, yüksek provitamin A aktivitesine sahiptir ve vücutta nanoemülsiyon yapıları sayesinde alındığında sindirilebilirliğinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır (Milani, 2019).

Sporcu besinleri ve özel nitelikli bir diyetle ihtiyaç duyan insanlar için geliştirilen fonksiyonel ürünler de birçok besin ögesi ile zenginleştirilip satılmaktadır. Nanoemülsiyon teknolojisinden yararlanılarak biyoaktiflerin (mineraller, vitaminler veya diğer fonksiyonel gıda bileşenleri) kontrollü salınımı ile zenginleştirilmiş sütler veya aromalı sular da bu alanda verilebilecek örneklerdendir (Augustin ve Sanguansri, 2006).

Nanoemülsiyolar, kanda kolesterol düzeyini düşürerek koroner kalp rahatsızlıkları riskini minimuma indirebilen fitosterol yapılarının çözünürlüğünü artırmaktadır. Birçok sebze ve meyve içeriğinde bulunan fitosterol türü olan β -sitosterollerin nanoyapılar sayesinde vücuttaki çözünürlüğünün arttığı bildirilmiştir. Domates gibi kırmızı renkli sebze ve meyvelerde bolca yer alan likopenin de vücut sindirilebilirliği nanoemülsiyonlar sayesinde artırılmaktadır. Likopenin prostat kanseri ve kardiyovasküler hastalıklara olan olumlu etkisi bilindiğinden bu gelişmeler hem gıda endüstrisi hem de sağlık sektörü açısından oldukça önemlidir (Milani, 2019).

Salvia-Trujillo ve ark. (2015), esansiyel yağlar (limon otu, karanfil, çay ağacı, kekik, sardunya çiçeği, mercanköşk, palmarosa, gül ağacı, adaçayı ve nane) ile

oluşturdukları emülsiyon ve nanoemülsiyonların antimikrobiyel aktivitesini incelemişler ve limon otu, karanfil, kekik ve palmarosa esansiyel yağı içeren nanoemülsiyonların *Escherichia coli*'ye karşı *in-vitro* bakterisidal aktivitesinin daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, limon otu ve karanfil yağı içeren nanoemülsiyonların, aynı esansiyel yağları içeren kaba emülsiyonlara göre inaktivasyon etkisinin daha fazla olduğu ifade etmişlerdir.

Karpuz suyunda trans-sinomaldehit nanoemülsiyonunun fiziksel ve antimikrobiyel özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada; antibakteriyel aktivite sonuçlarına göre, saf su ve karpuz suyunun % 0,8 nanoemülsiyon içeren çözeltisinin *Salmonella typhimurium* ve *Staphylococcus aureus* inhibisyonuna neden olduğu belirlenmiştir (Jo ve ark., 2015).

Ultrases ve mikro-akışkanlaştırma işlemleri ile üretilen limon otu yağı nanoemülsiyonunun *Escherichia coli*'ye karşı antimikrobiyel aktivitesinin incelendiği bir araştırmada; mikroakışkanlaştırma yöntemi ile hazırlanan nanoemülsiyonun antimikrobiyel aktivitesinin arttığı belirlenmiştir (Salvia-Trujillo ve ark., 2014).

Mate ve ark. (2016), d-limonenin nanoemülsiyon haline getirildiğinde ve bu nanoemülsiyonun ısıtma işlemi (45 ve 55 °C) ile kombine kullanıldığında *Listeria monocytogenes* inaktivasyonu üzerine etkili olduğunu tespit etmiştir.

Joe ve ark. (2012), çeşitli gıdalarda yaygın olarak bulunabilen mikroorganizmalar üzerine ayçiçeği gibi çeşitli yemeklik yağlardan elde ettikleri nanoemülsiyonların antimikrobiyal etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında; AUSN-1 olarak adlandırılan ayçiçek yağı bazlı nanoemülsiyon, en yüksek antimikrobiyal etkiyi *Salmonella typhi*'ye karşı olmak üzere *Listeria monocytogenes*, ve *Staphylococcus aureus*'a karşı göstermiştir. AUSN-1, aynı zamanda *Rhizopus nigricans*, *Aspergillus niger* ve *Penicillium sp.*'e karşı yüksek mantar öldürücü aktivite göstermiştir. Yine AUSN-1'in *Bacillus cereus* ve *Bacillus circulans*'a karşı oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir. AUSN-1'in spor öldürücü ve antifungal aktiviteleri yüksek bulunmuş, seçilen gıda ürünlerinde toplam ekilebilir heterotrofik bakteri ve mantar popülasyonlarını azaltma kabiliyeti ile koruyucu olarak kullanılabileceği bildirilmiştir.

Farklı esansiyel yağlardan oluşan nanoemülsiyonların bazı mikroorganizmalar üzerindeki antimikrobiyal aktivitesinin etkisini araştırıldığı bir çalışmada, karvakrol, limonen ve sinomaldehit bulunan ayçiçek nanoemülsiyonlarının; *Escherichia coli*,

Lactobacillus Delbrueckii ve *Saccharomyces Cerevisiae* gibi mikroorganizmalar üzerine yüksek antimikrobiyal etki gösterdiği bildirilmiştir (Donsi ve ark., 2012).

Ghosh ve ark. (2013), ultrasonik emülsiyonlaştırma yöntemi kullanılarak fesleğen yağı (*Ocimum basilicum*) ile nanoemülsiyon oluşturmuş, elde edilen nanoemülsiyonun *Escherichia coli* türüne karşı antibakteriyel aktivitesini araştırmışlardır. Mevcut çalışmada, fesleğen yağı ile hazırlanan nanoemülsiyonun su ile 10, 100 ve 1000 kat seyreltildikten sonra bile önemli antibakteriyel aktivite sergilediği belirtilmiştir.

Tropikal bir bitki olan Neem yağı (*Azadirachta indica*) nanoemülsiyonunun yayın balığında (*Clarias batrachus*) tespit edilen patojen *Aeromonas salmonicida* bakterisi üzerine etkilerinin ve kontrol edilebilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada, neem yağı nanoemülsiyonunun *Aeromonas salmonicida* bakterisinin yayın balığında neden olduğu ülseratif sendromu kontrol etmede oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir. Neem yağı (*Azadirachta indica*) nanoemülsiyonunun *Aeromonas salmonicida* patojeni üzerinde antimikrobiyal etkisinin olduğu bildirilmiştir (Thomas ve ark., 2013).

Ghosh ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada eugenol yüklü nanoemülsiyonun mikrobiyolojik bozulmaya karşı meyve suyunu (portakal suyu) koruduğunu tespit etmiştir. Susam yağı, eugenol, Tween 80 ve su ile elde edilen nanoemülsiyonun *Staphylococcus aureus*'a karşı yüksek antibakteriyel aktivite gösterdiğini ve portakal suyu üzerinde uygulanan bu nanoemülsiyonun bakteri popülasyonunu önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir.

Kurkuminin, biyoyararlılığının düşük olduğu bilinmektedir. Bu olumsuzluğun üstesinden gelebilmek amacıyla kurkuminin nanoenkapsüle edildiği bir çalışmada, kurkuminin hem stabilitesi değerlendirilmiş hem de simüle edilen sindirim sistemi ile biyoyararlılığa etkisi incelenmiştir. Enkapsülasyon verimliliği % 90'dan büyük bulunan çalışmada, *in-vitro* çalışma sonrası kurkumin nanoemülsiyonlarının pepsin enziminin sindirimine direnç gösterdiği ancak pankrelipaz gibi pankreatik enzimin nanoemülsiyondan kurkumin kaybına sebebiyet verdiği tespit edilmiştir (Sari ve ark., 2015).

Fonksiyonel yoğurt üretimi için, ebegümece bitkisinin yapraklarından elde edilen ekstrakt nanoemülsiyon içerisine ilave edilmiş ve yoğurt içerisine eklenerek ülseratif kolit denilen bağırsak hastalıklarını nasıl etkileyeceği konusunda çalışılmıştır. Yapılan

araştırma sonucunda; ebeğümeci içeren ekstraktın antienflamatuar ve antioksidan etkisi ile bağırsak sistemini önemli ölçüde koruduğu tespit edilmiştir (El-Naggar ve ark., 2020).

Yılmaz ve ark. (2021), poli-vinil alkol içinde farklı konsantrasyonlarda (% 0.5, % 0.75 ve % 1 v/v) esansiyel kekik yağının (OEO) kapsüllenmesiyle nanoemülsiyon bazlı bir dağıtım sistemi geliştirmiştir. Nanoemülsiyonların *Aspergillus niger*'in misel büyümesine karşı antifungal aktivitesini değerlendirmiş ve serbest OEO'ya kıyasla antifungal aktivitede önemli bir artış tespit etmişlerdir. 6 günlük inkübasyon süresi boyunca sırasıyla % 0.5, 0.75 ve 1 v/v seviyelerinde nanoemülsiyon kullanılarak misel büyümesinin zon çapı yaklaşık % 20, 55 ve 65 oranında azalmıştır. Çalışmanın sonucunda, serbest OEO'ya kıyasla nanoemülsiyonlarla kapsüllenmesiyle OEO'nun daha güçlü antifungal etkinliğinin ortaya çıktığı bildirilmiştir.

Başka bir çalışmada, buğday ruşeymi yağı nanoemülsiyonu ile muamele edilen pişmiş balık filetolarının yağ kalitesi ölçülmüş ve yağ kalitesi balık filetolarının yüzeyinde daha geniş bir temas alanı sağlayan buğday ruşeymi yağı yüklü nanoemülsiyonlar nedeniyle başarılı bir şekilde korunmuştur (Ceylan ve ark., 2020).

Son olarak Ekin ve ark. (2019), nar çekirdeği yağı nanoemülsiyonu kullanarak ürettikleri sodyum aljinat bazlı yenilebilir film ile kapladıkları uskumru balıklarının raf ömrünü uzatmışlardır. Kontrol (filmle kaplanmayan) balık örneklerinde toplam aerobik mezofilik mikroorganizma sayısı ortalama 4.74 log kob/g olarak tespit edilirken % 3 nar çekirdeği yağı nanoemülsiyonu ile hazırlanan hidrojel filmlerle kaplanan balıklarda bu değer ortalama 2.56 log kob/g olarak tespit edilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırmada nanoemülsiyon üretiminde kullanılan soğuk sıkım çörekotu yağı, hindistan cevizi yağı, susam yağı ve üzüm çekirdeği yağı Arifoğlu Baharat ve Gıda San. Ltd. Şti. (İstanbul, Türkiye) den temin edilmiştir.

Bisküvi üretiminde Meram Un Fabrikasından (Konya, Türkiye) satın alınan ve protein oranı % 10 olan un kullanılmıştır. Bisküvi üretimi için sodyum bikarbonat (NaHCO_3) ve amonyum bikarbonat (NH_4HCO_3) (Gemici Gıda Tic. Ltd. Sti., İstanbul), yüksek fruktozlu mısır şurubu (YFMŞ) (Kimbiotek Kimyevi Maddeler San. Ve Tic. A.Ş., İstanbul), emülgatör içermeyen şortening (Marsa Yağ San. ve Tic. A.Ş., Adana), ayrıca piyasadan temin edilen içme suyu, sofralık rafine tuz, kristal şeker ve vanilya kullanılmıştır.

Çalışmada analitik saflıkta kimyasal maddeler kullanılmıştır. Gallik asit, 2,2-difenilpikrilhidrazil (DPPH), Folin-Ciocalteu belirteci, pankreatin, pepsin, bile tuzu, Sigma-Aldrich (St. Louis.MO, ABD) firmasından; hekzan, metanol, sodyum karbonat (Na_2CO_3), hidroklorik asit (HCl), sodyum bikarbonat (NaHCO_3), sodyum klorür (NaCl), potasyum klorür (KCl), potasyum iyodür (KI), sodyum tiyosülfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), kloroform, asetik asit (CH_3COOH) Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilmiştir.

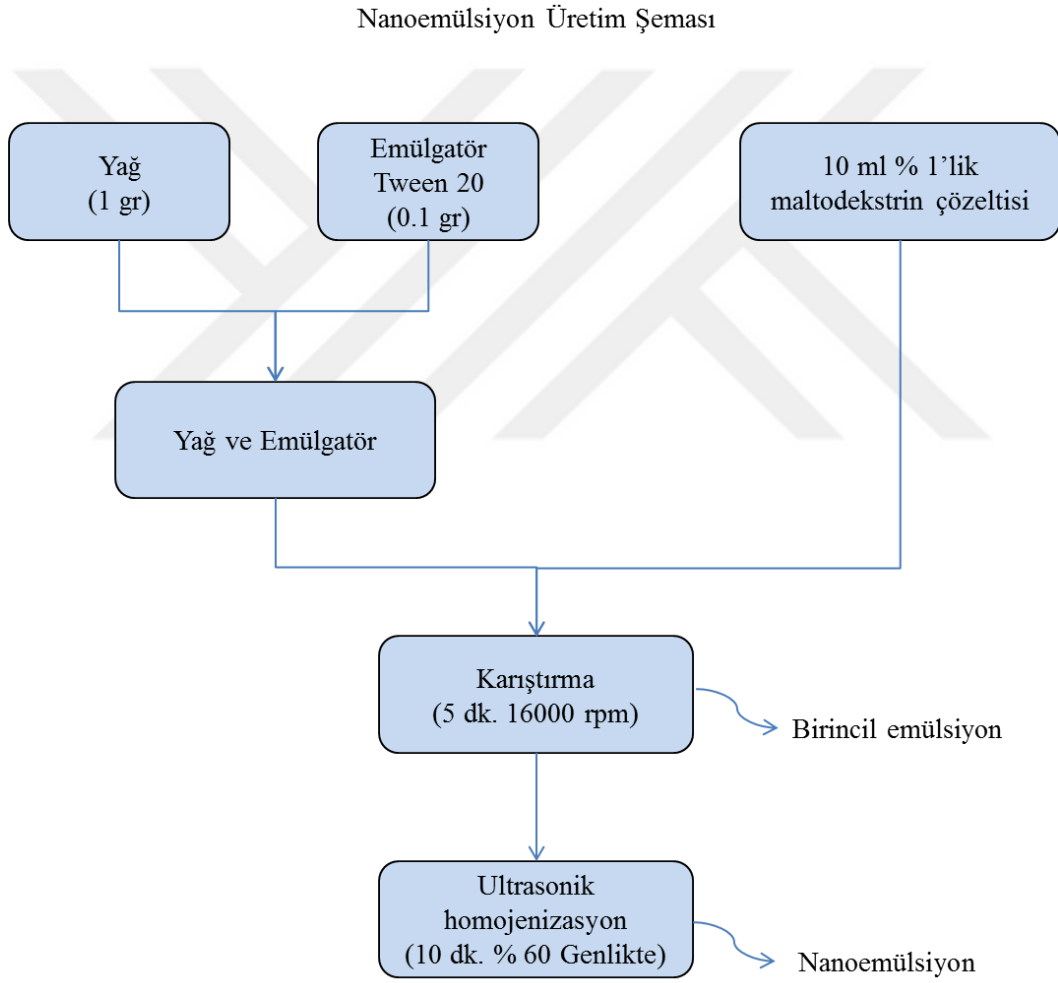
3.2. Yöntem

3.2.1. Nanoemülsiyon üretimi

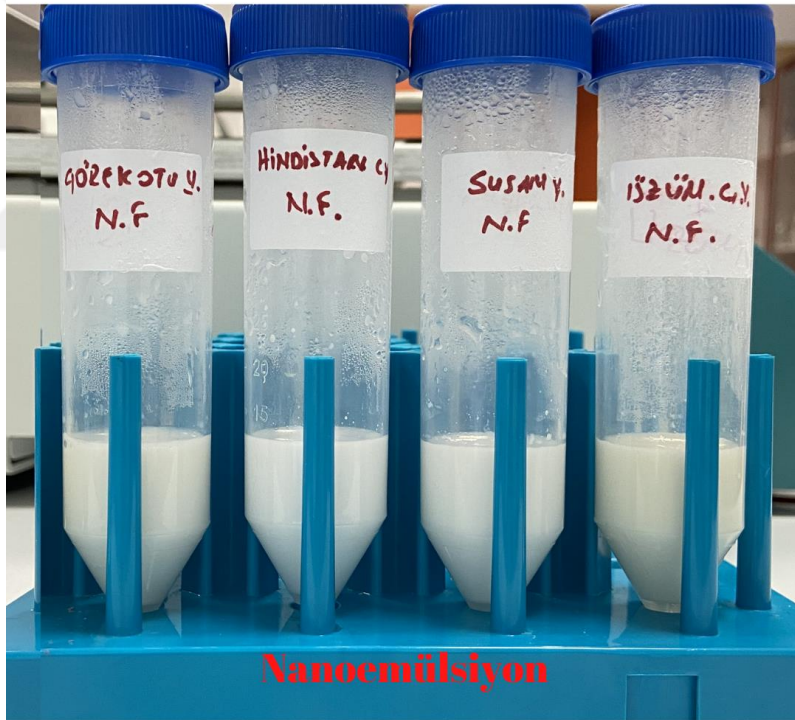
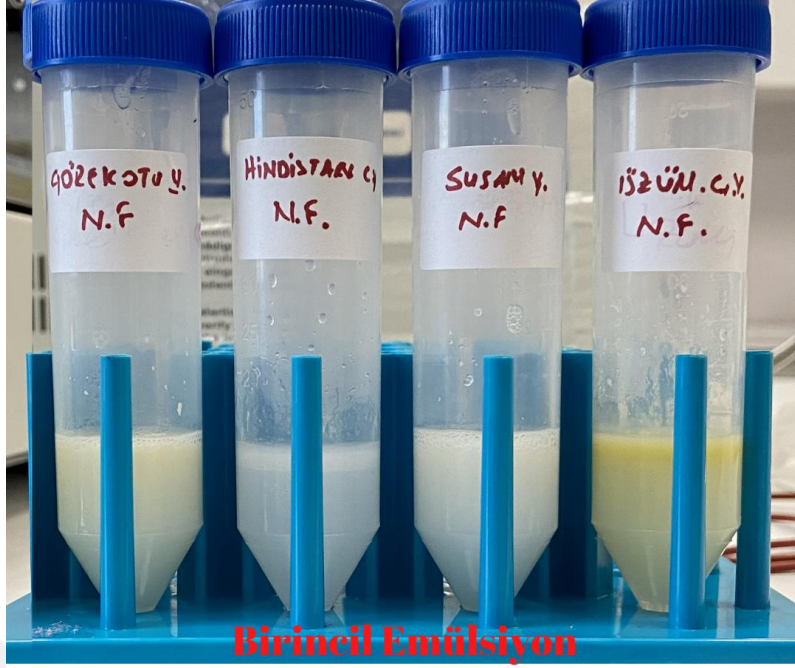
Nanoemülsiyon üretiminde, yağ fazı olarak balık yağı, çörekotu yağı, hindistan cevizi yağı, susam yağı ve üzüm çekirdeği yağı kullanılmıştır. Maltodekstrin (% 1, w/v), Tween 20 (% 0.1) içeren su fazına 1 g yağ bir şırınga yardımıyla eklenmiştir ve 30 dk boyunca manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırma yapılmıştır. Bu karışım yüksek hızlı homejenizatör (Ultra Turrax T18, IKA Labortechnik, Almanya) ile 5 dk süreyle

16000 rpm'de karıştırılarak, birincil (kaba) emülsiyonlar elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen birincil emülsiyonlar, bir ultrasonikatör (Bandein, Sonopuls HD 3200, Almanya) ile % 60 genlikte 10 dk işleme tabi tutularak nanoemülsiyon üretilmiştir (Meral ve ark., 2019). Şekil 3.1'de nanoemülsiyon üretimi şematize edilmiş, Şekil 3.2'de ise birincil emülsiyonlar ile nanoemülsiyonların görüntüleri verilmiştir.

Çörek otu yağı içeren nanoemülsiyonlar: ÇY; susam yağı içeren nanoemülsiyonlar: SY; Hindistan cevizi yağı içeren nanoemülsiyonlar: HCY ve üzüm çekirdeği yağı içeren nanoemülsiyonlar: UÇY olarak kodlanmıştır.



Şekil 3.1. Nanoemülsiyon üretimi.



Şekil 3.2. Birincil emülsiyon ve nanoemülsiyonların görüntüsü.

3.2.2. Nanoemülsiyonların karakterizasyonu

3.2.2.1. Kriyo-TEM analizi

Nanoemülsiyonların morfolojisi, kriyojenik geçirimli elektron mikroskobu (kriyo-TEM) (Hitachi HT7800, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Bir bakır TEM gridi üzerine yaklaşık 5 µL seyreltilmiş nanoemülsiyon yerleştirilmiş; yaklaşık 3-5 saat sonra numuneler hızla -165 °C'de sıvı etana daldırılmıştır. Nanoemülsiyonlar daha sonra bir kriyojenik numune tutucuya aktararak -174 °C'de görüntülenmiştir. Cihaz 120 kV'lık çalışma voltajı ve 6300 ile 12500 büyütme oranı ile çalıştırılmıştır (Kumar ve Mandal, 2018).

3.2.2.2. Termal karakterizasyon analizi

Nanoemülsiyonların termomekanik ısı özellikleri Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) (Perkin Elmer DSC 8000) cihazı ile tespit edilmiştir. Örnekler alüminyum pan içine yerleştirilmiş ve hermetikli olarak kapatılmıştır. 10 ile 500 °C arasında sıcaklık uygulanmış ve sıcaklık artışı 10 °C/dk olarak ayarlanmıştır. Referans olarak hermetikli kapatılmış, erime noktası ve entalpi değişiminin belirlendiği boş bir alüminyum pan kullanılmıştır.

3.2.2.3. Zeta potansiyel (ZP) analizi, boyut ve polidispersite indeksi (PDI) analizi

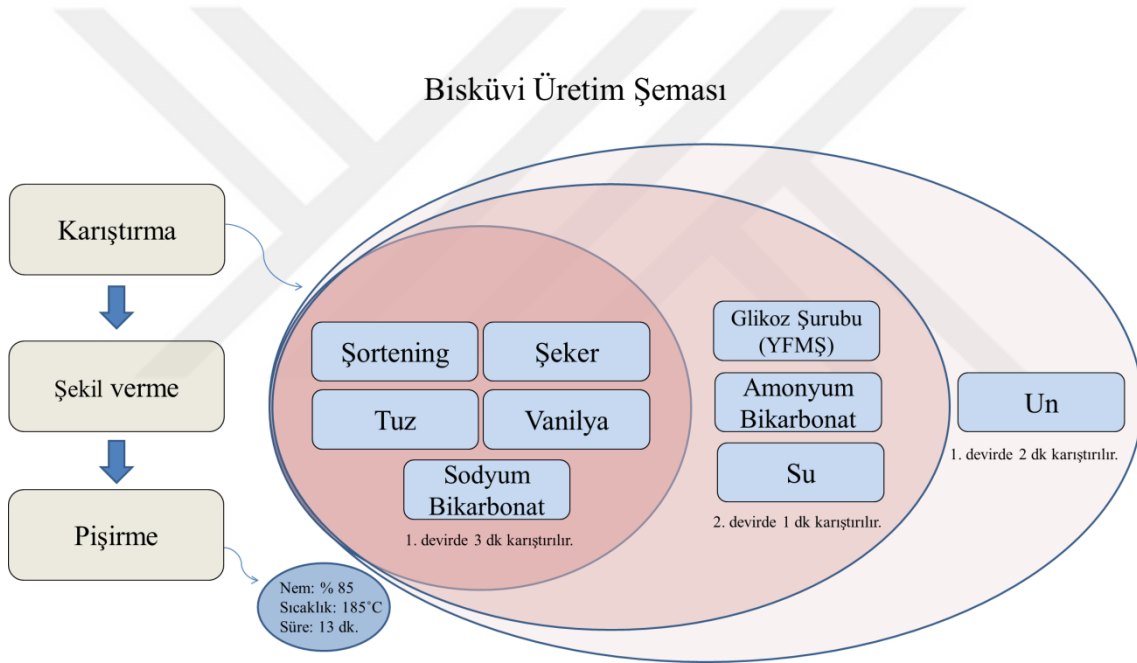
Üretilen nanoemülsiyonların zeta potansiyel ölçümleri Nano ZPS (Malvern Instruments Crop., Worcestershire, İngiltere) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Örnekler, fosfat tampon çözeltisi içinde dağıtılmış ve elektrotları olan tek kullanımlık katlanmış kılcal bir hücreye yerleştirilmiştir. Her numune için ortalama 30 ölçüm yapılmıştır. Tüm ölçümler 25 °C'de yapılmıştır.

3.2.3. Bisküvi üretimi

3.2.3.1. Hamurun hazırlanması, şekillendirilmesi ve pişirilmesi

Bu çalışmada; kontrol, yağı kontrol grubuna göre % 50 oranında azaltılmış ve yağı % 50 azaltılmış yerine çeşitli yağlarla hazırlanan nanoemülsiyonlar ilave edilmiş bisküvi formülasyonları hazırlanarak hamurlardan bisküvi üretilmiştir.

20 g nanoemülsiyon içerisinde 2 g yağ ve yaklaşık 18 g su fazı bulunmaktadır. Nanoemülsiyondan gelen (18 g) su miktarı kadar su formülden uzaklaştırılarak bisküvi formülasyonu oluşturulmuştur (Çizelge 3.1).



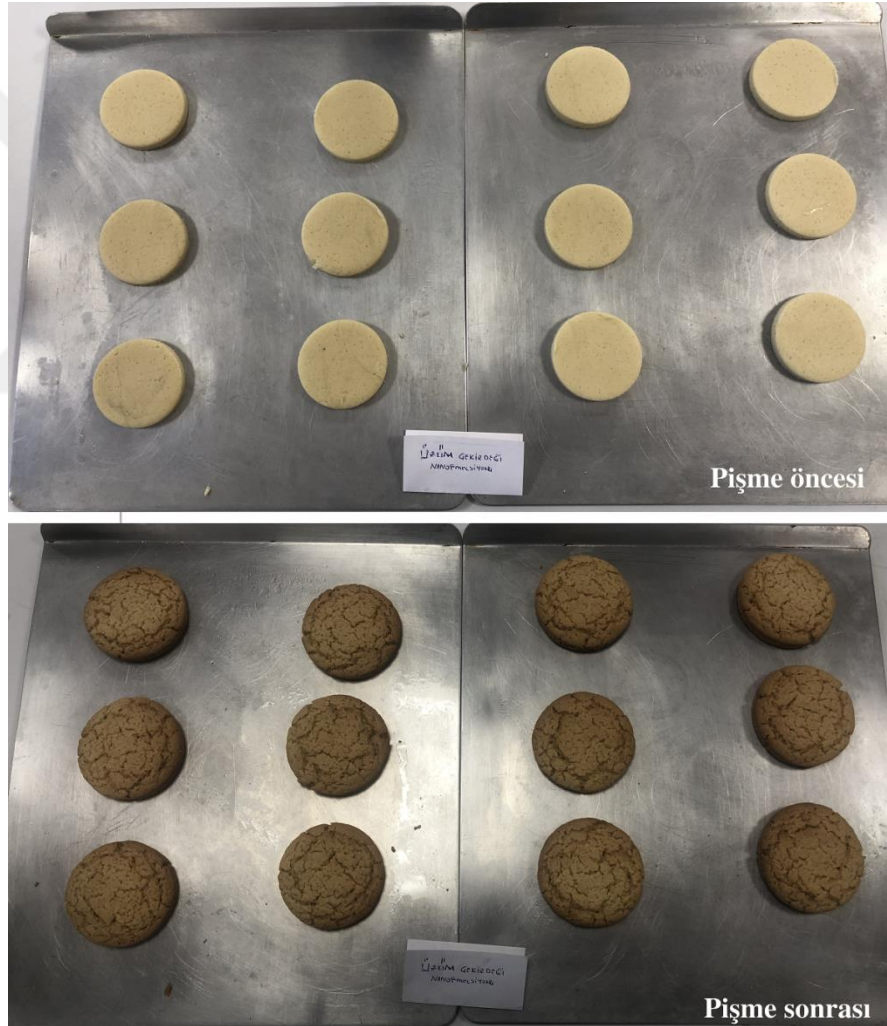
Şekil 3.3. Bisküvi üretimi.

Bisküvi hamuru KitchenAid Mikser (Model 5KSM45) ile AACC (10-53.1) yöntemi modifiye edilerek hazırlanmıştır (Anonim, 1999). Şortening, şeker, tuz, vanilya, sodyum bikarbonat ilave edildikten sonra karışım Devir-1 (~60 rpm) de 3 dk karıştırılmış ardından YFMŞ, amonyum bikarbonat ve su ilave edilerek Devir-2 (~90 rpm) de 1 dk karıştırma yapılmıştır. Daha sonra formüle un ilave edilerek Devir-1’de (~60 rpm)’de 2 dk daha karıştırma yapılarak hamur hazırlama işlemi tamamlanmıştır. Nanoemülsiyon içeren bisküvilerde şortening azaltılmış ve yerine azaltılan miktar kadar

nanoemülsiyon ilave edilmiş aynı formülasyon ve işlem sırasıyla bisküvi hamuru oluşturulmuştur.

Bisküvi hamurunun şekillendirilmesinde AACC (10-50.05) yöntemi kullanılmıştır (Anonim, 1999). Standartlara uygun olarak tava yağı ile yağlanan iki katmanlı yalıtılmış bisküvi tepsilerinde şekillendirilen hamurlar elektrikli fırının (Öztiryakiler, İstanbul) fansız ayarında, % 85 nem seviyesinde, 185 °C’de, 13 dk süre ile pişirilmiştir.

Şekil 3.4’ de pişme öncesi bisküvi hamurlarının görünümü ve pişirme sonrası bisküvi görüntüsüne bir örnek verilmiştir.



Şekil 3.4. Pişme öncesi ve sonrası görünüm.

Çizelge 3.1’ de kontrol grubu bisküviler ile nanoemülsiyon içeren bisküvilerin isimlendirilmesi, Çizelge 3.2’ de ise bisküvilerin formülasyonu verilmiştir.

Çizelge 3.1. Örnek kodları ve içeriği

Örnek kodu	Örnek içeriği
KT	Kontrol bisküvileri,
YK	Yağ miktarı % 50 azaltılmış kontrol bisküvileri,
CN	Yağ miktarı % 50 azaltılmış ve çörekotu yağı nanoemülsiyonu içeren bisküviler
HN	Yağ miktarı % 50 azaltılmış ve hindistan cevizi yağı nanoemülsiyonu içeren bisküviler
SN	Yağ miktarı % 50 azaltılmış ve susam yağı nanoemülsiyonu içeren bisküviler
UN	Yağ miktarı % 50 azaltılmış ve üzüm çekirdeği yağı nanoemülsiyonu içeren bisküviler

Çizelge 3.2. Bisküvi formülasyonları

İçindekiler	Bisküviler					
	KT	YK	CN	HN	SN	UN
Un (g)	100	100	100	100	100	100
Şeker (g)	40	40	40	40	40	40
Şortening (g)	40	20	20	20	20	20
Nanoemülsiyon (g)	0	0	20	20	20	20
Su (g)	22	22	4	4	4	4
Sodyum bikarbonat (g)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Amonyum bikarbonat (g)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Yüksek fruktozlu mısır şurubu (g)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Tuz (g)	1	1	1	1	1	1
Vanilya (g)	1	1	1	1	1	1

*KT: Kontrol, YK: Yağsız kontrol, CN: ÇY içeren bisküviler, HN: HCY içeren bisküviler SN: SY içeren bisküviler, UN: UÇY içeren bisküviler

3.2.4. Bisküvi analizleri

3.2.4.1. Kimyasal analizler

3.2.4.1.1. Nem tayini

Hammaddelerin ve bisküvilerin nem tayini AOAC (1990)’a göre gerçekleştirilmiştir. Analizde kullanılacak nikel kurutma kapları 105±2 °C’de 2 saatte

sabit tartıma getirilmiştir. Öğütölmüş örnekler kurutma kaplarının yüzeylerine homojen şekilde konulmuş ve etüvde 105±2 °C’de örnekler sabit ağırlığa ulaşınca kadar (yaklaşık 24 saat) kurutma işlemi uygulanmıştır. Örneklerin nem içerikleri, kurutmada uzaklaşan suyun başlangıçtaki örnek ağırlığına oranlanmasıyla hesaplanmıştır (Eş. 3.1).

$$\% \text{ Nem değeri} = \frac{A-B}{\text{Örnek miktarı}} \times 100 \quad (3.1)$$

A: İlk tartım

B: Son tartım

3.2.4.1.2. Kül tayini

Hammaddenin ve bisküvilerin kül tayini AOAC (1990)’a göre gerçekleştirilmiştir. Porselen krozel analizde kullanılmak üzere sabit tartıma getirildikten sonra krozelere örnekler öğütölmüş halde konmuştur. Yakma işlemi kül fırınında (Elektro-mag M1813, Türkiye) sıcaklığın kademeli olarak yükseltilmesiyle 820±5 °C’de kalıntı beyaza yakın renk alana kadar (yaklaşık 8 saatte) gerçekleştirilmiştir. Kül içerikleri, örneklerin ilk ağırlığının yakma sonrasındaki ağırlığına oranlanmasıyla hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Kül} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (3.2)$$

A: Başlangıç ağırlığı

B: Son ağırlık

3.2.4.1.3. Protein tayini

Protein tayini AOAC (1990)’a göre mikro-Kjeldahl metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kjeldahl balonlarına örneklerden yaklaşık 0.5 g tartılmış ve üzerlerine Kjeldahl tableti ve 10 mL sülfürik asit konularak örnekler Kjeldahl cihazında 420 °C’de örnekler parlak yeşil renge dönüşene kadar yakma işlemi uygulanmıştır. Yakma işlemi sonrası örnekler distilasyon cihazında % 40’lık NaOH varlığında distile edilmiştir. % 4’lük borik asit çözeltisine tutunan azotlu bileşikler 0.1 N HCl ile titre edilerek örneklerin azot miktarı tespit edilmiştir. Bulunan değerler

5.7 faktörü ile çarpılarak ve örnek miktarına oranlanarak örneklerin ham protein içerikleri hesaplanmıştır (Eş. 3.3).

$$\% \text{ Azot} = \frac{1.4 \times (V_1 - V_0) \times m \times F}{m} \quad (3.3)$$

% Protein = % Azot x 5.7

V_1 : Örnek için harcanan 0.1 N HCl miktarı, mL

V_0 : Tanık denemede harcanan 0.1 N HCl miktarı, mL

m: Tartılan örnek miktarı, g

F: 0.1 N HCl çözeltisinin faktörü

3.2.4.1.4. Yağ miktarı tayini

Bisküvi örneklerindeki yağ oranı, soxhelet ekstraktörü kullanılarak belirlenmiş ve kuru madde üzerinden % olarak hesaplanmıştır. Öğütülmüş bisküvi örnekleri, ekstraksiyon kartuşlarında 3 ± 0.005 g hassasiyetle tartılmıştır. Daha sonra, ağızları yağsız pamuk ile kapatılarak ekstraktöre yerleştirilmiştir. Sabit tartıma getirilmiş ekstraksiyon balonları (m_1) Soxhelet düzeneğine bağlanmış ve balona 1 kere sifon yapacak ve tekrar yarıya kadar dolduracak miktarda n-Hegzan konulmuştur. Yaklaşık 8 saatlik ekstraksiyon sonrasında içinde çözücü bulunan balonlar rotari evaporatöre (Buchi Rotavator R-210) bağlanarak 40 °C'de ve 335 mbar basınçta içindeki çözücünün uzaklaşması sağlanmıştır. Elde edilen yağ ekstraktının ağırlığı belirlenerek (m_2) yağ yüzdesi hesaplanmıştır (Eş. 3.4).

$$\% \text{ Yağ} = (m_2 - m_1) \times 100 / \text{örnek miktarı} \quad (3.4)$$

m_1 : Başlangıç ağırlığı

m_2 : Son ağırlık

3.2.4.1.5. Karbonhidrat ve enerji tayini

Bisküvi örneklerinin karbonhidrat ve enerji değerleri FAO (2003)'e göre Atwater genel faktör sistemi kullanılarak hesaplanmıştır (Anonim, 2003).

$$\% \text{ Karbonhidrat} = 100 - (\% \text{ Nem} + \% \text{ Kül} + \% \text{ Protein} + \% \text{ Yağ}) \quad (3.5)$$

$$\text{Enerji (kcal)} = (9 \times \% \text{ Yağ}) + (4 \times \% \text{ Protein}) + (4 \times \% \text{ Karbonhidrat})$$

3.2.4.2. Bisküvi fiziksel analizleri

3.2.4.2.1. Bisküvilerde pişme kaybı

Bisküvi tepsisinin ağırlığı hem bisküvileri pişirmeden önce hem de bisküviler piştikten sonra tartılarak pişme kaybı belirlenmiştir.

3.2.4.2.2. Bisküvilerde yayılma oranı

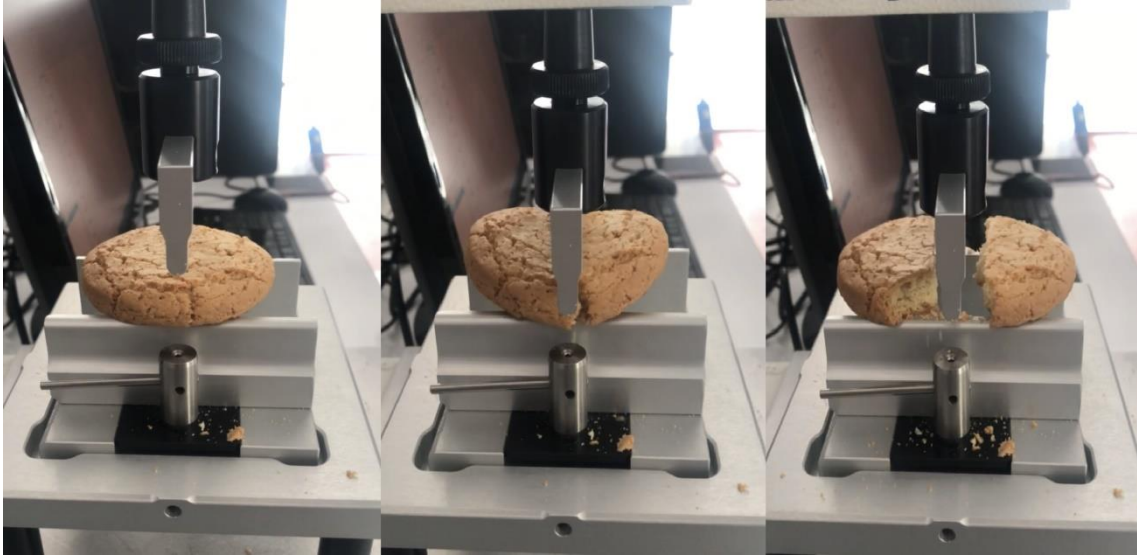
Bisküvi örneklerinin çap (W) ve kalınlık (H) değerleri AACC (10-53.01) (Anonim, 1999) yöntemi esas alınarak ölçülü ahşap aparat yardımıyla mm cinsinden belirlenmiştir. Ortalama değer vermesi için bisküvilerin konumu ve yerleri değiştirilerek dört ölçüm yapılmış ve daha sonra $(W/H) \times 10$ formülü kullanılarak bisküvinin yayılma oranı hesaplanmıştır.

3.2.4.2.3. Bisküvilerin renk değerleri

Bisküvi örneklerinde renk ölçüm cihazı (Model CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japonya) kullanılarak parlaklık (L^*), kırmızılık (a^*), sarılık (b^*) değerleri belirlenmiştir. Ölçümler en az 3 kez tekrar edilecek şekilde yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Analiz öncesinde cihazın kalibrasyonu beyaz ve siyah plaka ile sağlanmıştır. L^* değeri: 0 (koyu) - 100 (açık) ile rengin farklı tonlarını belirten a^* değeri: (+) kırmızı veya (-) yeşil ve b^* değeri: (+) sarı veya (-) mavi olduğunu gösterir.

3.2.4.2.4. Tekstürel özellikler

Bisküvi örneklerinin tekstür özelliklerinin belirlenmesinde AACC (74-09.01) (Anonim, 1999) yöntemi esas alınmış ve TA.XT plus Tekstür Analiz Cihazı (TA.TX2. Stable Micro Systems Ltd. Godalming Surrey, İngiltere) kullanılarak three point bend rig (3 nokta kırılma testi) tekniğine göre belirlenmiştir. Bisküvinin kırılması için gerekli olan kuvvet (bisküvinin sertliği, N) ve kırılmalık (mm) belirlenmiştir (load cell: 5 kg, ön-test hızı: 1.0 mm/s, test hızı: 5.0 mm/s, son-test hızı: 10.0 mm/s, uzaklık: 10 mm, trigger kuvveti: 50 g) (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kırma testi.

3.2.4.3. Fenolik madde ve antioksidan aktivitesi tayinleri

3.2.4.3.1. Fenolik maddelerin ekstraksiyonu

Fenolik maddelerin ekstraksiyonunda Zhang ve ark. (2010) tarafından bildirilen yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla bisküvi örneklerinden 5 g falcon tüplerine tartılmış ve üzerine 10 mL metanol ve 0.1 N HCl (85:15) karışımından eklenmiştir. Ardından tüpler su banyosunda (25 °C, 250 rpm, 20 dk) karıştırılmıştır. Karıştırma sonunda örnekler 3000×g' de 15 dk santrifüj edilmiş ve süpernatant 50 mL'lik amber renkli balon jöjelere alınmıştır. Bu işlem 4 defa tekrarlanmıştır. İşlem

sonrasında balon hacmi metanol-HCl (85:15) karışımı ile 50 mL'ye tamamlanmış ve amber renkli cam şişelere alınmıştır. Örnekler analiz edilinceye kadar -18 °C'de bekletilmiştir.

3.2.4.3.2. Toplam fenolik madde (TFM) tayini

TFM Folin-Ciocalteu metodu kullanılarak belirlenmiştir. Bu metodun temel ilkesi; fenolik bileşiklerin bazik ortamda Folin-Ciocalteu ayıracını indirgeyip kendilerinin oksitlenmiş forma dönüştüğü bir redoks reaksiyonuna dayanmaktadır. Reaksiyon sonucunda indirgenmiş ayıracın oluşturduğu mavi rengin fotometrik olarak ölçülmesiyle, analizi yapılan örnekteki fenolik maddelerin toplam miktarının hesaplanması mümkün olmaktadır (Özkan ve ark., 2007). Bu amaçla deney tüplerine 300 µL örnek ve 3 mL Na₂CO₃ (% 2) konulmuştur. Yaklaşık 2 dk sonra tüplere, saf su ile 1:1 oranında seyreltilmiş Folin-Ciocalteu belirtecinden 150 µL eklenmiş ve bu karışım vorteks yardımıyla karıştırıldıktan sonra karanlık bir yerde ve oda sıcaklığında 45 dk bekletilmiştir. Bu süre sonunda spektrofotometrede 765 nm'de (UV-1900PC, Aoelab, CN) okuma yapılmıştır. Toplam fenolik madde konsantrasyonu gallik asit ile oluşturulan kalibrasyon grafiğinden hesaplanmış ve sonuçlar, mg gallik asit eşdeğeri (mg GAE/kg) olarak ifade edilmiştir (Bae ve Suh, 2007).

3.2.4.3.3. Bisküvilerde DPPH radikal süpürme yöntemi ile antioksidan aktivite (AA) tayini

Antioksidan aktivitenin belirlenmesinde DPPH radikal süpürme yöntemi (Huang ve ark., 2005) kullanılmıştır. Bu yöntem, kararlı serbest radikal olan 2,2-difenilpikrilhidrazil (DPPH)'in elektron veya hidrojen atomları veren antioksidanların varlığında, bu antioksidanlar tarafından süpürülmesi ve DPPH çözeltisinin karakteristik mor rengin açılmasının spektrofotometrik olarak belirlenmesi ilkesine dayanır (Cuendet ve ark., 1997).

Antioksidan madde içeren ekstraktlardan deney tüpüne 2 mL alınmıştır. Örnekler üzerine metanolde günlük olarak hazırlanan % 0.004 konsantrasyondaki

DPPH çözeltisinden 2 mL eklenmiş ve vorteks yardımıyla hızlıca karıştırılmıştır. Hazırlanan deney tüpleri karanlık bir ortamda 30 dk inkübe edilmiş ve spektrofotometrede (UV-1900PC, Aoelab, CN) 517 nm dalga boyunda kuartz küvet kullanılarak kontrol örneğine karşı (2 mL metanol ve 2 mL DPPH çözeltisi içeren örnek) okuma yapılmıştır (Meral ve Doğan, 2013).

$$\text{İnhibisyon (\%)} = [(A_{\text{kontrol}} - A_{\text{örnek}}) / A_{\text{kontrol}}] * 100 \quad (3.6)$$

A_{kontrol} : DPPH çözeltisi ve metanol içeren numunenin absorbansı

$A_{\text{örnek}}$: DPPH çözeltisi ve örnek içeren numunenin absorbansı

Örnek miktarlarına karşılık gelen İnhibisyon (%) belirlenmiştir.

3.2.4.3.4. Fenolik madde ve antioksidan madde biyoerişilebilirliği (BE-TFM ve BE-AA)

Bisküvilerin TFM ve AA biyoerişilebilirliğini değerlendirmek için *in-vitro* gastrointestinal sindirim yöntemi kullanılarak örneklerden ekstraksiyon yapılmıştır. Bu amaçla Chen ve ark. (2019), tarafından bildirilen yöntem kullanılmıştır. Yağı alınmış 1.5 g bisküvi örneği 30 mL distile su ve 1.5 mL pepsin çözeltisi (0.1 mol HCl içinde 20 g pepsin çözdürülmüş) ile karıştırılmıştır. Karışımın pH'sı 6 mol/L HCl ile 2'ye ayarlanmış daha sonra 37 °C'de 1 saat çalkalamalı su banyosunda bekletilmiştir. Bu karışıma 1 mol/L NaHCO₃ eklenerek pH 7.2'ye ayarlanmıştır. Ardından 7.5 mL safra/pankreatin çözeltisi (2g/L pankreatin ve 12 g/L safra tuzu 0.1 mol/L NaHCO₃) ve 7.5 mL NaCl/KCl (120 mmol/L NaCl ve 5 mmol/L KCl) karışıma eklenerek 2.5 saat daha inkübe edilmiştir. Süre sonunda karışım, 5000 g'de 10 dk santrifüjlenmiştir. Elde edilen süpernatantan 1 mL alınmış üzerine 5 mL metanol eklenerek yeniden 5000 g'de 10 dk santrifüjleme işlemi yapılmıştır. Süpernatant kullanılarak Folin Ciocalteu kolorimetrik yöntemi ve DPPH yöntemi kullanılarak TFM ve AA belirlenmiştir. Aşağıda verilen denklemler kullanılarak % BE-TFM ve % BE-AA tespit edilmiştir (Eş. 3.7).

$$BE - TFM (\%) = (Sindirim \text{ sonrası } TFM) / (Sindirim \text{ öncesi } TFM) * 100 \quad (3.7)$$

$$BE - AA (\%) = (Sindirim \text{ sonrası } AA) / (Sindirim \text{ öncesi } AA) * 100$$

3.2.4.4. Bisküvi yağ analizleri

3.2.4.4.1. Bisküvilerden yağ ekstraksiyonu

Serbest yağ asitliği, peroksit sayısı, tiyobarbitürik asit sayısı (TBA) ve yağ asidi kompozisyonu analizlerinin yapılabilmesi için gerekli olan yağ soğuk ekstraksiyon yöntemiyle elde edilmiştir. Kurutulduktan sonra öğütülmüş bisküvi (40 g) örnekleri üzerine 160 mL hekzan eklenmiş ve 180 rpm'de 2 saat süreyle dairesel çalkalayıcıda tutulmuştur. Süre sonunda içerik kaba filtreden geçirilmiş ve filtrattaki hekzan rotary evaporatörde 40 °C'de uzaklaştırılarak yağ elde edilmiştir. Elde edilen yağlar analizleri yapılınca kadar hava almayan kapaklı şişelerde -18 °C'de muhafaza edilmiştir.

3.2.4.4.2. Serbest yağ asitliği tayini

Bisküvilerden ekstrakte edilen yağ örneklerinin yüzde serbest yağ asitliği (SYA), AOCS Official Method Ca 5a-40'a göre yapılmıştır (AOCS, 2004). Yağ örneğinden 2 g, 0.01 g hassasiyette tartılmış, üzerine eklenen 50 mL etanol-dietileter (1:1, v/v) karışımı ile çalkalanıp, yağın tamamen çözünmesi sağlanmıştır. Çözünme işleminden sonra üzerine fenolftaleyn (%1) çözeltisinden 5-6 damla damlatılıp, karıştırılmıştır. Son olarak 0.02 N etanollü sodyum hidroksit çözeltisi ile pembe renk elde edilinceye kadar titrasyon yapılmış ve sarfiyat belirlenmiştir. Aşağıdaki eşitlik ile serbest yağ asitlikleri hesaplanmış ve analiz iki tekerrürlü olarak yapılmıştır. SYA, yağlarda bağlı olmayan yağ asitleri toplamı oleik asit yüzdesi olarak belirtilmektedir.

$$\% \text{ SYA} = \frac{V \times T \times Ma}{m} \quad (3.8)$$

V: Harcanan etanollü sodyum hidroksit çözeltisi, mL

m: Örnek ağırlığı, g

Ma: Oleik asitin molekül ağırlığı

T: Etanollü sodyum hidroksit çözeltisinin normalitesi

3.2.4.4.3. Peroksit sayısı (PS) tayini

Bisküvilerden ekstrakte edilen yağ numunelerinde peroksit sayısının saptanması AOCS Official Method Cd 8-53'e göre belirlenmiştir (AOCS, 1989). Peroksit sayısı yağlarda bulunan aktif oksijen miktarının ölçüsüdür ve 1 g yağdaki aktif oksijenin mikrogram olarak miktarını ifade etmektedir.

Yağ numuneleri erlenlere 2 g olarak tartılıp üzerine 25 mL asetik asit/kloroform (3/2 v/v) çözeltisi eklenmiş ve iyice karıştırılmıştır. Bu karışım üzerine 1 mL doymuş KI (potasyum iyodür) çözeltisi ilave edilmiş ve kapakları kapatılan erlenler 1 dk çalkalandıktan sonra 10 dk boyunca karanlıkta bekletilmiştir. Süre sonunda 50 mL saf su ve 1 mL nişasta çözeltisi eklenen numune, 0.01 N sodyum tiyosülfat ile (kloroform fazındaki iyot tamamen yok oluncaya kadar) titre edilmiştir. Titrasyonda harcanan tiyosülfat miktarı not alınmıştır. Tüm örnekler iki tekerrürlü olarak analiz edilmiştir. Peroksit sayısı (PS), beklenenin altında ise sodyum tiyosülfat 0.01 N; beklenenin üzerinde ise 0.1 N sodyum tiyosülfat çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan sodyum tiyosülfat çözeltileri 1 hafta karanlıkta bekletildikten sonra kullanılmıştır. Aşağıdaki eşitliğe göre peroksit değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{PS} = \frac{V \times T \times 1000}{m} \quad (3.9)$$

PS: Peroksit sayısı (meq g O₂/kg yağ)

V: Harcanan sodyum tiyosülfat çözeltisi, mL

T: Sodyum tiyosülfat çözeltisinin normalitesi

m: Örnek ağırlığı, g

3.2.4.4.4. Tiyobarbitürik asit sayısı (TBA) tayini

10 g bisküvi örneği 50 mL distile su ile homojenize edilmiş ve karışımın üzerine 47.5 mL distile su ve 2.5 mL 4N HCl eklenmiştir. Elde edilen karışım kjeldahl balonuna aktararak, balona köpürmeyi önlemek amacıyla cam boncuk atılmış ve balon kjeldahl distilasyon ünitesine bağlanmıştır. 50 mL distilat toplanıncaya kadar distilasyona devam edilmiştir. Toplanan distilattan cam tüplere 5 mL alınıp üzerine % 90'lık glasiyel asetik asitle hazırlanan tiyobarbitürik asit çözeltisinden 5 mL ilave edilerek, 35 dk kaynar su banyosunda tutulmuştur. Ardından tüpler hızlı bir şekilde soğutularak 538 nm dalga boyunda absorbans değerleri, 5 mL TBA reaktifi ve 5 mL distile su karışımı ile okunmuştur (UV-1900PC, Aoelab, CN). Elde edilen absorbans değeri 7.8 ile çarpılarak mg malondialdehit/kg (mg MDA/kg) olarak TBA sayısı hesaplanmıştır (Tarladgis ve ark., 1960).

3.2.4.4.5. Yağ asidi kompozisyonu tayini

Yağ asidi kompozisyonu analizi için öncelikle yağ asidi metil esterleri oluşturulmuştur. Analiz için (IUPAC, 1992) GC/MS (Shimadzu GC/MS QP 2010, Japonya) cihazı kullanılmıştır. Bisküvilerden ekstrakte edilen yağların metil esterlerini oluşturmak için ilk olarak 0.4 g yağ numunesi hassas terazide tartılıp üzerine 4 mL iso-oktan eklenmiştir. Karışım iyice karıştırıldıktan sonra 0.2 mL metanolde hazırlanmış potasyum hidroksit (KOH) ilave edilmiştir. Elde edilen karışım tekrardan karıştırılmış ve 6 dk boyunca karanlıkta bekletilmiştir. Daha sonra karışım üzerine 2-3 damla metil oranj damlatılıp 0.5 mL 1 normallik HCl çözeltisi eklenmiştir. Tüm karışım 30 dk boyunca karanlıkta bekletilip süre sonunda üst kısımda oluşan berrak sıvı viallere alınarak metil esterler hazır hale gelmiştir. Araştırmada Agilent DB23 (30 m uzunluğunda, 0.25 mm iç çapında, 0.25 µm film kalınlığında) kapiler kolon kullanılmıştır. Cihaz aşağıdaki koşullara ayarlanmıştır;

Çizelge 3.3. Gaz kromatografisinin çalışma koşulları

Cihaz	Agilent 6890N model
Dedektör	FID
Kolon	J&W Scientific, HP-INNOWAX-30mX0.25mmX0.25µm
Gazlar	N ₂ : 1.5 mL/dk, H ₂ : 35 mL/dk, Hava: 350 mL/dk
Sıcaklıklar	İnjektör: 250 °C Kolon: 120 °C (5 dk.), 240 °C (20 dk.) Dedektör: 260 °C
Split	10:01

3.2.4.5. Duyusal analiz

Duyusal değerlendirme ürünün kalitesi hakkında tüketicinin beğenisini ve isteklerini yansıttığı için oldukça önemlidir. Çoğunluğu Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi öğretim elemanlarından oluşan 25-60 yaş arasındaki 11 panelist değerlendirme öncesi bilgilendirilmiştir.

Panel üyelerine şortening ve şortening miktarı % 50 azaltılmış bisküvi, azaltılan şortening yerine ikame olarak, çörekotu, hindistan cevizi, susam ve üzüm çekirdeği yağı nanoemülsiyonları ile hazırlanan toplam 6 çeşit bisküvi numaralandırılarak numune kapları içerisinde, su ve duyusal değerlendirme formu (Ek 1) ile birlikte sunulmuştur.

Bisküviler renk, kesit yapısı, gevreklik, yağlılık hissi, tat, aroma, genel beğeni ve satın alma isteği bakımından değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

3.2.4.6. İstatistiksel analiz

İstatistiki analizler tekerrürlü olarak yapılmış, elde edilen veriler CoStat 6.4 programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuştur (Cohort, 2004). Çoklu karşılaştırma testi olarak Duncan kullanılarak aralarındaki fark $p<0.05$ seviyesinde belirlenmiştir. Korelasyon analizi yapılarak parametreler arasındaki ilişkiler önemli ($p<0.05$) şeklinde belirlenmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Nanoemülsiyonların Karakterizasyonu

4.1.1. Nanoemülsiyonların ortalama boyut, zeta potansiyel (ZP) ve polidispersite indeksi (PDI) analiz bulguları

Nano yapıların boyutunu, stabilitesini ve boyut dağılımını ortaya koymak için nanoemülsiyon örneklerinde ZP, zeta boyutu ve PDI değerleri belirlenmiş ve nanoemülsiyonların ortalama boyutu, ZP ve PDI değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Nanoemülsiyonların ortalama boyut, ZP ve PDI değerleri

Nanoemülsiyonlar	Boyut (nm)	ZP (mV)	PDI
ÇY	229.13±2.20 ^b	- 17.75±0.25 ^c	0.120±0.00 ^c
HCY	169.81±0.88 ^c	- 6.06±0.90 ^a	0.207±0.01 ^{ab}
SY	169.86±0.92 ^c	- 15.93±0.23 ^b	0.207±0.01 ^{ab}
UÇY	363.40±18.09 ^a	- 32.83±1.21 ^d	0.194±0.01 ^b

*Değerler ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. ^{a-e} Aynı sütunda farklı harfler, örnekler arasındaki farkı (p<0.05) gösterir.

Nanoemülsiyonların ortalama boyutunun ve PDI değerlerinin sırasıyla, 169.81 ile 363.4 nm ve 0.120 ile 0.207 aralığında olduğu belirlenmiştir. UÇY örneğinin boyutu 363.40 nm iken bu değer ÇY, HCY ve SY için sırasıyla 229.13, 169.81 ve 169.86 nm olarak bulunmuştur. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, örneklerin damlacık boyutları arasında önemli farklılıklar olduğunu (p<0.05) ortaya koymuş ve bu sonuç, yağ tipinin nanoemülsiyon stabilitesini etkilediğini göstermiştir. Ma ve ark. (2017)’ye göre, yağ türlerinin partikül boyutu üzerinde etkisi vardır. Bu iddia, bu tez çalışmasında doğrulanmıştır. Damlacık boyutundaki farklılıklar, yağların moleküler yapılarına, arayüzey gerilimine, yüzey aktif madde afinitesine ve trigliserit zincirlerinin geometrik yapısına bağlanmaktadır (Branco ve ark., 2020).

ZP, genellikle bir nanoparçacığın yüzey yükünü, yani katyonik, anyonik veya nötr karakteri tahmin etmek ve nanoparçacık yüzeylerini değerlendirmek için kullanılan standart bir karakterizasyon tekniğidir. Bu çalışmada, dört nanoemülsiyon örneğinin

ÇY, HCY, SY ve UÇY' nin ZP değerleri sırasıyla, -17.75, -6.06, -15.93 ve -32.83 mV olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Bu çalışmadan elde edilen veriler, örneklerin ZP değerleri arasında önemli farklılıklar olduğunu ($p<0.05$) göstermiş, bu da yağ tipinin nanoemülsiyon stabilitesini etkilediğini ortaya koymuştur.

Nanomalzemelerin ve kolloidal sistemlerin ZP'si ve bunların partikül boyutu, nano dağıtım sistemlerinin çeşitli özelliklerinden sorumludur. Daha yüksek bir zeta potansiyeli (pozitif veya negatif) kararlı bir sisteme neden olur. Daha yüksek elektrik yükü nedeniyle parçacıklar arasındaki güçlü itici kuvvetler kümelenmeyi önlemektedir (Abbasi ve ark., 2019). Bu tez çalışmasında üretilen nanoemülsiyonların, ZP'leri değerlendirildiğinde her dört örneğin de anyonik karaktere sahip olduğu görülmektedir. Nanoemülsiyonlardaki negatif ZP, yağlarda bulunan yağ asitlerinin varlığı ile açıklanabilir. Yağ yüklü nanoemülsiyonun özelliklerini ortaya koyan diğer çalışmalarda da negatif ZP değerleri elde edilmiştir (Ceylan ve ark., 2020; Meral ve ark., 2019; Yılmaz ve ark., 2021). Guerra-Rosas ve ark. (2016), limon otu ve mandalina esansiyel yağı yüklü nanoemülsiyonların zeta potansiyel değerlerinin sırasıyla; -15.20 ve -14.40 mV olduğunu, kekik ve kekik nanoemülsiyonlarının ise çok daha zayıf bir zeta potansiyeline (sırasıyla -6.53 ve -10.70) sahip olduğunu bulmuştur.

Nanopartiküllerin ZP değeri, 0 ± 10 mV arasında ise stabil olmayan, ± 10 ile ± 20 mV arasında ise kısmen stabil, ± 20 ile ± 30 mV arasında ise orta derecede stabil, ± 30 mV ve üstünde oldukça stabil olarak tanımlanmaktadır (Premi ve Sharma, 2017; Cano-Sarmiento ve ark., 2018). Özetle, yüksek ZP değerleri (negatif veya pozitif) teorik olarak yüksek stabilite gösterirken, düşük bir değer (negatif veya pozitif) düşük stabilite anlamına gelir (Cano-Sarmiento ve ark., 2018).

Dağınık ve sürekli faz arasındaki kırılma indisindeki büyük farklılıklar, polidispersite ile sonuçlanabilir. Polidispersite indeksindeki azalma, nanoemülsiyonların daha dar damlacık boyutu dağılımlarına sahip olduğunu göstermektedir (Ha ve ark., 2015). PDI, partikül boyutu dağılımının homojenliğini gösterir ve küçük bir PDI değeri, homojen ve dar bir boyut dağılımı anlamına gelir. Bu çalışmada ÇY, HCY, SY ve UÇY örneklerinin PDI değerleri sırasıyla 0.120, 0.207, 0.207 ve 0.194 olarak belirlenmiştir. $PDI<0.25$ çok dar bir boyut dağılımını belirtirken, $PDI>0.5$ geniş boyut dağılımını ifade eder. Çalışma sonucunda, ÇY örneğinin diğer örneklerle göre daha homojen boyut dağılımı sergilediği belirlenmesine rağmen, diğer nanoemülsiyon örneklerinin boyut

dağılımının da homojen olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, yağ tipinin nanoemülsiyon boyutu ve stabilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olacağını göstermiştir.

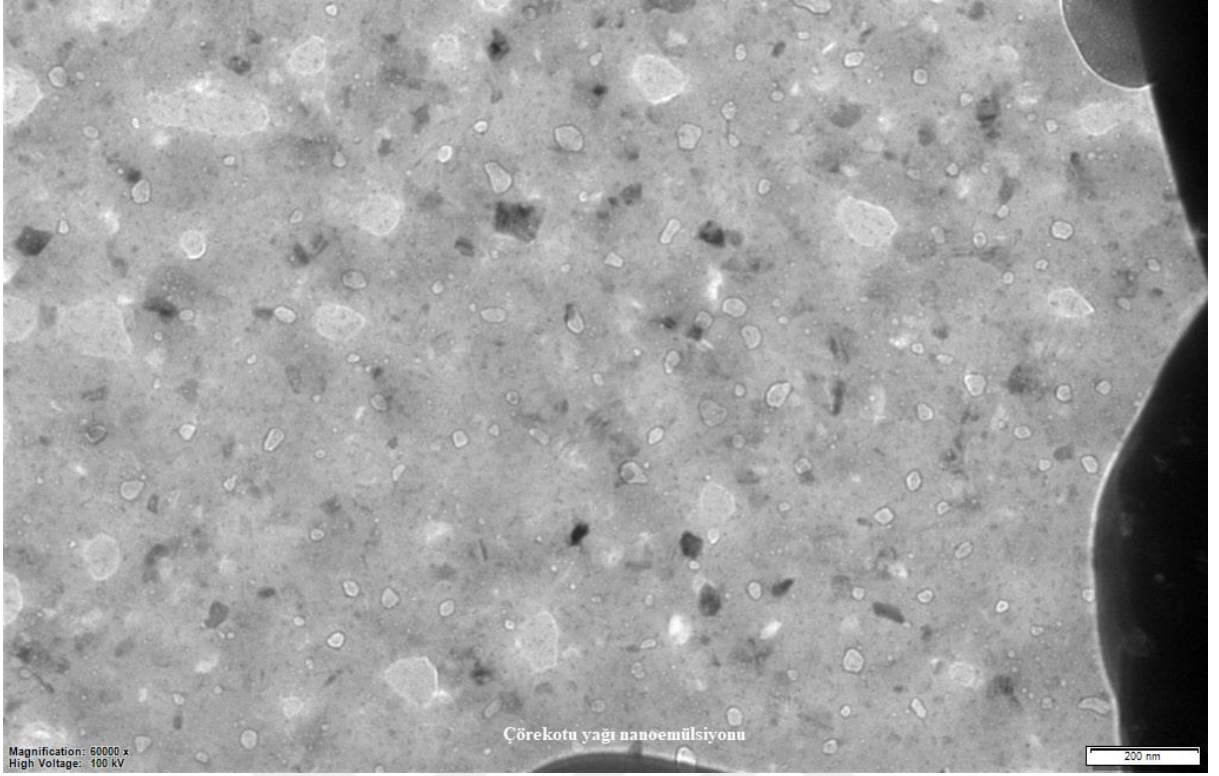
Ha ve ark. (2015), likopen nanoemülsiyonlarının damlacık boyutlarının 96 ile 282 nm arasında olduğunu ve PDI'nın 0.28 ile 0.47 arasında olduğunu belirtmiştir. Araştırmacılar ayrıca nanoemülsiyonların ZP değerlerinin -33 ila -42 mV arasında değiştiğini de ifade etmiştir. Benzer şekilde, Ceylan ve ark. (2020), 114.7 nm çapında, 0.144 PDI ve 14.76 mV zeta potansiyeline sahip buğday ruşeymi yağı nanoemülsiyonu elde edildiğini ifade etmiştir.

Pengon ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada hindistan cevizi nanoemülsiyonunun damlacık boyutunu 254.7 ± 0.016 nm, ZP değerlerini -4.41 ± 1.46 mV olarak belirlemiştir. Başka bir çalışmada, D- α -tokoferol ile yüklenmiş taze hazırlanmış nanoemülsiyonların zeta potansiyeli -12.01 ile -18.03 mV arasında tespit edilmiştir (Teixeira ve ark., 2017). Elde ettiğimiz bulgular, daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen verilerle uyusmaktadır.

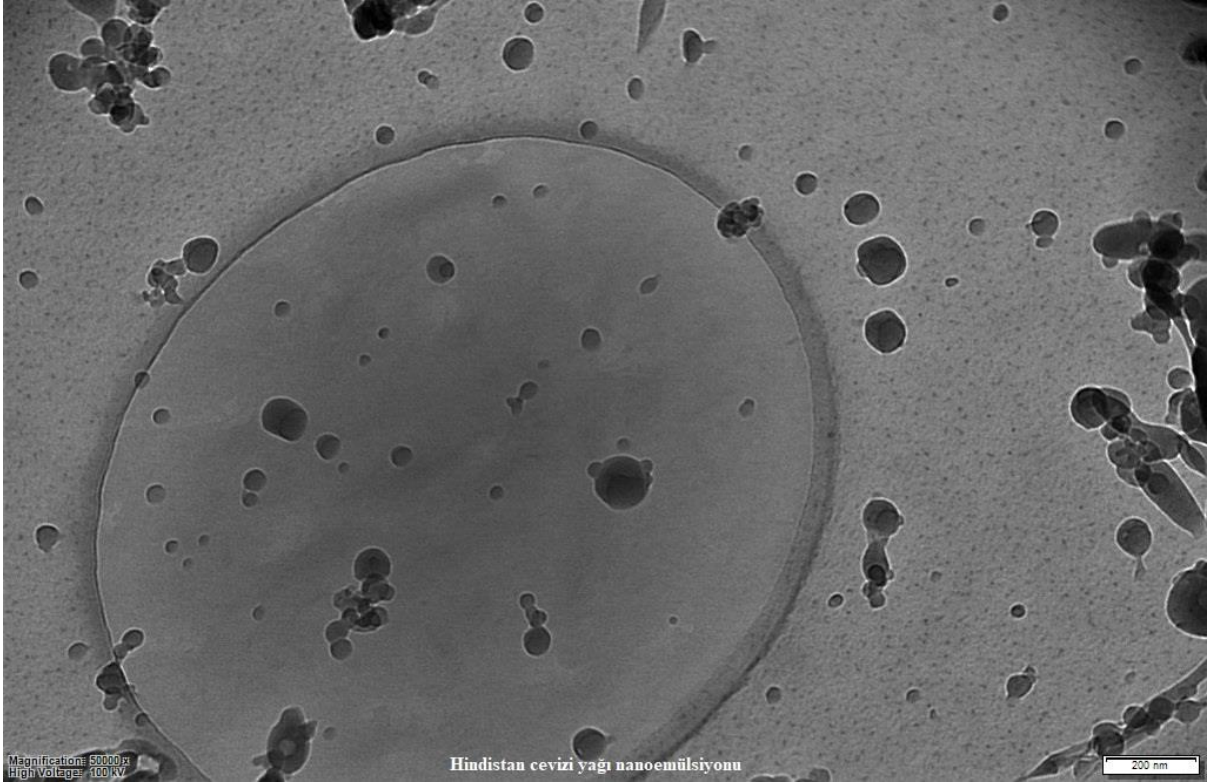
Sonuç olarak, bu çalışmadan elde edilen veriler; nano-boyutlu, anyonik karakterli ve homojen partikül boyutu dağılımına sahip nanoemülsiyonlar üretildiğini ortaya koymuştur.

4.1.2. Nanoemülsiyonların morfolojisi

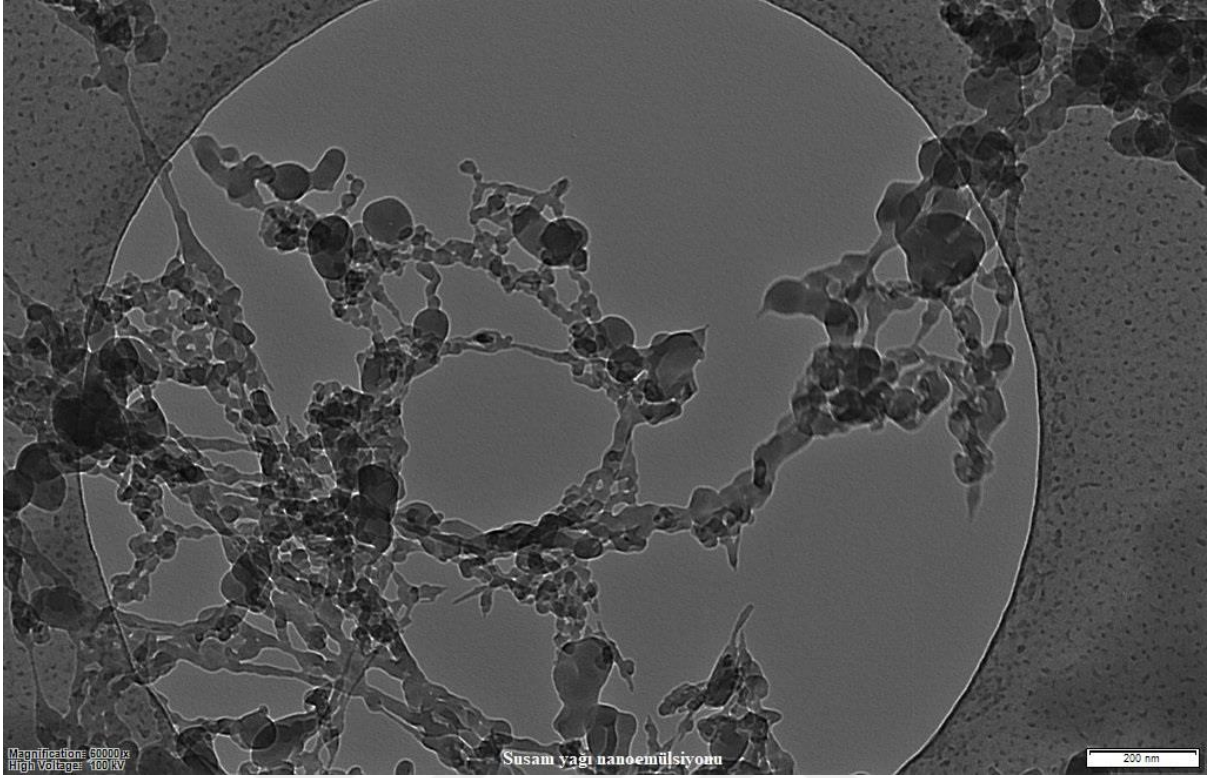
Nanoemülsiyonların morfolojisini ortaya koymak için Kriyo-TEM analizi yapılmış ve analiz sonucu elde edilen görüntüler Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4' de sunulmuştur. TEM analizi ile dinamik ışık saçılımı (DLS) analizi ile belirlendiği gibi 100-300 nm boyutunda nanomateryaller üretildiği doğrulanmıştır.



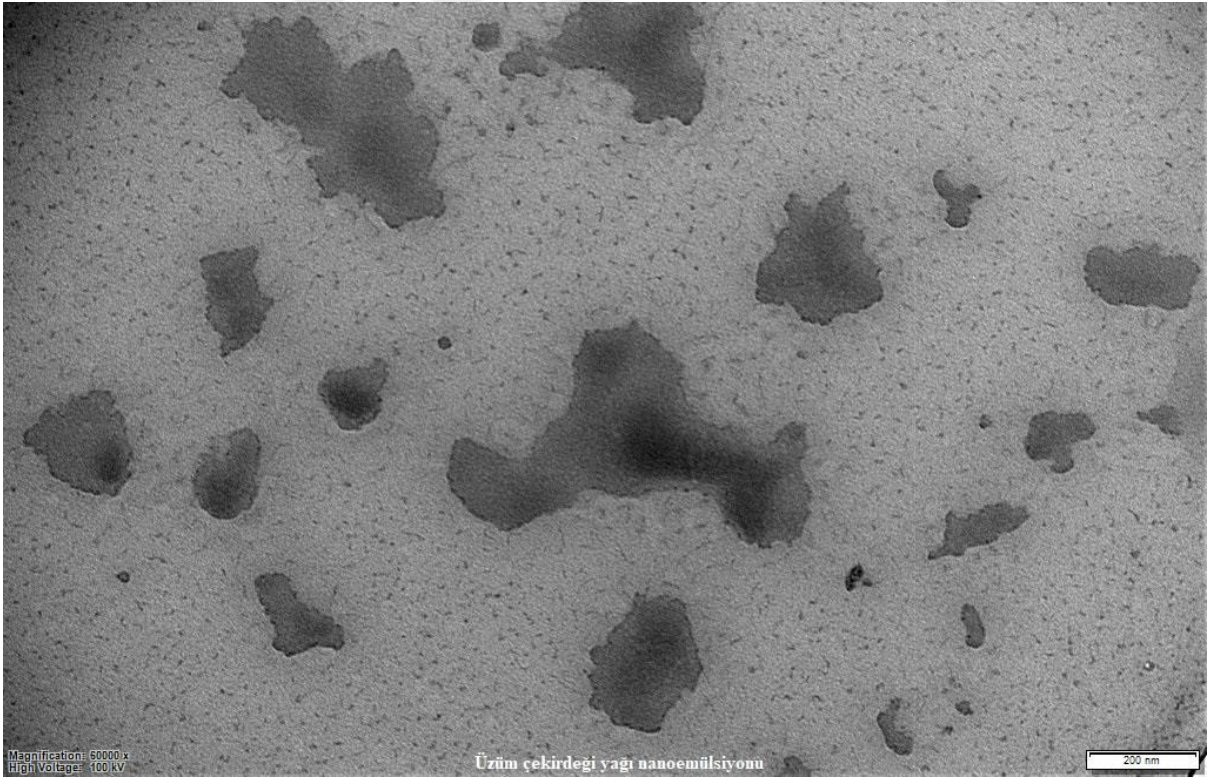
Şekil 4.1. Çörekotu yağı nanoemülsiyonu.



Şekil 4.2. Hindistan cevizi yağı nanoemülsiyonu.



Şekil 4.3. Susam yağı nanoemülsiyonu.



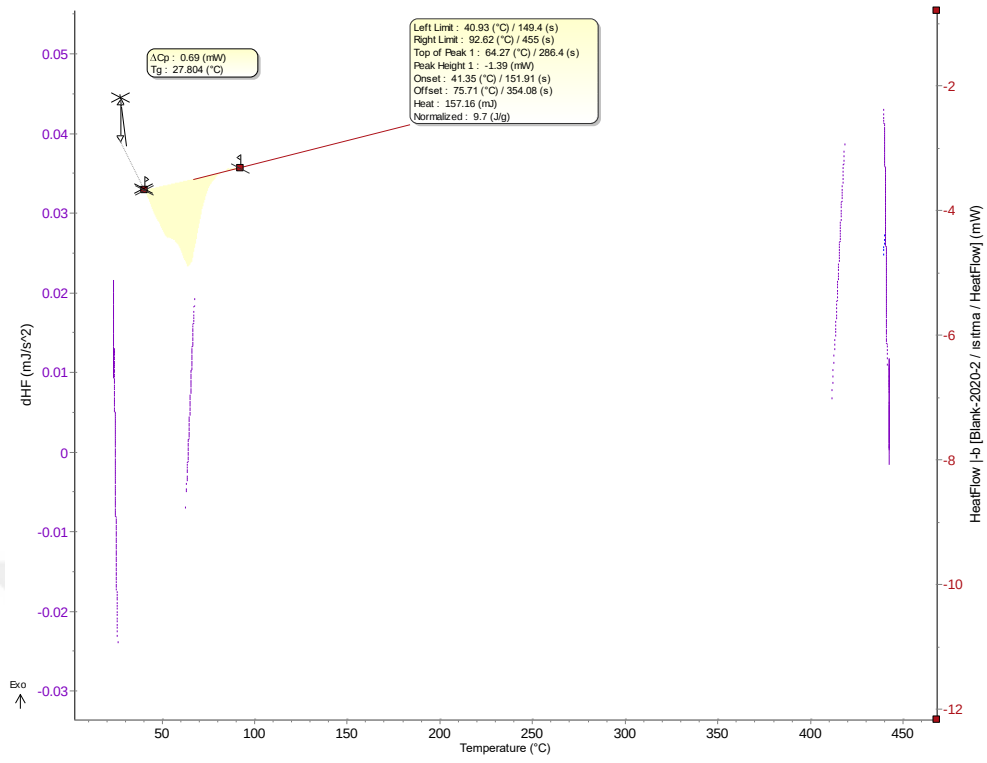
Şekil 4.4. Üzüm çekirdeği yağı nanoemülsiyonu.

TEM görüntülerinden de anlaşılaçağı gibi, nanopartüküllerin şekilleri birbirinden farklıdır. ÇY nanoemülsiyonlarında çubuk şekilli taneciklerin yanı sıra küre şekilli tanecikleri belirlenmiş, HCY nanoemülsiyonlarının boyutunun ve şeklinin diğer örneklere göre daha homojen olduğı görülmüştür. SY örneklerinde, birleşmiş küçük küresel parçacıklar ve fiber şekilli nanoparçacıklar gözlenmiş, UÇY nanoemülsiyonlarında ise küresel ve poligonal partiküller belirlenmiştir. UÇY örneklerinde, partiküllerin boyutunun diğer nanoemülsiyonların boyutundan daha büyük olduğı görülmüş ve DLS ile yapılan zeta boyut analizi sonucunda da UÇY örneklerinin boyutunun diğer örneklerden büyük olduğı ortaya konulmuştur.

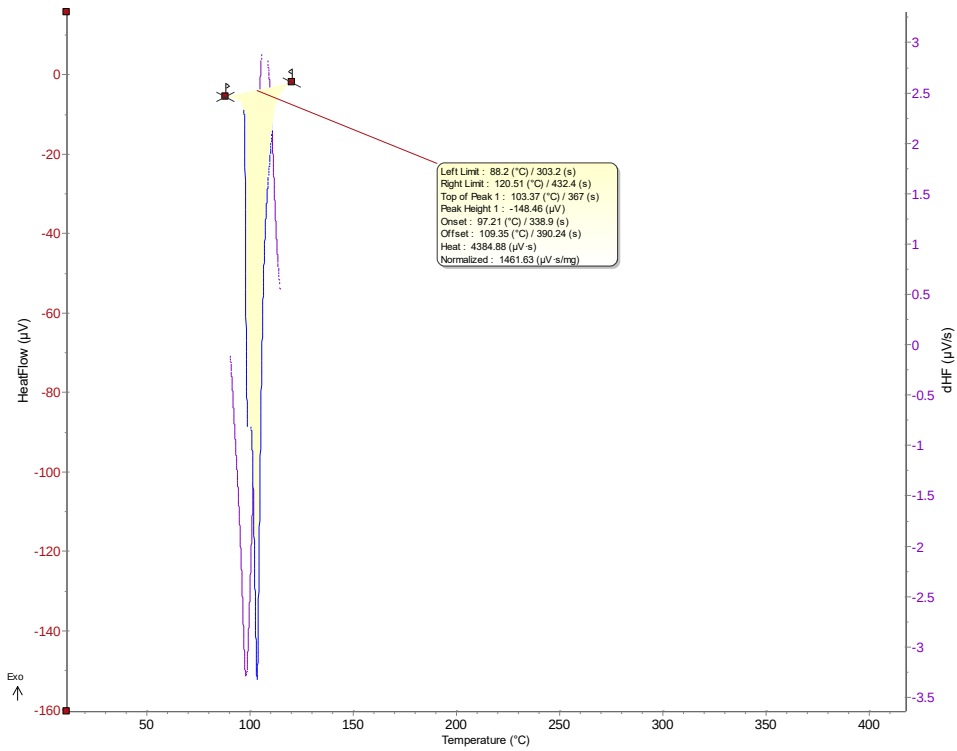
Çalışmada, nano boyutlu yağ yüklü nanoemülsiyonların üretimi doğrulanmış ve nanoteknoloji yardımı ile nano boyutlu yağın daha geniş yüzey alanına uygulanmasını sağlayan genişletilmiş yüzey alanı ve daha küçük parçacık boyutu elde edildiğı ortaya konulmuştur.

4.1.3. Nanoemülyonların termal karakterizasyonu

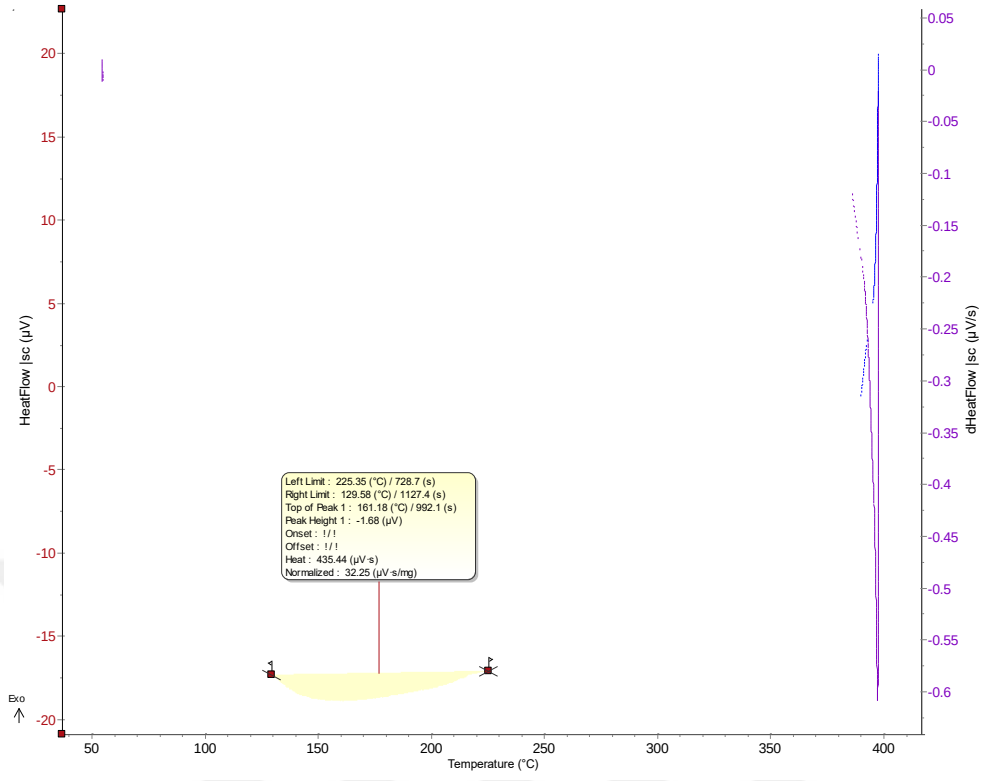
Nanomeülsiyon örneklerinin DSC ile termal özellikleri belirlenmiş ve elde edilen termogramlar Şekil 4.5., 4.6., 4.7. ve 4.8' de verilmiştir.



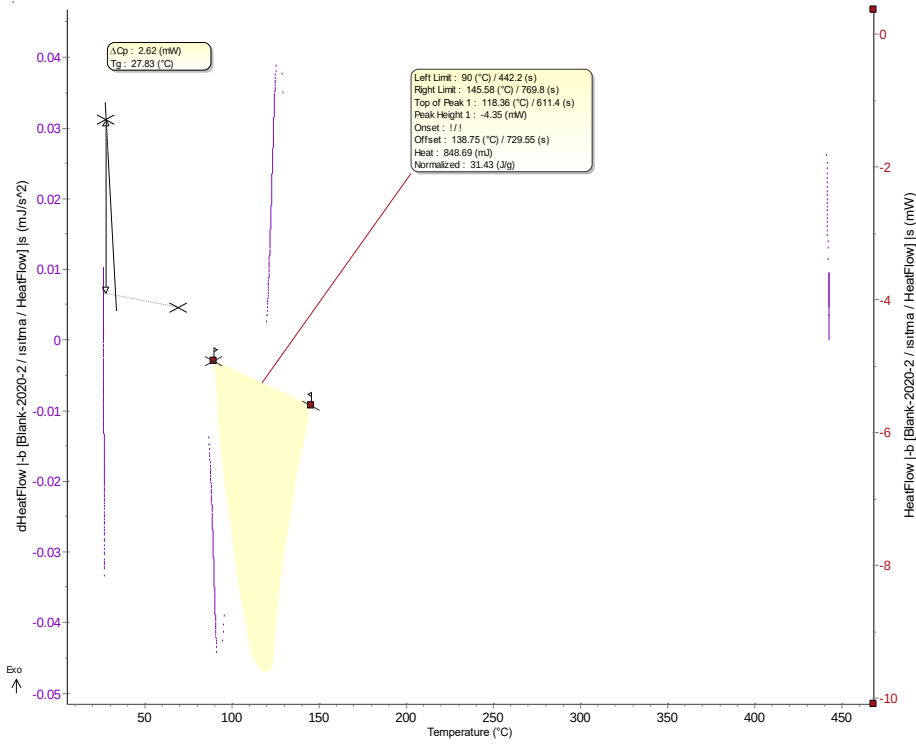
Şekil 4.5. ÇY örneklerinin termogramı.



Şekil 4.6. HCY örneğinin termogramı.



Şekil 4.7. SY örneğinin termogramı.



Şekil 4.8. UÇY örneğinin termogramı.

Dört nanoemülsiyon örneğinde de muhtemelen yağların erimesinden kaynaklanan endotermik pik gözlenmiştir. Bu piklerin başlangıç noktaları, ÇY için 45 °C, HCY için 110 °C, SY için 130 °C, UÇY için 125 °C civarı olarak belirlenmiştir. SY örneklerinin termal dayanımının diğer nanoemülsiyonlara göre daha yüksek olduğu DSC termogramlarından görülmektedir. Suksuwan ve ark., (2021) çörek otu yağı kullanarak hazırladıkları lipid nanopartiküllerinin DSC termogramlarında, 24.5 °C’ de erimeye işaret eden endotermik pik belirlemişlerdir. Aynı çalışmada, saf çörek otu yağının DSC termogramında, 23.1 °C’ de endotermik pik belirlenmiştir. Genel olarak doymuş yağ oranı yüksek olan yağların, doymuş yağ oranı düşük olan yağlardan daha yüksek erime kristalleşme sıcaklığına sahip olduğu gösterilmiştir (Tan ve Che Man, 2000). Hindistan cevizi yağının iyot değerinin 9.37 olduğu bildirilmiştir. Tan ve Che Man. (2000), 18 farklı yenilebilir yağın kristalleşme ve erime profilini DSC ile belirledikleri çalışmalarında Hindistan cevizi yağı örneklerinde kristalizasyona atfedilen iki tane ekzotermik pik belirlemişlerdir.

Tan ve Che Man. (2000), hindistan cevizi yağının DSC ile termal davranışını inceledikleri çalışmada hindistan cevizi yağı için erime noktası başlangıcının 13 °C olduğunu ortaya koymuşlardır. Yağların erime noktaları dikkate alındığında, nanoemülsiyon içine enkapsüle edilen yağların erime sıcaklıklarının yükseltildiği görülmüştür.

4.2. Bisküvi Kimyasal Analizleri

4.2.1. Nem miktarı

Bisküvi örneklerine ait nem değerleri Çizelge 4.2’de verilmiş ve bisküvi örneklerinde nem değerinin % 5.61 (UN) ile % 7.33 (KT) arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek nem içeriğine sahip örneklerin kontrol bisküvileri (% 7.33) olduğu belirlenmiş ve kontrol örneğini sırasıyla HN (% 6.71), SN (% 6.64), YK (% 6.48), CN (% 6.09) ve UN (% 5.61) örnekleri takip etmiştir. Yağı azaltılan örneklerde, kontrole kıyasla nem miktarının da azaldığı belirlenmiş ve bu azalma istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Nem içeriği, bisküvide gevreklik, kırılğanlık gibi tekstürel özellikler üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Ayrıca nem içeriğinin yüksek olması ile raf ömrünün arasında negatif bir ilişki vardır. Bu nedenle bisküvi, düşük nem miktarı ile karakterize edilen unlu mamuldür. Yağ ikamelerinin bisküvi özelliklerinin üzerine etkisini belirleyen çalışmalarda da bizim elde ettiğimiz bulgulara benzer bulgular elde edilmiştir.

Yulaf ezmeli bisküvilerde yağ ikamesi olarak % 50 düzeyinde avokado püresi ve yulaf ezmesinin kullanıldığı bir çalışmada, yulaf ezmesi ile ikame edilen bisküvilerin nem miktarı % 7.89 olarak belirlenirken, avakado püresi ile ikame edilen bisküvilerin nem miktarı % 5.74 olarak belirlenmiştir (Wekwete ve Navder, 2008). Moriano ve ark. (2018), tarafından yapılan başka bir çalışmada, bisküvi üretiminde yağ ikamesi olarak % 25 ve 50 oranında polidekstroz kullanılmış ve bisküvilerin nem miktarı sırasıyla % 6.56 ve 7.67 olarak bulunmuştur.

Öğütölmüş sarı haşhaş tohumunun yağ ikame edici olarak kullanıldığı bir çalışmada, bisküvilerin yağı % 25, 50, 75 ve 100 oranlarında azaltılmış ve bisküvilerin nem içeriğinin % 5.85 ile % 7.19 arasında değıştiği tespit edilmiştir (Yalçın, 2017). Yine yağ ikamesi olarak % 0, 10, 20 ve 30 oranında kahve çekirdeği zırının kullanıldığı bir başka çalışmada, bisküvi örneklerinin nem içeriği, sırasıyla % 5.49, 7.47, 11.06 ve 11.92 olarak bulunmuştur (Coşkun, 2020).

Ünal ve ark. (1996), piyasadan temin ettikleri farklı tipteki bisküvilerin bazı kalite niteliklerinin tespitini konu alan çalışmalarında bisküvi örneklerinin nem içeriğini % 3.22 ile 9.15 arasında değıştiğini belirlemişlerdir. Sonuç olarak, mevcut çalışmada elde ettiğimiz veriler, literatür bilgileri ile örtüşmekte ve piyasada bulunan bisküvilerin nem miktarlarına benzerlik göstermektedir.

Çizelge 4.2. Bisküvilerin kimyasal özellikleri ve enerji değerleri

Örnekler						
Kimyasal özellikler	KT	YK	CN	HN	SN	UN
Nem (%)	7.33±0.39 ^a	6.48±0.06 ^{bc}	6.09±0.00 ^{cd}	6.71±0.18 ^b	6.64±0.08 ^b	5.61±0.27 ^d
Kül (%)	0.75±0.07 ^{ab}	0.76±0.03 ^{ab}	0.85±0.01 ^a	0.81±0.04 ^a	0.68±0.00 ^b	0.80±0.08 ^{ab}
Protein (%)	5.63±0.03 ^c	7.50±0.09 ^a	6.15±0.59 ^{bc}	6.51±0.35 ^b	6.28±0.07 ^{bc}	6.58±0.29 ^b
Yağ (%)	27.98±0.68 ^a	14.54±0.89 ^c	14.07±0.06 ^c	18.62±0.03 ^b	15.20±0.41 ^c	15.13±0.25 ^c
Karbonhidrat (%)	58.30±1.11 ^d	70.71±0.77 ^b	72.82±0.66 ^a	67.33±0.54 ^c	71.18±0.15 ^{ab}	71.87±0.35 ^{ab}
Enerji (kcal/100 g)	507±1.55 ^a	443±4.57 ^d	442±0.29 ^d	463±1.04 ^b	446±2.39 ^{cd}	450±2.00 ^c

*KT: Kontrol, YK: Yağsız kontrol, CN: ÇY içeren bisküviler, HN: HCY içeren bisküviler, SN: SY içeren bisküviler, UN: UÇY içeren bisküviler. *Değerler ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. ^{a-e} Aynı satırda farklı harfler, örnekler arasındaki farkı (p<0.05) gösterir.

4.2.2. Kül miktarı

Gıdalardaki kül, mineral ve tuz içeriğinin bir göstergesidir. Bisküvi örneklerinin kül sonuçlarına ait sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiş olup, bu değerlerin % 0.75 ile 0.85 arasında değişim gösterdiği ortaya konmuştur.

Bisküvi örneklerinde yapılan kül tayini analizine göre; en yüksek kül miktarı CN bisküvilerinde (% 0.85) ve en düşük kül miktarının ise SN bisküvi örneklerinde (% 0.68) olduğu tespit edilmiştir. Bisküvilerin kül içerikleri, $p < 0.05$ önem düzeyinde birbirlerinden farklı bulunmuştur.

Coşkun (2020), kahve çekirdeği zarı ile yağı % 10, 20 ve 30 oranında ikame edilen bisküvilerin kül miktarının % 1.52 ile 1.66 arasında olduğunu belirtmiştir. Yine bisküvi yağının inülin ile ikame edildiği başka bir çalışmada, bisküvi örneklerinin kül içeriklerinin % 1.2 ile 1.35 arasında değişim gösterdiği, bisküvi formülasyonlarında yağ miktarının azaltılması ile bisküvi örneklerinde kül miktarlarının arttığı bildirilmiştir (Şenerkek, 2019).

Elde ettiğimiz sonuçları, yukarıda bahsedilen çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile kıyasladığımızda; kül değerlerinin daha önce rapor edilen miktarlardan düşük çıktığı belirlenmiştir. Bu farklılığın, hamurda kullanılan tuz miktarlarının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Öte yandan, Özkaya ve ark. (1984), piyasadan toplayıp bazı kimyasal özelliklerine baktıkları bisküvilerin kül değerlerinin ortalama % 0.74 olduğunu tespit etmiş ve bu değerin % 0.40 ile % 1.54 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Bu anlamda mevcut çalışmada elde edilen veriler, Özkaya ve ark. (1984) tarafından rapor edilen sonuçlar ile uyumludur.

4.2.3. Protein miktarı

Bisküvilerin protein değerleri, Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Bisküvi örneklerinin protein miktarları % 5.63 ile % 7.50 arasında değişmiştir. Analiz sonuçlarına göre en düşük ham protein miktarı ortalama % 5.63 kontrol örneklerinde elde edilirken, en yüksek ham protein miktarı ise ortalama % 7.50 ile yağ miktarı % 50 oranında azaltılmış YK bisküvilerinde tespit edilmiştir.

Yapılan istatistiki analiz, nanoemülsiyon ilavesinin bisküvilerin protein miktarları üzerine etkisinin önemli olduğunu ortaya koymuştur ($p<0.05$).

Bisküvi formülasyonunda bulunan yağın buğday kepeği ile kısmen değiştirilerek zenginleştirilmesinin amaçlandığı bir çalışmada, kontrol grubu bisküvilerinin protein miktarı % 5.30 olarak tespit edilmiş; % 30, 40 ve 50 oranında yağ ikamesi yapılan bisküvilerde ise protein miktarının sırasıyla % 6.56, 8.03 ve 8.13 olduğu bildirilmiştir (Filipčev ve ark., 2016). Bisküvi yağının buğday ve yulaf kepeği jelleri ile ikame edildiği başka bir çalışmada, kontrol grubu bisküvilerinin protein miktarının % 7.14, % 30 buğday kepeği jeli içeren bisküvilerin protein miktarının, % 7.50 ve % 30 oranında yulaf kepeği jeli içeren bisküvilerin protein miktarının % 7.28 olduğu tespit edilmiştir (Milićević ve ark., 2020).

Tam yağlı kontrol bisküvilerinin % 46.4 oranında yağının azaltıldığı ve azaltılan yağın yerine polidekstroz ile dirençli nişasta, çift emülsiyon, ham ve ekstrüde edilmiş fasulye tozlarının kullanıldığı başka bir çalışmada, örneklerin protein miktarı kontrol grubu başta olmak üzere % 5.7, 4.7, 6.2, 6.2 ve 6 olarak tespit edilmiştir (Morianoa ve ark., 2019). Krystyjan ve ark. (2015) tarafından yapılan ve yağ ikamesi olarak inülin kullanımının hamurun ve bisküvinin üzerine olan etkilerini incelediği çalışmada, bisküvilerin protein miktarı % 6.84 ile 6.97 olarak belirlenmiştir.

Sunulan literatür özetlerinden de görüleceği üzere, yaptığımız çalışmada, bisküvilerin protein miktarları bildirilen protein değerleriyle benzerlik göstermektedir.

4.2.4. Yağ miktarı

Bisküvi örneklerinin yağ miktarına ait değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bisküvi örneklerinin yağ miktarı % 14.07 ile 27.98 arasında değişim göstermiştir.

Kontrol bisküvi örneğinin % 27.98 oranında yağ içerdiği belirlenirken; HN, UN, SN, YK ve CN örneklerinde yağ miktarları sırasıyla % 18.62, % 15.13, % 15.20, % 14.54 ve % 14.07 olarak tespit edilmiştir.

Krystyjan ve ark. (2015) tarafından yapılan ve inülinin yağ ikamesi olarak kullanıldığı çalışmada, bisküvilerin yağ miktarlarının % 21.60 ile 11.75 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Çiftçi (2018), yağı azaltılmış bisküvilerde yağ ikame maddesi olarak kestane ve keçiyoynuzu unu kullandığı çalışmada, kontrol bisküvilerinin yağ oranını % 21.80; yağ oranının % 50 oranında kestane unu ve keçiyoynuzu unu ile ikame ettiği bisküvilerin yağ oranını ise sırasıyla % 11.49 ve 11.80 olarak tespit etmiştir.

Lourencetti ve ark. (2013), bisküvilerde yağın ikamesi amacıyla inülin kullandıkları çalışmalarında; yağ ikame madde oranı arttıkça örneklerin yağ değerlerinde istatistiki açıdan önemli düşüş gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Araştırmada kontrol bisküvilerinin yağ oranı % 28 olarak tespit edilmişken, yağ oranı % 50 oranında azaltılarak, inülin ikamesi yapılan bisküvilerin yağ miktarının % 10 olduğu belirlenmiştir.

Goswami ve ark. (2018), bisküvilerde yağ ikame maddesi olarak guar gam kullandıkları çalışmalarında, kontrol bisküvilerinin yağ oranını % 19.4, yağ miktarını % 40 oranında azalttıkları bisküvilerde ise bu oranı % 12 olarak belirlemişlerdir.

Yağın yer değiştirme esasına göre kahve çekirdeği zarı ile ikame edildiği bir başka çalışmada, kontrol bisküvilerinin yağ miktarı % 20.98 olarak tespit edilmiştir. Yağ oranı, % 10, 20 ve 30 oranlarında azaltılmış bisküvilerin yağ miktarı ise sırasıyla % 19.06, 14.89 ve 12.16 olarak belirlenmiştir (Coşkun, 2020).

Sonuç olarak, bisküvilerde yağ oranı kontrole göre (beklenildiği gibi) % 33 ile % 48 arasında düşürülmüştür. En az düşüş, hindistan cevizi yağı ile hazırlanan nanoemülsiyonları içeren bisküvilerde kaydedilmiştir. Bu durum, hindistan cevizi yağında bulunan doymuş yağ asitlerinin erime sıcaklığının yüksekliğine (Tan ve Che Man, 2000) ve/veya bu yağda bulunan emülsifiye edici maddelerin varlığı nedeniyle örneklerden yağın ekstraksiyonunun güçleşmesine bağlanmıştır.

4.2.5. Karbonhidrat miktarı

Çizelge 4.2’de bisküvilerin karbonhidrat değerleri verilmiş olup, bu değerler % 58.30 ile % 72.82 arasında değişim gösterdiği ortaya konmuştur. Daha önce yapılan çalışmalarda da karbonhidrat değeri ile ilgili olarak elde ettiğimiz bulgulara benzer bulgular elde edilmiştir. Örneğin; bisküvilerde yağın protein bazlı yağ ikamesi (Simplese) ile % 44 oranında ikame edildiği bir çalışmada, kontrol bisküvilerinin karbonhidrat miktarı % 67.72 olarak belirlenmiş ve bu değerin, yağı azaltılmış

bisküviler için % 73.56 olduğu bildirilmiştir (Chugh ve ark., 2016). Yine Chugh ve ark., (2015) tarafından yapılan ve bisküvilerde karbonhidrat bazlı yağ ikame maddeleri (polidekstroz ve guar zımkı kombinasyonu) kullanılarak yağın % 70'i oranında ikame edildiği başka bir çalışmada, kontrol grubu bisküvilerinin karbonhidrat miktarının % 67.72, yağı azaltılan bisküvilerin karbonhidrat miktarının ise % 73.56 olduğu belirlenmiştir.

Filipčev ve ark. (2016), bisküvi formülasyonunda yağın farklı seviyelerde (% 30, 40 ve 50) ince öğütülmüş buğday kepeği ile ikame edilmesi ile hamur yapısında, bisküvi özelliklerinde ve besin kalitesinde meydana gelen değişimi incelenmiş ve çalışma sonucunda tam yağlı kontrol bisküvilerinin toplam karbonhidrat miktarının % 48.18 olduğunu bildirmiştir. Bu araştırmacılar, yağı % 30, 40 ve 50 oranında ikame edilen bisküvilerin toplam karbonhidrat miktarının sırasıyla; % 54.96, 56.49 ve 58.01 olduğunu ifade etmişlerdir.

Tüketici beğenisini konu alan bir başka çalışmada yağı ve şekeri azaltılmış bisküviler polidekstroz, laktitol ve yulaf gevreği ile ikame edilerek yağ miktarı yaklaşık % 8.5, 15, 26 ve 33 oranında düşürülmüştür. Karbonhidrat miktarı kontrol bisküvilerinde % 65 olarak tespit edilmişken, yağı % 33 oranında azaltılan bisküvilerde bu oran % 67.5 olarak bildirilmiştir. (Biguzzi ve ark.,2015).

4.2.6. Enerji değeri

Bisküvi örneklerine ait enerji değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Buna göre örneklerin enerji değeri 442 (CN) ile 507 kcal/100 g (KT) arasında değişmektedir. Kontrol grubu bisküvilerin (KT) enerji değeri diğer bisküvilere göre daha yüksek bulunmuştur. Kontrol grubu bisküvilerinin (KT) yağ miktarlarının daha yüksek olması nedeniyle enerji değerinin yüksek olması beklenen bir durumdur.

Daha önceden yapılan çalışmalarda; Chugh ve ark. (2016), Simplese (protein bazlı yağ ikamesi) ile formülasyondaki yağı % 44 oranında ikame ederek hazırladıkları bisküvilerde, enerji değerinin 480.28 kcal/100 g'dan 418.34 kcal/100 g'a düşürüldüğünü ortaya koymuşlardır. Benzer şekilde Filipčev ve ark. (2016), ise bisküvideki yağı ince öğütülmüş buğday kepeği ile % 30, 40 ve 50 oranlarında ikame ederek elde ettikleri bisküvilerde, enerji değerlerini başta kontrol grubu olmak üzere

sırasıyla 412.8, 353, 348.3, 345,7 kcal/100 g olarak hesaplamış ve elde edilen değerlere göre bisküvilerin enerji değerlerinin, % 14.5 ile 16.2 arasında düşürüldüğünü ifade etmişlerdir.

Hamur ve bisküvi özelliklerinde yağ ikamesi olarak inülin kullanımının etkisinin araştırıldığı başka bir çalışmada, %20, 30, 40 ve 50 oranları arasında inülin ile ikame edilen bisküvilerde enerji değerleri sırasıyla, 462, 448, 434 ve 426 kcal/100 g olarak tespit edilmiştir. Kontrol grubu bisküvilerinin 486 kcal/100 g enerji değerine sahip olduğu saptanmış olan bu çalışmada, yağın inülin ile ikamesi ile kalori değerinin % 5 ile % 12 arasında azaltıldığı belirtilmiştir (Krystyan ve ark., 2015).

Bisküvi formülündeki yağın % 30, 40, 50, 60 ve 70 oranlarında polidektroz ve guar zatk kombinasyonları ile ikame edildiği başka bir çalışmada, kontrol grubu bisküvilerinin enerji değerinin 480.28 kcal/100 g olduğu belirlenirken, yağı % 70 oranında ikame edilen bisküvilerde bu değerin 396.72 kcal/100 g olduğu belirlenmiş ve bisküvilerin kalori değerinin % 17.4 oranında düşürüldüğü tespit edilmiştir (Chugh ve ark., 2015).

Fonksiyonel bir gıda bileşeni olan *Agave angustifolia* (sabar otu) fruktanlarının teknolojik işlevselliğinin araştırıldığı bir çalışmada ise bisküvi yağı % 10, 20 ve 30 oranında *Agave angustifolia* fruktanları ile ikame edilmiştir. Yağ azaltma ile birlikte kontrol grubunda 613 kcal/100 g tespit edilen enerji değeri, ikame miktarı arttıkça sırasıyla 525, 503, ve 487 kcal/100 g'a düşürülmüştür (Santiago-García ve ark., 2017).

Bu tez çalışmasında elde ettiğimiz enerji değerlerinin, daha önce yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu ve nanoemülsiyon ikamesi ile bisküvilerin enerji değerlerinin kontrol grubu bisküvilere (KT) kıyasla % 8.6 ile 12.82 arasında düşürüldüğü ortaya konulmuştur.

4.3. Bisküvilerin Fiziksel Özellikleri

4.3.1. Pişme kaybı

Üretilen bisküvilerin pişme kaybı değerleri Çizelge 4.3'te belirtilmiştir. Buna göre pişme kaybı değerlerinin % 10.65 ile 14.92 aralığında değiştiği saptanmıştır. En düşük pişme kaybı değerine tam yağlı kontrol örneğinin sahip olduğu, en yüksek pişme

kaybı değerine ise hindistan cevizi yağı nanoemülsiyonu kullanılarak hazırlanan bisküvi örneklerinin sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Bisküvilerde pişme kaybı

Bisküviler	Pişme kaybı (%)
KT	10.65±0.16 ^c
YK	11.59±0.29 ^b
CN	14.79±0.09 ^a
HN	14.92±0.62 ^a
SN	14.63±0.09 ^a
UN	14.74±0.34 ^a

*KT: Kontrol, YK: Yağsız kontrol, CN: ÇY içeren bisküviler, HN: HCY içeren bisküviler SN: SY içeren bisküviler, UN: UÇY içeren bisküviler. *Değerler ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. ^{a-e} Aynı sütunda farklı harfler, örnekler arasındaki farkı (p<0.05) gösterir.

Kontrol bisküvi örneğine ait pişme kaybı değeri ortalama % 10.65 olup, bu değer hazırlanan nanoemülsiyonlar ile yağı % 50 oranında azaltılan bisküvi örneklerinde artışlar göstererek % 14.92 değerine kadar ulaşmıştır.

Üretilen kontrol bisküvi (KT) örnekleri ve nanoemülsiyonlar ile yağı ikame edilen bisküvi örneklerinin pişme kaybı değerlerinin istatistiksel değerlendirmesi yapıldığında, değişimlerin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir (p<0.05).

Elde edilen sonuçlara göre en fazla pişme kaybı, nanoemülsiyonlar ile hazırlanan bisküvi örneklerinde belirlenmiştir. Pişirme sırasındaki ağırlık kaybının ana sebebi; buharlaşan suya atfedilmiş ve yağ miktarının tüm bileşenleri bağlamak için yeterli miktarda olmamasının ve bisküvi üzerinde geniş yüzey çatlaklarının oluşmasının, bisküvilerde pişme kaybının artmasının nedeni olduğu düşünülmüştür.

Filipçev ve ark. (2016), yağ ikame maddesi olarak ince öğütülmüş buğday kepeği kullandıkları çalışmada, kontrol grubu bisküvilerinin pişme kaybını % 12.5 olarak belirlemiş, % 30, 40 ve 50 oranında buğday kepeği ikamesi ile hazırlanan bisküvilerde bu değerler sırasıyla % 16.8, 16.6, 15.7 olduğunu bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada yağ ikamesi olarak inülin kullanımının bisküvi kalitesi üzerine etkileri araştırılmış ve bisküvi örneklerinin pişme kaybı değerlerinin % 13.14 ile 17.13 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. İnülin ile yağ ikamesinin, kontrol grubu bisküvilerine göre pişme kaybını arttırdığı bildirilmiştir (Şenerkek, 2019).

Doğan ve Uğur (2004), Van ve çevresinde yetiştirilen bazı buğdayların bisküvilik kalitesi üzerine yaptıkları araştırmada, üretilen bisküvilerde pişme kayıplarının % 13.3 ile 21.4 arasında değiştiğini belirtmiştir. Doğan (2016), uşkun ve keçiboynuzu gamı kullanılarak üretilen glutensiz bisküvilere ait pişme kaybı değerlerinin, % 11.90 ile 15.68 arasında olduğunu saptamıştır. Elde ettiğimiz sonuçlarla bu literatür bilgileri benzerlik göstermektedir.

4.3.2. Renk

Bisküvilerde renk, beğeni ve satın alma kriterinden birisidir. Bu çalışmada, nanoemülsiyon ilavesinin bisküvinin renk değerleri üzerine etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4' de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Bisküvilerin renk değerleri

Bisküviler	Renk değerleri		
	L^*	a^*	b^*
KT	68.74±4.49 ^{ab}	3.75±1.83 ^a	29.83±1.44 ^b
YK	74.71±2.11 ^a	3.90±2.20 ^a	29.39±2.95 ^b
CN	66.4±1.01 ^b	6.53±0.22 ^a	32.12±0.40 ^{ab}
HN	66.20±0.69 ^b	6.53±0.53 ^a	33.27±0.17 ^{ab}
SN	67.56±2.77 ^b	6.03±1.46 ^a	34.24±1.19 ^a
UN	67.30±1.27 ^b	5.25±1.29 ^a	31.82±0.37 ^{ab}

*KT: Kontrol, YK: Yağsız kontrol, CN: ÇY içeren bisküviler, HN: HCY içeren bisküviler SN: SY içeren bisküviler, UN: UÇY içeren bisküviler. ^{a-e} Değerler ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. ^{a-e} Aynı sütunda farklı harfler, örnekler arasındaki farkı (p<0.05) gösterir.

L^* değeri, açıklık ve koyuluğu (beyaz-siyah), a^* değeri yeşil-kırmızı aralığını, b^* değeri ise sarılık-mavilik değerini gösterir.

Bisküvi örneklerinin L^* değerleri 66.20 ile 74.71, a^* değerleri 3.75 ile 6.53 ve b^* değerleri 29.39 ile 34.24 arasında değişim göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre bisküvi örneklerinin; L^* ve b^* değerlerinin nanoemülsiyon ilavesinden önemli oranda etkilendiği belirlenirken (p<0.05), nanoemülsiyon ilavesinin a^* değeri üzerine etkisinin önemsiz olduğu ortaya konmuştur (p>0.05).

Kontrol grubunda 68.74 olan L^* değeri, yağsız kontrol örneğinde (YK) 74.71' e yükselmiş, nanoemülsiyon içeren örneklerde bu değer düşüş eğilimi sergilemiştir.

Yapılan istatistiksel analize göre, kontrol grubu örnekler ile nanoemülsiyon içeren örnekler arasında farklılık belirlenmemiş ($p>0.05$) ancak yağsız kontrol örnekleri ile nanoemülsiyon içeren örneklerin L^* değerleri arasında önemli fark tespit edilmiştir ($p<0.05$). Bisküvi formülasyonuna nanoemülsiyon ilavesi ile bisküvilerin açıklık-koyuluk ve parlaklık değerini ifade eden L^* değerlerinin, kontrol örneğine kıyasla değişmediği belirlenmiştir.

Bisküvi örneklerinde en yüksek a^* değeri 6.53 ile çörek otu yağı kullanılarak hazırlanan nanoemülsiyonları içeren CN örneklerinde, en düşük a^* değeri ise kontrol grubu bisküvilerde tespit edilmiş ve formülasyona nanoemülsiyon ilavesinin bisküvilerin a^* değerleri üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ortaya konulmuştur ($p>0.05$). Elde edilen sonuçlara göre üretilen bisküvilerin hepsinin a^* değerlerinin pozitif skalada olduğu belirlenmiştir.

Bir diğer renk parametresi olan ve değer (+) olduğunda; sarı, (-) olduğunda maviliği ifade eden b^* değerleri 29.39 (YK) ile 34.24 (SN) arasında değişim göstermiş ve nanoemülsiyon ilavesine bağlı olarak, örneklerin b^* değerleri arasında önemli farklılıklar meydana gelmiştir ($p<0.05$). Kontrol (KT) ve yağsız kontrol (YK) grubu bisküvilerin en düşük b^* değerlerine sahip olduğu belirlenmiş ve nanoemülsiyon ilavesi ile sarılık değerinin arttığı saptanmıştır. Ancak KT ve YK örneklerinin b^* değerlerinin diğer örneklerin b^* değerlerinden düşük olduğu belirlenmiş olmasına rağmen, bu örneklerin b^* değerlerinin (SN grubu hariç), nanoemülsiyon içeren örneklerin b^* değerleri ile benzer olduğu tespit edilmiştir. Sarılık ve maviliği ifade eden b^* değerleri açısından, SN grubu örnekler ile kontrol ve yağsız kontrol grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık belirlenmiştir.

L^* ve b^* değerleri açısından örnekler arasında meydana gelen farklılık, muhtemelen nanoemülsiyon üretiminde kullanılan yağların doğal renklerinden kaynaklanmıştır.

Yalçın ve Maden (2017), bisküvilerde yağ ikame edici olarak sarı haşhaş tohumu kullanmış ve yağ ikamesi arttıkça bisküvilerin L^* değerlerinin 71.12'den 67.49'a düştüğünü, a^* değerlerinin 12.42'den 13.73'e yükseldiğini ve b^* değerlerinin 30.60'dan 32.12'ye yükseldiğini tespit etmiştir.

Lotus kökü (*Nelumbo nucifera*) çiçeğinin yağ ikamesi olarak kullanıldığı başka bir çalışmada ikame oranı arttıkça bisküvilerin yüzey rengi açıklık (L^*) ve sarılık (b^*) değerleri azalmış ve kırmızılık (a^*) değerleri artmıştır (Saeed ve ark., 2020b).

Serinyel (2013), bisküvilerde yağ ikame maddesi olarak enzime dirençli nişasta kullandığı çalışmasında, kontrol bisküvilerinde yağ oranı azaltıldığında L^* değerinin yükseldiğini, a^* ve b^* değerlerinin düştüğünü belirtmiştir. Başka bir araştırmada; Lourencetti ve ark. (2013), bisküvilerde yağı inülin ile % 25, % 50 ve % 75 oranlarında ikame etmişlerdir. Yapılan renk analizlerinde en düşük L^* değeri kontrol numunesinde belirlenmiş, en yüksek L^* değeri ise % 75 oranında inülin içeren bisküvide tespit edilmiştir. Yine en yüksek a^* değeri kontrol bisküvilerinde, en düşük a^* değeri ise % 25 yağ ikamesi yapılan bisküvilerde saptanmıştır. b^* değerlerinde ise en yüksek değer yağı % 50 oranında azaltılan örnekte, en düşük değer ise % 25 yağ ikamesi yapılan bisküvi örneklerinde tespit edilmiştir.

Literatürdeki verilerden de anlaşılabacağı üzere, bisküvilerin parlaklık, kırmızılık ve sarılık değerleri ikame edici maddelerin karakteristik özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir.

4.3.3. Bisküvilerin çap, kalınlık ve yayılma oranı değerleri

Bisküvilere ait çap, kalınlık ve yayılma oranı değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Bisküvilerin çap, kalınlık ve yayılma oranı değerleri

Fiziksel özellikler			
Bisküviler	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Yayılma Oranı
KT	46.33±0.95 ^c	7.52±0.04 ^a	5.18±0.10 ^e
YK	48.53±0.29 ^b	7.43±0.00 ^b	5.49±0.03 ^d
CN	56.07±0.17 ^a	6.08±0.00 ^d	7.75±0.02 ^{ab}
HN	56.13±0.19 ^a	6.68±0.00 ^c	7.06±0.02 ^c
SN	55.76±0.07 ^a	6.08±0.00 ^d	7.71±0.01 ^b
UN	56.00±0.11 ^a	6.00±0.00 ^e	7.84±0.02 ^a

*KT: Kontrol, YK: Yağsız kontrol, CN: ÇY içeren bisküviler, HN: HCY içeren bisküviler SN: SY içeren bisküviler, UN: UÇY içeren bisküviler. *Değerler ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. ^{a-e} Aynı sütunda farklı harfler, örnekler arasındaki farkı ($p<0.05$) gösterir.

Nanoemülsiyon içeren bisküvilerde çap değerleri 55.76 ile 57.20 mm arasında değişmiştir. Kontrol (KT) ve yağı % 50 azaltılmış ve nanoemülsiyon içermeyen bisküvilerde (YK) bu değer sırasıyla 46.33 ve 48.53 mm olarak tespit edilmiştir. Yağ miktarının en fazla olduğu kontrol grubu bisküvilerinde çap değeri en düşük iken; nanoemülsiyon ilavesiyle çap değerlerinin önemli oranda arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$). En yüksek çap değeri CN bisküvilerinde elde edilirken, bu örneği sırasıyla HN, SN ve UN bisküvileri takip etmiş ve bu örneklerin çap değerleri arasında önemli farklılık oluşmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Kontrol örneğine göre yapılan karşılaştırmaya göre; bisküvilerin çap değerleri üzerinde nanoemülsiyon ilavesinin önemli ($p<0.05$) etkisinin olduğu bulunmuştur.

Bisküvilerde kalınlık değerleri 6.00 ile 7.52 mm arasında değişmiştir. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre nanoemülsiyon ilavesinin bisküvilerde kalınlık değerleri üzerine etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.5) ($p<0.05$). Bisküviler için en düşük kalınlık değerleri UN, en yüksek kalınlık değerleri ise KT grubu bisküvilerde tespit edilmiştir. Formülasyonda nanoemülsiyon ilavesi bisküvilerin kalınlık değerini düşürücü etki göstermiştir.

Çap ve kalınlığın birbirine oranını ifade yayılma oranı, bisküvilerde önemli bir kalite kriteridir. Çizelge 4.5’den de görülebileceği gibi yayılma oranı değerleri 5.18 ile 7.84 arasında değişmiştir. Nanoemülsiyon ilaveli bisküvilerin çaplarının artması ve kalınlıklarının azalmasının doğal bir sonucu olarak, yayılma oranları kontrol örneğine göre önemli derecede yüksek bulunmuş ve yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre; yayılma oranı üzerine nanoemülsiyon ilavesinin etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Nanoemülsiyon ilave edilerek üretilen bisküvilerin yayılma oranının, kontrol bisküvilerinin yayılma oranına göre yaklaşık % 36 ile 51 arasında arttığı belirlenmiştir.

Şekil 4.9 ve 4.10 bu çalışmada üretilen bisküvi örneklerinin çap, kalınlık ve yayılma oranı değerlerini hesaplarken çekilen fotoğraflar sunulmuştur. Bu fotoğraflardan da görülebileceği gibi, kontrol grubu ve yağı azaltılan kontrol grubu örneklerde nanoemülsiyon içeren örneklere kıyasla, çap değeri düşük, kalınlık değeri ise yüksektir.



Şekil 4.9. Elde edilen bisküvi örneklerinde çap değerinin belirlenmesi sırasında çekilen fotoğraf.



Şekil 4.10. Elde edilen bisküvi örneklerinde kalınlık değerinin belirlenmesi sırasında çekilen fotoğraf.

Erinc ve ark. (2018), farklı büyüklüklerdeki buğday kepeği liflerinin bisküvide yağ ikamesi olarak kullandığı çalışmasında, kontrol grubu bisküvilerinin yayılma oranını 6.1 olarak tespit etmişken; % 75 oranında yağı azaltılan bisküvilerde bu oranın 4.3'e düştüğünü belirtmiştir. Aynı çalışmada, formülasyonda buğday kepeği lif miktarının artması ve/veya lif boyutunun küçültülmesi ile daha düşük yayılma oranına sahip daha sert bisküvilerin elde edildiği tespit edilmiştir.

Yağ ikamesi olarak muz püresinin kullanıldığı yağı azaltılmış bisküvilerde; muz püresi ile optimize edilmiş bisküvilerin, kontrol bisküvilerine kıyasla daha düşük çap ve yayılma oranı değerlerine sahip olduğu bildirilmiştir (Mokhtar, 2012).

Bisküvilerde yağ ikame edici olarak kayısı çekirdeği ununun kullanıldığı bir çalışmada, yağ ikamesi ile bisküvilerin yayılma oranlarında önemli düşüşler olduğu belirtilmiştir. Kontrol grubu bisküvilerinde yayılma oranı 7.10 olarak belirlenmiş iken, % 40 oranında yağ ikamesi ile bu oranın 5.98'e düştüğü tespit edilmiştir. Çalışmada kontrol bisküvilerinin çap değeri 7.60 cm'den 7.23 cm'e düşmüş kalınlık değeri ise 1.02'den 1.21 cm'e yükselmiştir. Sonuç olarak, kayısı çekirdeği unu ilavesinin bisküvilerde yayılma oranını düşürdüğü ve bisküvi sertliğini arttırdığı tespit edilmiştir (Şeker ve ark., 2010). Başka bir çalışmada, lotus kökü ununun bisküvilerde yağ ikame edici olarak kullanım olanağı araştırılmış ve çalışma sonucunda kontrol grubu bisküvilerinin çap değeri 4.45 cm, kalınlığı 0.89 cm ve yayılma oranı 5.05 olarak tespit edilmiştir. % 25 oranında yağ ikamesi ile bisküvilerin çap değeri 4.31 cm, kalınlıkları 1.03 cm ve yayılma oranı 4.17 olarak belirlenmiştir (Saeed ve ark., 2020b).

Bisküvi formülasyonundaki yağın, inülin ve sızma zeytinyağı bazlı emülsiyon dolgulu jel ile % 20, 40 ve 50 oranında ikame edilmesini konu alan başka bir çalışmada, yağ ikame miktarının artırılması ile bisküvilerin çapının azaldığı ve yüksekliğinin arttığı belirlenmiştir. Sonuç olarak üretilen bisküvilerde yayılma oranının kontrol bisküvilerine göre düşük olduğu belirtilmiştir (Paciulli, 2020). Conforti ve ark. (1997), bisküvilerde yağ azaltmanın daha yoğun bir bisküvi dokusuna sebep olduğunu ve yağ azaltma ile bisküvilerin genişliğinin, yayılma oranının önemli ölçüde azaldığını bildirmişlerdir.

Günümüze kadar yapılan ve bisküvilerde yağ azaltılmasının, bisküvinin kalitesi üzerine etkilerini konu alan çalışmaların önemli bir kısmında, yağın azaltılması ile önemli bir kalite kriteri olan bisküvi yayılma oranı değerlerinin azaldığı ortaya

konulmuştur. Arzu edilir kalitede bir bisküvi; çap değeri büyük, kalınlık değeri düşük ve yayılma oranı yüksek olarak tanımlanmakta (Guttieri ve ark., 2008) ve bisküvilerde yağ oranının artması ile daha yüksek yayılma oranı elde edildiği belirtilmektedir. Bu durum, pişirme sırasında eriyen yağ nedeni ile yağ moleküllerinin artan hareketliliği ve bunun sonucu olarak daha kolay ve yüksek yayılma hızı ve ile ilişkilendirilmektedir.

Bu tez çalışmasında elde ettiğimiz bulgular, yağ oranı azaltılmış bisküvilerde yayılma oranının azaldığını bildiren diğer araştırmacıların sonuçlarından farklı çıkmıştır. Yağı % 50 oranında azaltılan ve yağ yerine 2 g nano boyutlu yağ içeren nanoemülsiyon içeren örnekler, KT ve YK örneklerine kıyasla daha yüksek çap ve yayılma oranı değerleri ile daha düşük kalınlık değerlerine sahip olmuşlardır. Miktarı düşük olsa da nano boyutlu yağın, genişletilmiş yüzey alanı nedeniyle unun yüzeyini tamamen kaplaması sonucu, yayılma oranı olumlu yönde etkilenmiştir. Günümüze kadar yapılan birçok çalışmadan farklı olarak, formülde yağın azaltılarak yerine azaltılan yağ kadar nanoemülsiyon ilave edilmesinin, çap, kalınlık ve yayılma oranı değerlerini olumlu yönde etkilediği ortaya konulmuştur.

4.3.4. Sertlik ve kırılma

Bisküvi örneklerinin depolama boyunca sertlik ve kırılma değeri belirlenmesi amacıyla depolamanın 0., 45. ve 90. günlerinde bisküvilerde tekstür analiz cihazı ile kırılma testi yapılmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.6’da sunulmuştur.

Çizelge 4.6. Bisküvilerin 0, 45 ve 90. depolama günlerindeki sertlik değerleri

Bisküviler	Bisküvilerin sertlik değerleri (N)		
	0. Gün	45. Gün	90. Gün
KT	45.81±0.98 ^{aB}	47.01±2.76 ^{bB}	57.19±0.28 ^{aA}
YK	39.69±0.21 ^{abC}	59.22±0.26 ^{aB}	62.56±1.77 ^{aA}
CN	33.30±0.25 ^{bcB}	41.26±0.81 ^{bcA}	35.91±2.03 ^{cAB}
HN	27.37±2.49 ^{cB}	36.10±1.80 ^{cAB}	37.78±4.00 ^{bcA}
SN	30.30±2.17 ^{cB}	46.55±1.24 ^{bA}	45.44±1.43 ^{bA}
UN	37.39±0.26 ^{bB}	29.20±2.21 ^{dC}	43.62±0.44 ^{bcA}

* ^{a, b, c, d, e}, Aynı sütunda küçük harf, aynı depolama gününde örnekler arasındaki farkı ($p < 0.05$) gösterir. ^{A, B, C} Aynı satırda büyük harf, farklı depolama günlerinde, aynı örnek arasındaki farkı ifade etmektedir ($p < 0.05$). KT: Kontrol, YK: Yağsız kontrol, CN: ÇY içeren bisküviler, HN: HCY içeren bisküviler SN: SY içeren bisküviler, UN: UÇY içeren bisküviler

Bisküvilerin sertlik değerlerinin, bisküvi üretiminin ilk gününde 30.30 ile 45.81 N olduğu tespit edilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre yağ miktarının azaltılması ve farklı yağların nanoemülsiyonlarının kullanılmasının bisküvilerin sertlik değeri üzerine etkisinin önemli olduğu ($p<0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.6). 0. Gün sertlik testi analizlerinde kontrol (KT) ve nanoemülsiyon içermeyen yağı azaltılmış (YK) bisküvilerin en sert bisküviler olduğu tespit edilmiştir. Nanoemülsiyon içeren bisküvilerin sertlik değeri ise kendi aralarında benzerlik göstererek kontrol grubu bisküvilerinden daha düşük çıkmıştır. Sertlik değeri en düşük bisküvi ise 30.30 N değerine sahip olan ve susam yağı nanoemülsiyonu kullanılarak hazırlanana bisküviler olmuştur.

Depolamanın 45. günü kontrol grubu örneğin sertlik değeri, 47.01 N olarak belirlenirken, bu değer YK, CN, HN, SN ve UN örnekleri için sırasıyla 59.22, 41.26, 36.10, 46.55 ve 29.20 N olarak belirlenmiştir. Depolamanın 45. gününde yapılan analiz sonucu bisküvilerin sertlik değerlerinde beklenildiği gibi artış meydana gelmiştir. Nanoemülsiyon içeren örneklerin sertlik değeri 45. gün depolama sonucunda kontrol grubundan düşük çıkmıştır.

Depolamanın son günü olan 90. gün sonunda yapılan analizlerde sertlik değeri 35.91 (CN) ile 62.56 (YK) N arasında değişmiştir. 0.gün ile kıyas edildiğinde 90 gün sonunda bütün bisküvi örneklerinin sertlik değerinde artış görülmüştür. Yağ miktarı % 50 oranında azaltılmış kontrol (YK) ve kontrol (KT) bisküvileri ilk günden itibaren en sert bisküviler olurken, nanoemülsiyon içeren bisküvilerin sertlik değerleri daha düşük çıkmıştır. İlk gün ve son gün verileri değerlendirildiğinde en yüksek sertlik değeri artışı % 57.6 artış ile YK bisküvilerinde tespit edilirken en az sertlik değeri artışı % 7.8 artış ile çörekotu yağı nanoemülsiyonu ile hazırlanan bisküvilerde tespit edilmiştir.

Bisküvide yağ yerine % 10, 20, 30, 40 oranında yağı alınmış domates tohumu ununun kullanıldığı bir çalışmada ikame oranı arttıkça bisküvilerin sertlik değeri artmıştır. Yashini ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada kontrol bisküvilerinin sertlik değerinin 38.37 N; yağı % 10, 20, 30, 40 oranının ikame edilen bisküvilerin sertlik değerinin ise sırasıyla 48.30, 58.75, 61.67 ve 73.25 N olduğunu bildirmiştir.

Paciulli ve ark. (2020), inülin ve sızma zeytinyağı bazlı bir emülsiyon dolgulu jel (EFG) kullanarak, bisküvide % 20, 40 ve 50 oranında yağ ikamesi yaptıkları çalışmada ikame oranının artması ile bisküvi sertlik değerlerinin arttığını bildirmiştir.

Çalışmada kontrol bisküvilerinin sertlik değeri 12.30 N, yağı % 20, 30 ve 50 oranında ikame edilen bisküvilerin sertlik değeri sırasıyla 13.92, 14.82 ve 15.63 N olarak tespit edilmiştir.

Bisküvide yağ yerine inülinin kullanılması ile hamur ve bisküvi özelliklerinin nasıl değişeceğinin araştırıldığı bir çalışmada; depolamanın ilk gününde kontrol bisküvilerinin sertlik değeri 33.98 N, yağı % 20, 30, 40 ve 50 oranında ikame edilen bisküvilerin sertlik değeri ise sırasıyla 36.60, 42.45, 40.40 ve 46.61 N olarak tespit edilmiştir. Çalışmada % 50 oranında yağı azaltılmış bisküvilerin sertlik değerinin birinci ayın sonunda 50.54 N'a, ikinci ayın sonunda 55.44 N'a yükseldiği belirtilmiştir (Krystyjan ve ark., 2015)

Bisküvi üretiminde yağ ikamesi olarak *Agave angustifolia* fruktanlarının kullanım olanağının araştırıldığı bir çalışmada; kontrol bisküvilerinin sertlik değeri 73.95 N/cm², % 30 oranında yağı azaltılmış bisküvilerin sertlik değeri 206.93 N/cm² olarak tespit edilmiştir (Santiago-García ve ark., 2017).

Bisküvilerde yağ ikame maddesi olarak keçiyoynuzu unu ve kestane unu kullanılan bir başka çalışmada kontrol bisküvilerinin sertlik değeri 61.59 N olarak tespit edilmişken, yağı keçiyoynuzu unu ile % 50 oranında azaltılmış bisküvilerde sertlik değeri 69.70 N'a, kestane unu ile azaltılmış bisküvilerde 69.03 N'a yükselmiştir (Çiftçi, 2018).

Çalışmamızda literatür verilerinin aksine, nanoemülsiyonlar ile hazırlanan bisküvilerin sertlik değeri kontrol bisküvilerinin sertlik değerine göre düşük çıkmıştır. Bu durum, nano boyutlu yağın hamur yüzeyini tamamen kaplaması sonucu glütenin gelişmesinin engellenmesi ile ilişkilendirilmiştir. Bisküvide önemli kalite kriterlerinden biri olan sertlik değerinin yağ azaltma ile artması, yağ ikame maddesi seçiminde rastlanan ve yağ azaltma işlemini güçleştiren en büyük problemlerden birisidir. Bu çalışmadan elde edilen veriler; bisküvilerde yağ azaltılmasıyla oluşan sertlik problemini çözülebilmesi açısından nanoemülsiyonların bisküvi üretiminde yağ ikame maddesi olarak kullanımının faydalı olacağını göstermiştir.

Bisküvi örneklerine ait kırılmalık değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Bisküvilerin 0, 45 ve 90. depolama günlerindeki kırılabilirlik değerleri

Bisküviler	Bisküvilerin kırılabilirlik değerleri (mm)		
	0. Gün	45. Gün	90. Gün
KT	2.95±0.04 ^{aA}	3.10±0.16 ^{aA}	3.29±0.41 ^{aA}
YK	2.89±0.06 ^{aB}	3.71±0.27 ^{aA}	3.32±0.17 ^{aAB}
CN	2.76±0.11 ^{aA}	3.26±0.28 ^{aA}	3.07±0.18 ^{aA}
HN	2.81±0.03 ^{aA}	3.24±0.32 ^{aA}	3.02±0.02 ^{aA}
SN	2.86±0.05 ^{aC}	3.37±0.06 ^{aA}	3.10±0.06 ^{aB}
UN	2.74±0.08 ^{aA}	2.97±0.34 ^A	2.97±0.19 ^{aA}

*^{a, b, c, d, e}, Aynı sütunda küçük harf, aynı depolama gününde örnekler arasındaki farkı ($p < 0.05$) gösterir. ^{A, B, C} Aynı satırda büyük harf, farklı depolama günlerinde, aynı örnek arasındaki farkı ifade etmektedir ($p < 0.05$). KT: Kontrol, YK: Yağsız kontrol, CN: ÇY içeren bisküviler, HN: HCY içeren bisküviler SN: SY içeren bisküviler, UN: UÇY içeren bisküviler

Bisküvi örneklerinde ortalama kırılabilirlik değerleri 0. günde 2.74-2.95 mm aralığında değişmiştir. Depolamanın 45. gününde ölçülen değerler artış göstermiş ve kırılabilirlik değerlerinin 2.97-3.71 mm aralığında değiştiği belirlenmiştir. Depolamanın 90. günde kontrol (KT) bisküvileri haricindeki tüm örneklerde kırılabilirlik değeri düşüş göstermiş ve bu değer, 2.97 ile 3.32 mm aralığında ölçülmüştür. Depolamanın başlangıç ve son günü değerlendirildiğinde bisküvilerin kırılabilirlik değeri tüm örneklerde artış göstermiştir. Üretimin yapıldığı gün yapılan kırılabilirlik testlerinde yağı azaltılmış ve nanoemülsiyon içeren bisküvilerin kırılabilirlik değeri kontrol (KT) bisküvilerinden farklı ($p < 0.05$) ve düşük çıkarken; 90 gün sonunda tüm bisküvilerin kırılabilirlik değeri birbirine benzer çıkmıştır.

β -glukan, polidekstroz, dirençli nişasta, kazein ve glutenin bisküvilerde yağ ikame maddesi olarak % 4, 6 ve 8 oranında kullanıldığı çalışmada, en düşük kırılabilirlik değerleri dirençli nişasta ile üretilen örneklerde (38.43 mm), en yüksek kırılabilirlik değeri ise gluten içeren örneklerde (39.45 mm) tespit edilmiştir. Çalışmada ikame oranı arttıkça kırılabilirlik değerinin azaldığı belirtilmiştir (Uyar, 2021).

Nanoemülsiyonlar ile hazırlanan bisküvilerde sertlik ve kırılabilirlik değerinin kontrol grubu bisküvilerine göre düşük çıkmasının sebebi nanoemülsiyonlarla hazırlanan bisküvilerde tespit edilen düşük kalınlık değerlerine ve nanoemülsiyonların hamuru yumuşatıcı ve kremsi yapısına atfedilmiştir.

4.4. Bisküvi Yağı Analizleri

4.4.1. Serbest yağ asitliği (SYA)

Kontrol grubu bisküvileri ile formülasyonunda nanoemülsiyon kullanılan bisküvilerin 90 günlük depolama süresi boyunca 45 günde bir belirlenen % SYA (oleik asit cinsinden) değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Bisküvilerin 0, 45 ve 90. depolama günlerindeki % SYA değerleri

Bisküviler	% Serbest yağ asitliği (Oleik asit cinsinden)		
	0. Gün	45. Gün	90. Gün
KT	0.28±0.01 ^{bA}	0.29±0.01 ^{aA}	0.29±0.03 ^{bcdA}
YK	0.31±0.00 ^{abB}	0.29±0.02 ^{abB}	0.44±0.02 ^{aA}
CN	0.44±0.02 ^{aA}	0.32±0.02 ^{aB}	0.34±0.01 ^{bcB}
HN	0.33±0.00 ^{abA}	0.24±0.01 ^{bB}	0.23±0.03 ^{cB}
SN	0.38±0.07 ^{abA}	0.27±0.00 ^{cA}	0.36±0.00 ^{abA}
UN	0.37±0.04 ^{abA}	0.29±0.02 ^{abA}	0.27±0.01 ^{cdA}

* ^{a, b, c, d, e}, Aynı sütunda küçük harf, aynı depolama gününde örnekler arasındaki farkı ($p < 0.05$) gösterir. ^{A, B, C} Aynı satırda büyük harf, farklı depolama günlerinde, aynı örnek arasındaki farkı ifade etmektedir ($p < 0.05$). KT: Kontrol, YK: Yağsız kontrol, CN: ÇY içeren bisküviler, HN: HCY içeren bisküviler SN: SY içeren bisküviler, UN: UÇY içeren bisküviler

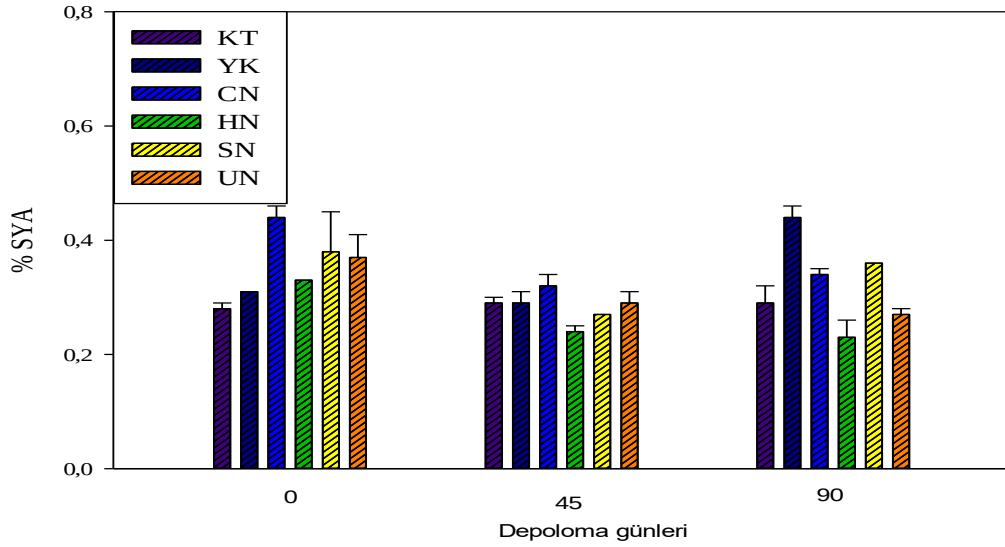
Bisküvilerin üretildiği gün bisküvilerden ekstrakte edilen yağların % SYA değerleri % 0.28-0.44 arasında değişim göstermiştir. Depolamanın başlangıç gününde kontrol ve yağ % 50 azaltılmış kontrol grubu bisküvilerinin % SYA değerleri, nanoemülsiyon içeren bisküvilere göre daha düşük çıkmıştır. En yüksek % SYA değeri, çörek otu yağı içeren nanoemülsiyonlar içeren CN örneklerinde belirlenmiştir. Yağı azaltılan ve nanoemülsiyon içeren örneklerin, 0. gün % SYA değerinin kontrol kıyasla yüksek olması, iki şekilde açıklanabilir:

- Piyasada pastacılık yağı olarak satılan ve mevcut çalışmada yağ olarak kullanılan şorteninglere, kızartma ve pişirme gibi işlemlerde yağların oksidatif bozulmalarının sınırlandırılması amacıyla, Bütülllenmiş Hidroksi Tolüen (BHT) ve Bütülllenmiş Hidroksi Anisidin (BHA) gibi sentetik fenolik antioksidanlar ilave edilmektedir. Kontrol grubu bisküvilerde yağın fazla olması ve dolayısıyla

BHT ve BHA' dan kaynaklanan antioksidan etki nedeniyle kontrol grubu bisküvilerde % SYA' nın düşük çıkması beklenen bir durumdur.

- Nanoemülsiyon içeren bisküvilerde daha az sentetik antioksidan bulunmasına ilaveten, bu bisküvilerde bulunan yağlarda daha yüksek oranda doymamış yağ asidi bulunmaktadır (Nitekim, yağ asidi profili bölümünde de görüleceği üzere bu sonuç doğrulanmıştır). Doymamış yağ asitlerinin oksidasyona daha duyarlı oldukları bilinmektedir. Muhtemelen, bu nedenle nanoemülsiyon içeren örneklerde kontrole kıyasla daha yüksek % SYA değeri saptanmıştır.

Depolamanın 45. gününde, nanoemülsiyon içeren bisküvilerin % SYA asitliğinde 0. güne göre önemli düşüş belirlenirken ($p<0.05$), kontrol (KT) ve yağı azaltılmış kontrol (YK) bisküvilerinde değişim meydana gelmemiştir. Yine 90. günün sonunda YK kodlu bisküvilerin % serbest yağ asitliği 0. depolama gününe göre 1.5 kat artış göstermiştir. YK bisküvi grubundaki bu artışın sebebi, çeşitli antioksidan maddeler içeren şorteningin, yağı azaltılmış kontrol bisküvilerine kıyasla bu bisküvilerde az olmasına, dolayısı ile bisküvi içerisindeki antioksidan madde miktarının da düşük olmasına atfedilmiştir. İçeriğinde yüksek miktarda antioksidan madde içeren soğuk sıkım yağlardan elde edilen nanoemülsiyonlar ile üretilen bisküvilerde ise serbest yağ asitliği 90. depolama sonunda YK grubuna göre düşük çıkmıştır. Nanoemülsiyon içeren örneklerin % SYA değerleri 0. depolama gününe göre 45. ve 90. günde düşüş göstermiş ve 0. depolama gününde, kontrol grubu ile aralarında yüksek olan fark, 45. ve 90. günde azalmıştır. Depolama boyunca kontrol grubu bisküviler ile nanoemülsiyon içeren örneklerin % SYA değerlerinde meydana gelen değişim, Şekil 4.11'den daha kolay izlenebilir.



Şekil 4.11. Depolama boyunca bisküvilerden ekstrakte edilen yağların % SYA değerlerinde meydana gelen değişim.

Depolamanın 0. gününde nanoemülsiyon içeren örneklerin SYA değerleri kontrol grubundan yüksek iken, depolamanın 45. gününde nanoemülsiyon içeren örneklerden CN grubu dışındaki bisküvilerin, % SYA değerleri kontrol grubundan düşük bulunmuştur. Depolamanın 90. gününe gelindiğinde ise doymamış yağ oranı diğerlerine göre daha düşük olan HN grubu örnekler (Bkz. Çizelge 4.11) ile UN örneklerinin % SYA değerleri kontrol grubundan düşük bulunmuştur. Bu durum, nanoemülsiyon içinde bulunan antioksidan maddelerin yavaş ve kontrollü salınımla ilişkilendirilmiştir.

Bisküvilerde doğal antioksidan kaynağı olarak üzüm posası ekstraktının kullanıldığı bir çalışmada, üzüm posası ekstraktının kontrol ve BHA ile hazırlanan örneklerle göre serbest yağ asidi değerini düşürmede daha etkili olduğu bildirilmiştir (Zaky ve ark., 2020). Aksoylu ve ark. (2015), % 5 oranında yaban mersini, yağsız üzüm çekirdeği unu ve yağsız haşhaş tohumlarını kullanarak ürettikleri bisküvilerin depolanması sonucunda, en düşük serbest yağ asidi miktarına sahip olan örneklerin, üzüm çekirdeği tozu ile hazırlanan bisküviler olduğunu belirtmişlerdir. Kontrol bisküvilerinin serbest yağ asitliği 5 ay sonunda % 0.36'dan % 0.49'a yükselmişken

üzüm çekirdeği unu ile hazırlanan bisküvilerde bu değer % 0.33 ile başlayıp depolamanın 3. ayında % 0.45'e yükselmiş ve 5. ay sonunda % 0.38'e düşmüştür.

Fonksiyonel bisküvilerin üretimi amaçlanan bir araştırmada şortening yerine % 40 oranında kırmızı palmiye yağı kullanılmıştır. Başlangıç gününde kontrol ve yağı ikame edilmiş bisküvilerin serbest yağ asitliği sırasıyla % 0.07 ve 0.08 çıkmıştır. 6 ay sonunda bu değer kontrol grubunda % 0.67, kırmızı palmiye yağı içeren bisküvilerde % 0.71 olarak belirlenmiştir. Depolama süresi boyunca palmiye yağının serbest yağ asitliği üzerinde önemli bir etkisi belirlenmemiştir (El-Hadad ve ark., 2009).

4.4.2. Peroksit değeri

Peroksit değeri, yağlarda bulunan aktif oksijen miktarının ölçüsü olup, 1 kg yağda bulunan peroksit oksijeninin miliekivalan gram olarak miktarını verir (Hamilton ve ark., 1998). Bisküvi örneklerinin depolama boyunca oksidasyon derecesinin belirlenmesi amacıyla depolamanın 0, 45 ve 90. günlerinde bisküvilerden ekstrakte edilen yağların peroksit değerinde saptanan değişiklikler Çizelge 4.9'da sunulmuştur. Şekil 4.12'de bisküvilerden ekstrakte edilen yağlarda depolama boyunca meydana gelen değişimler daha açık bir şekilde görülebilmektedir.

Çizelge 4.9. Bisküvilerin 0, 45 ve 90. depolama günlerindeki peroksit değerleri

Bisküviler	Bisküvilerin peroksit değerleri (meq O ₂ /kg)		
	0. Gün	45. Gün	90. Gün
KT	2.76±0.12 ^{bB}	3.99±0.12 ^{aA}	2.87±0.02 ^{cB}
YK	3.09±0.01 ^{aB}	3.58±0.04 ^{bA}	2.66±0.02 ^{dC}
CN	1.72±0.01 ^{dC}	2.70±0.11 ^{dA}	2.44±0.03 ^{eB}
HN	2.32±0.02 ^{cC}	3.07±0.05 ^{cB}	3.40±0.05 ^{abA}
SN	2.62±0.01 ^{bC}	3.03±0.01 ^{cdB}	3.51±0.09 ^{aA}
UN	2.32±0.09 ^{cB}	2.18±0.13 ^{eB}	3.23±0.03 ^{bA}

* ^{a, b, c, d, e}, Aynı sütunda küçük harf, aynı depolama gününde örnekler arasındaki farkı ($p < 0.05$) gösterir. ^{A, B, C} Aynı satırda büyük harf, farklı depolama günlerinde, aynı örnek arasındaki farkı ifade etmektedir ($p < 0.05$). KT: Kontrol, YK: Yağsız kontrol, CN: ÇY içeren bisküviler, HN: HCY içeren bisküviler SN: SY içeren bisküviler, UN: UÇY içeren bisküviler

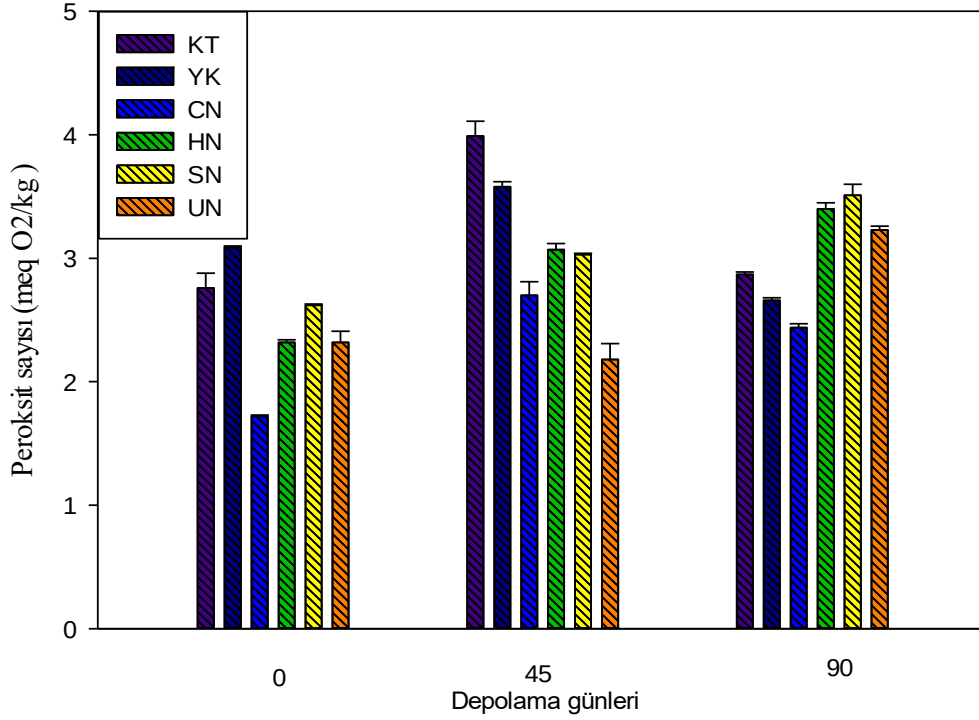
Depolamanın başlangıcında, peroksit değerleri 1.72 (CN)-3.09 (YK) meq O₂/kg aralığında değişim göstermiştir. Depolamanın ilerlemesiyle, yani 45. ve 90. depolama

günlerinde peroksit değerlerinin sırasıyla; 2.18 (UN)-3.99 (KT) ve 2.87 (KT)-3.23 (UN) meq O₂/kg aralığında olduğu tespit edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda, bisküvilerin peroksit değerleri ile ilgili farklı değerler rapor edilmiştir. Örneğin; polidekstroz ve guar zamkı içeren az yağlı bisküvilerde 15 günde bir peroksit değeri tespiti yapılmış ve 90 günlük saklama sürecinde peroksit değerinin sırasıyla 1.44 ile 5.11 ve 1.24 ile 3.43 meq O₂/kg yağ arasında değiştiği ifade edilmiştir (Chugh ve ark., 2015). Yine Chugh ve ark. (2016), tarafından yapılan az yağlı bisküvi çalışmasında protein bazlı yağ ikamesi (Simplese) içeren düşük yağlı bisküviler geliştirilmiş ve 90 günlük depolama sonucunda peroksit değerinin kontrol grubunda 0.031 ile 0.220 meq O₂/kg yağ arasında; ikame edilmiş bisküvilerin peroksit değerinin ise 0.035 ile 0.130 meq O₂/kg yağ arasında değiştiği ortaya konulmuştur.

Bisküvilerde yağ ikame edici olarak *Vigna mungo* ununun kullanıldığı başka bir çalışmada, 8 haftalık depolama sürecinde yağı % 50 oranında ikame edilen bisküvilerin peroksit değerinin, 0.2 ile 2.1 meq O₂/kg yağ arasında değiştiği belirlenmiştir (Saeed ve ark, 2020c). Caponio ve ark. (2007)'nın piyasadan temin ettikleri 42 farklı bisküvi yağının peroksit değerlerini belirledikleri çalışmalarında, peroksit değerin en düşük 1.1 meq O₂/kg ve en yüksek 23.6 meq O₂/kg olduğunu rapor etmişlerdir. Çalışmada, aralığın bu kadar geniş olmasının sebebinin, bisküvilerde kullanılan farklı yağların özelliklerinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu anlamda çalışmamızdan elde edilen peroksit değerlerinin, literatürde bildirilen değerler ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, depolamanın başlangıcında bisküvilerin peroksit değeri değerleri arasında önemli ($p < 0.05$) fark olduğu belirlenmiş ve kontrol (KT) ve yağı azaltılmış kontrol (YK) bisküvi örneklerinin diğer örneklerden daha yüksek peroksit değerine sahip olduğunu ortaya konmuştur. Nanoemülsiyon içeren örneklerde ise peroksit değeri KT ve YK grubundan düşük çıkmıştır. Bu örnekler içinde ise çörek otu yağı ile hazırlanan nanoemülsiyonları içeren örneklerin (CN) peroksit değerleri diğer örneklerle göre düşük bulunmuştur. Sultan ve ark. (2012), tarafından yapılan bir çalışmada, bisküvi formülünde şortening % 1 (T1), 2 (T2), 3 (T3), 4 (T4), ve 5 (T5) oranında azaltılarak, şortening yerine çörek otu yağı ilave edilmiştir. Kontrol grubunda 0.288 meq O₂/kg olan peroksit değeri; T1, T2, T3, T4 ve T5 örnekleri için sırasıyla; 0.264, 0.249, 0.248, 0.214 ve 0.213 meq O₂/kg olarak belirlenmiştir. Çörek otu yağının oranı arttıkça peroksit değeri azalmıştır. Aynı çalışmada, bisküvilerde α -tokoferol

miktarı belirlenmiş ve çörek otu yağını en yüksek oranda içeren örneklerde α -tokoferol miktarının en yüksek (32.19 mg/kg yağ) olduğu bulunmuştur. Bisküvilerin peroksit değerlerinde meydana gelen azalma α -tokoferol miktarının yüksekliği ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 4.12. Depolama boyunca bisküvilerden ekstrakte edilen yağların peroksit değerlerinde meydana gelen değişim.

Depolamanın 45. gününde, peroksit değerleri ilk depolama gününe göre artış sergilemiş (UN örnekleri hariç) ve 2.18 (UN)-3.99 (KT) aralığında değişim göstermiştir. Peroksit değerinde meydana gelen bu artış, esas olarak hidroperoksit oluşumu nedeniyle birincil lipid oksidasyonunun varlığına işaret etmektedir (Feng ve ark., 2020). Nanoemülsiyon içeren örneklerin peroksit değerleri kontrol örneğinden önemli oranda düşük bulunmuştur ($p < 0.05$). Nanoemülsiyon ile hazırlanan bisküvilerin peroksit değerlerinin kontrole göre çok daha düşük olması, bisküvilerin pişirme işlemi sırasında otoksidasyona karşı korunduğunu göstermektedir. Kontrol gruplarına göre antioksidan aktivitesi yüksek yağların nano boyuta indirgenerek bisküvi yağı yerine kullanılması ile muhtemelen pişme esnasında oksidasyon engellenmiştir.

Depolamanın 90. gününde ise; peroksit değeri, 45. depolama gününe kıyasla KT, YK ve CN örneklerinde azalmış ve depolama günlerine göre yapılan kıyaslamada aradaki fark önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur. Peroksit değerinde 45. güne göre meydana gelen azalma, muhtemelen birincil oksidasyon ürünü olan peroksitlerden, ikincil oksidasyon ürünlerinin oluşmasından kaynaklanmıştır. Ertürk ve Meral (2020), farklı stabilizasyon koşullarının pirinç kepeğinin bazı özellikleri üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, pirinç kepeği yağından elde edilen yağların peroksit değerlerinin 30. depolama gününe kadar arttığını, 45. ve 90. depolama gününde ise, 45. güne kıyasla daha düşük peroksit değerinin elde edildiğini belirlemişlerdir. Bu araştırmacılar, bu dalgalanmayı ikincil oksidasyon ürünlerinin oluşmasıyla ilişkilendirmişlerdir. Şekil 4.12'den de görülebileceği gibi, CN örnekleri dışında kalan, nanoemülsiyon içeren bisküvilerden elde edilen yağların 90. gün peroksit değerleri kontrol grubu örneklerden (KT) daha yüksek bulunmuştur. Oluşan farklılık; nanoemülsiyon içeren örneklerde kontrol grubu bisküvilere kıyasla daha yüksek oranda bulunan doymamış yağ içeriği, antioksidan madde içeren şortening miktarının yağı azaltılmış bisküvilerde azalması nedeniyle, uzun süre depolanan örneklerde daha yüksek oksidasyon oranı ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca bu durum, nano-yağın genişletilmiş yüzey alanı nedeniyle daha yüksek oranda oksidasyona maruz kalması şeklinde de açıklanabilir. Ancak, bu görüşleri desteklemek için ileri çalışmalara ihtiyaç vardır. Feng ve ark. (2020), tokoferol içeren nanoemülsiyonların (partikül boyutları 400-450 nm aralığında değişen emülsiyonlar) ve kaba emülsiyonların (CE: partikül boyutları 4000-4500 nm aralığında değişen emülsiyonlar) balık sosislerinin lipid oksidasyonu üzerindeki etkilerini, 4°C'de 16 günlük depolama boyunca değerlendikleri çalışmalarında, balık sosislerinin peroksit değerlerinde meydana gelen değişimi incelemişlerdir. Bu araştırmacıların elde ettikleri bulgulara göre; depolamanın ilk gününde bütün örneklerin peroksit değerleri birbirine benzerdir ($p > 0.05$). Ancak depolamanın ilerlemesiyle; 4., 8. ve 12. depolama günlerinde tokoferol kaba nanoemülsiyonu içeren örneklerin peroksit değerleri; kanola yağı emülsiyonu ile hazırlanan kontrol grubu örneklerden daha düşük bulunmuştur. Aynı çalışmada, tokoferol emülsiyonu içeren, kaba emülsiyon (partikül boyutları 4000-4500 nm arasında değişmekte olan emülsiyonlar) içeren örnekler olarak adlandırılan grupların peroksit değerleri; depolamanın ilk günü dışında hem kontrol grubu örneklerden hem de

nanoemülsiyon içeren örneklerden daha yüksek bulunmuştur. Özellikle depolamanın 8., 12. ve 16. günlerinde kaba emülsiyon içeren örneklerin peroksit değerleri, nanoemülsiyon içeren örneklerden belirgin olarak yüksek çıkmıştır ($p<0.05$). Bu sonuçlar, antioksidan bir bileşen içermesine rağmen, emülsiyonların boyutunun da oksidasyon üzerine etkili olduğunu göstermektedir.

Mevcut çalışmada, tüm analiz günleri sonucuna bakıldığında çörekotu yağı nanoemülsiyonu (CN) ile hazırlanan bisküvilerin raf ömrü süresince yapılan peroksit analizlerinde tespit edilen en düşük peroksit değerine sahip olduğu belirlenmiştir. CN bisküvilerinde elde edilen bu sonucun çörekotunda bulunan yüksek γ -tokoferol içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Depolamanın başlangıcından 90. depolama güne kadar, nanoemülsiyonların bisküvi yağlarında meydana gelecek olan oksidasyonu sınırlayacağı, bu çalışma sonucunda ortaya konulmuştur. Depolamanın 90. gününde nanoemülsiyon içeren örneklerin (CN grubu hariç) peroksit değeri, kontrol grubu örneklerden yüksek olarak tespit edilmiş olsa da gıdalarda peroksit değeri için öngörülen 10 meq O_2 /kg (peroksit değeri; 10 meq O_2 /kg'ın altında olan yağlar, taze olarak tanımlanmaktadır) (Low ve NG, 2017) sınırına ulaşılmamıştır.

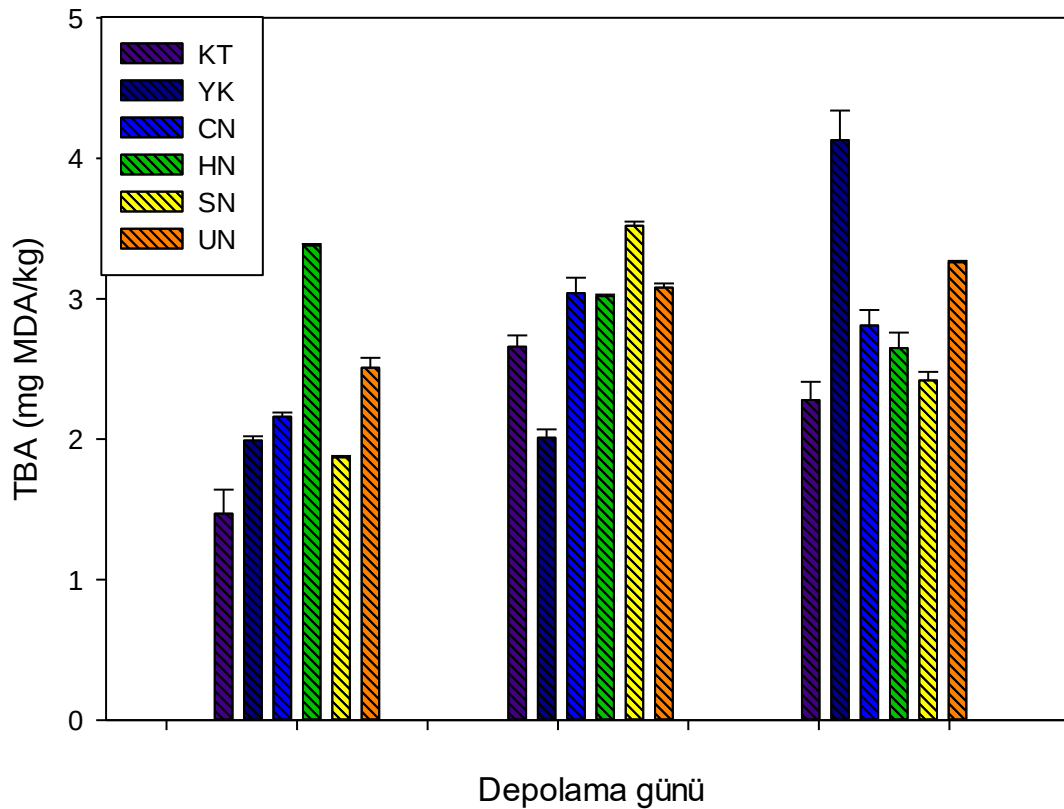
4.4.3. Tiyoarbitürük asit sayısı (TBA) tayini

Yüksek yağ içeriğine sahip olan bisküvilerde kalitenin artması için önemli faktörlerden biri lipid oksidasyonunu azaltmaktır. Lipid oksidasyonu unlu mamüllerde ürünün raf ömrünü ve kalitesini etkileyen önemli faktörlerden birisidir. Bisküvi örneklerinde lipid oksidasyonunun takip edilmesi için üretimi takip eden 0, 45 ve 90. günlerde TBA analizi yapılmıştır. TBA sonuçları bisküvide mg MDA/kg yağ cinsinden belirtilmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Bisküvilerin 0, 45 ve 90. depolama günlerindeki TBA değerleri

Bisküviler	Bisküvilerde TBA değeri (mg MDA/kg TBA)		
	0. Gün	45. Gün	90. Gün
KT	1.47±0.17 ^{eB}	2.66±0.08 ^{dA}	2.28±0.13 ^{eA}
YK	1.99±0.03 ^{dB}	2.01±0.06 ^{dB}	4.13±0.21 ^{aA}
CN	2.16±0.03 ^{cB}	3.04±0.11 ^{bA}	2.81±0.11 ^{cA}
HN	3.38±0.01 ^{aA}	3.02±0.01 ^{bB}	2.65±0.11 ^{cdC}
SN	1.87±0.01 ^{dC}	3.56±0.03 ^{aA}	2.42±0.06 ^{deB}
UN	2.51±0.07 ^{bC}	3.08±0.03 ^{bB}	3.26±0.01 ^{bA}

*^{a, b, c, d, e}, Aynı sütunda küçük harf, aynı depolama gününde örnekler arasındaki farkı ($p < 0.05$) gösterir. ^{A, B, C} Aynı satırda büyük harf, farklı depolama günlerinde, aynı örnek arasındaki farkı ifade etmektedir ($p < 0.05$). Değerler, ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. *KT: Kontrol, YK: Yağsız kontrol, CN: ÇY içeren bisküviler, HN: HCY içeren bisküviler SN: SY içeren bisküviler, UN: UÇY içeren bisküviler



Şekil 4.13. Depolama boyunca bisküvilerden ekstrakte edilen yağların TBA değerlerinde meydana gelen değişim.

Bisküvilerde tespit edilen TBA değerleri başlangıç gününde ortalama 1.47 ile 2.51 mg MDA/kg arasında, 45. günde 2.01 ile 3.56 mg MDA/kg arasında ve depolamanın sonuncu günü olan 90 gün sonunda 2.28 ile 4.13 mg MDA/kg arasında değişim göstermiştir. Başlangıç gününe göre 90 gün sonunda hindistan cevizi yağı nanoemülsiyonu ile hazırlanan bisküvilerin haricinde diğer bisküvilerin TBA değerlerinde artış görülmüştür. Kontrol grubu (KT) bisküvileri başlangıç ve son günde en düşük TBA değerlerine sahip olmuştur. İlk ve son gün değerleri arasındaki artış dikkate alındığında en düşük artış % 29.4 ile susam yağı nanoemülsiyonu ile hazırlanan bisküvilerde tespit edilirken bunu sırasıyla; % 29.8 ile UN, % 30 ile CN, % 55 ile KT ve % 107 artış ile YK formülasyonuna sahip bisküviler takip etmiştir.

Bisküvilerde lipid oksidasyonunu geciktirmek için patates kabuğu ekstraktı ve BHA kullanılan bir çalışmada; % 0.5, 1, 2 ve 3 oranında patates kabuğu ekstraktı içeren bisküvilerin 6 aylık depolama süresi içinde TBA değerleri sırasıyla 0.382-0.625; 0.378-0.597; 0.376-0.578 ve 0.376-0.550 mg MDA/kg aralığında değişmiştir. TBA değerinin BHA içeren bisküvilerde 0.383 ile 0.669, kontrol gurubu bisküvilerinde ise 0.385 ile 0.805 mg MDA/kg aralığında olduğu belirtilmiştir. Çalışmada patates kabuğu ekstraktının, lipid oksidasyonunu azaltmak için doğal antioksidan olarak güvenle kullanılabileceği tavsiye edilmiştir (Rowayshed ve ark., 2015).

Bisküvilerde doğal antioksidan kaynağı olarak üzüm posası ekstraktının kullanıldığı bir başka çalışmada; başlangıç gününde TBA değeri kontrol grubu bisküvilerinde 0.385, BHA ile güçlendirilmiş bisküvilerde 0.383 ve % 0,5, 1, 2, 3 oranlarında üzüm posası ekstraktı kullanılan bisküvilerde 0.381 ile 0.377 mg MDA/kg arasında değişmiştir. 6 ay depolama süresince TBA değeri kontrol bisküvilerinde 0.805, BHA ile güçlendirilmiş bisküvilerde 0.669 mg malonaldehit/kg seviyesine yükselirken üzüm posası ekstraktı kullanılan bisküvilerde formülasyonda ekstrakt oranının artmasıyla 0.563'ten 0.377 mg MDA/kg değerine düşmüştür. 6 aylık depolama sonucunda farklı seviyelerde üzüm posası ekstraktı ilavesinin bisküvilerde ekşime artışını geciktirdiği bildirilmiştir (Zaky ve ark., 2020).

Çalışmamızda elde edilen örneklerle ait TBA sonuçları literatürde bildirilen sonuçlardan yüksek çıkmıştır. TBA değerinin literatür verilerinin üzerinde çıkmasında araştırmada kullanılan yağın özellikleri ve/veya bisküvi yağlarının ekstraksiyonunda uygulanan işlemlerin etkisi olduğu düşünülmektedir.

4.4.4. Yağ asidi profili

Gıdanın besin değerinde yağ asidi miktarı ve yağ asidi profili oldukça önemlidir. Üretilen bisküvilerin yağ asidi profili (%) Çizelge 4.11’de verilmiştir. Çizelge 4.11’den de görüldüğü üzere palmitik (C16:0), stearik (C18:0), oleik (C18:1n9) ve linoleik asit (C18:2n6c) bisküvilerde hakim yağ asitleri olarak belirlenmiştir.

Bisküvilerde miristik asit (C14:0) oranı % 0.88 ile % 2.24 arasında değişmiştir. Diğer bir doymuş yağ asidi olan palmitik asit (C16:0), % 28.45 (SN bisküvileri) ile % 53.3 (KT bisküvileri) arasında değişerek tüm bisküvilerde en çok bulunan yağ asidi olmuştur. Çalışmamızda palmitik asit miktarı nanoemülsiyonlar ile hazırlanan yağ azaltılmış bisküvilerde kontrol bisküvilerine kıyasla önemli derecede azalmıştır. Palmitik (C16:0) asit miktarına en fazla KT bisküvilerinde rastlanırken SN bisküvilerinde bu oran KT bisküvi örneklerinde bulunan değerin hemen hemen yarısı kadar tespit edilmiştir.

Bisküvi örneklerinden elde edilen yağlarda yapılan analizlerde en düşük stearik asit (C18:0) oranı SN bisküvilerinde en yüksek stearik asit oranı ise kontrol bisküvilerinde tespit edilmiştir.

Doymamış yağ asitleri içerisinde en yüksek orana sahip olan yağ asidi oleik asit (C18:1n9) olarak belirlenmiş ve en yüksek değer, % 43.8 ile SN grubu bisküvilerinde belirlenmiştir. Yine linoleik asit (C18:2n6c) açısından en yüksek değer SN grubu bisküvilerinde tespit edilmiştir. Diğer bir doymamış yağ asidi olan palmitoleik asit (C16:1) ise tüm bisküvilerde % 1’in altında değerler almıştır.

HN bisküvilerinde yağ azaltılmış bisküvilere göre yaklaşık 10 kat daha fazla laurik asite rastlanmıştır. CN bisküvilerinde miristoleik asit (C16:1) miktarı diğer bisküvilere oranla daha yüksek değerlerde tespit edilmiştir.

Omurgalılar için gerekli olan esansiyel yağ asitlerinden biri olan linoleik asit (C18:2) miktarı, çoklu doymamış yağ asitleri arasında en yüksek olanıdır. Kontrol bisküvilerinde linoleik asit miktarı % 7.84 iken, nanoemülsiyon içeren bisküvilerde % 11.04 ile % 19.90 arasında değişmiştir.

Doymamış yağ asitleri açısından en kıymetli bisküvi susam yağı nanoemülsiyonu ile hazırlanan bisküviler olmuştur.

Kontrol bisküvilerinin doymuş ve doymamış yağ asitlerinin toplam oranları sırasıyla % 63.35 ve % 36.64 olarak belirlenmiştir. Nanoemülsiyon içeren bisküvilerde, doymamış yağ asitlerinin seviyesi belirgin bir şekilde yaklaşık % 16.26 ile 76.58 kadar artırılmış ve doymuş yağ asitlerinin seviyesi % 9.40 ile 44.29 kadar düşürülmüştür.

Gharaie ve ark. (2019), tarafından yapılan bir çalışmada; susam yağı ve kitre zamkı jelleri ile yağı % 50 oranında azaltılmış bisküvilerin doymuş yağ içeriği % 15 oranında azaltılarak, % 52.56'dan % 44.62'ye düşürülmüştür.

Başka bir çalışmada bisküvilerin yağ miktarı % 30 oranında keten tohumu yağı ile ikame edilmiş; kontrol bisküvilerinin % 51.39 oranında olan doymuş yağ miktarı, % 30 oranında yağı ikame edilen bisküvilerde % 40.32'ye düşürülmüştür (Rangrej ve ark., 2015)

Genel olarak bisküvi gibi unlu mamuller içerdikleri şorteningden kaynaklı olarak yüksek miktarda palmitik, oleik ve stearik asit gibi doymuş yağ asitlerini içerir. Doymuş yağ asitlerinin fazla miktarda tüketilmesi obezite, kardiyovasküler ve diğer metabolik hastalıklar gibi sağlık sorunlarına yol açar. Hastalıklara karşı korumak için doymuş yağ asitlerinin çoklu doymamış yağ asitleri ile değiştirilmesi, sağlıklı ve besleyici gıda ürünlerinin geliştirilmesi için önem arz etmektedir.

Kontrol bisküvilerine göre nanoemülsiyonlar ile hazırlanan bisküvilerde oleik asit, linoleik asit ve linolenik asit miktarı artarken, miristik asit ve palmitik asit miktarı azalmıştır. Bisküvilerde doymuş yağ asitleri miktarının azaltılması ve doymamış yağ asitleri miktarının artırılması ile insan sağlığının korunması ve hastalıkların önlenmesine katkıda bulunabileceğinden dolayı nanoemülsiyon ile hazırlanan bisküviler fonksiyonel gıda olarak kabul edilebilir.

Bu çalışmada, doymuş yağların fonksiyonel özelliklerini taklit ederek bisküvilerdeki doymuş yağ asitlerini azaltmak için nanoemülsiyonların kullanılması amaçlanmıştır. Genel olarak, bisküvilerin doymuş yağ asidi içeriğinde büyük azalmalar sağlanmış bisküvilerin doymuş yağların karakteristik özelliklerinden kaynaklanan bisküvide istenen fiziksel özellikleri korunarak geliştirilmiştir.

Çizelge 4.11. Bisküvilerin yağ asidi profili

Yağ Asidi	KT	YK	CN	HN	SN	UN
C12:0	0.42±0.00 ^b	0.24±0.01 ^c	0.21±0.00 ^c	2.61±0.11 ^a	0.32±0.00 ^{bc}	0.23±0.02 ^c
C14:0	1.54±0.05 ^b	0.98±0.00 ^c	0.84±0.06 ^c	2.24±0.03 ^a	0.96±0.44 ^c	0.88±0.15 ^c
C14:1	0.05±0.01 ^b	0.05±0.00 ^b	0.32±0.04 ^a	0.04±0.00 ^b	0.05±0.02 ^b	0.04±0.00 ^b
C16:0	53.33±0.07 ^a	43.78±1.96 ^b	35.52±1.35 ^c	44.59±0.14 ^b	28.45±0.62 ^d	37.68±0.04 ^c
C16:1	0.36±0.10 ^a	0.27±0.03 ^a	0.27±0.00 ^a	0.22±0.03 ^a	0.27±0.10 ^a	0.22±0.02 ^a
C17:0	0.01±0.00 ^c	0.28±0.09 ^a	0.18±0.00 ^{ab}	0.15±0.05 ^b	0.13±0.02 ^b	0.15±0.01 ^b
C17:1	0.05±0.02 ^b	0.03±0.05 ^b	0.20±0.00 ^a	0.04±0.00 ^b	0.08±0.02 ^b	0.06±0.04 ^b
C18:0	7.71±0.24 ^a	7.74±0.29 ^a	6.50±0.14 ^b	7.61±0.02 ^a	5.15±0.11 ^c	6.09±0.32 ^b
C18:1n9	27.91±0.24 ^e	33.67±1.64 ^{cd}	38.79±1.16 ^b	30.88±0.15 ^{de}	43.80±2.63 ^a	35.40±0.84 ^{bc}
C18:2n6c	7.83±0.85 ^d	11.94±0.69 ^c	16.11±0.28 ^b	11.04±0.00 ^c	19.89±1.21 ^a	18.64±0.95 ^a
C18:3n6	0.26±0.04 ^d	0.39±0.00 ^b	0.51±0.02 ^a	0.36±0.01 ^{bc}	0.29±0.04 ^{cd}	0.30±0.00 ^{cd}
C18:3n3	0.09±0.00 ^e	0.30±0.00 ^a	0.18±0.00 ^c	0.00±0.00 ^f	0.24±0.00 ^b	0.11±0.00 ^d
C20:0	0.25±0.19 ^a	0.18±0.05 ^a	0.09±0.00 ^a	0.11±0.02 ^a	0.15±0.00 ^b	0.09±0.00 ^a
C20:1	0.06±0.00 ^b	0.00±0.00 ^c	0.13±0.01 ^a	0.00±0.00 ^c	0.05±0.00 ^b	0.00±0.00 ^c
C22:0	0.06±0.00 ^{bc}	0.08±0.00 ^{abc}	0.09±0.00 ^{ab}	0.06±0.01 ^c	0.10±0.01 ^a	0.07±0.00 ^{bc}
Doymuş	63.35±0.56 ^a	53.31±2.43 ^c	43.45±1.41 ^d	57.39±0.12 ^b	35.29±1.22 ^e	45.21±0.20 ^d
Doymamış	36.64±0.56 ^e	46.68±2.43 ^c	56.54±1.41 ^b	42.60±0.12 ^d	64.70±1.22 ^a	54.78±0.20 ^b

*^a,^b,^c,^d,^e, Aynı satırda yer alan küçük harfler, örnekler arasındaki farkı ($p<0.05$) gösterir. KT: Kontrol, YK: Yağsız kontrol, CN: ÇY içeren bisküviler, HN: HCY içeren bisküviler SN: SY içeren bisküviler, UN: UÇY içeren bisküviler

4.5. Bisküvilerde TFM analizleri

Bisküvi örneklerinde fenolik maddelerin % biyoerişilebilirlik değerini (BE-TFM) belirleyebilmek için ham bisküvilerde TFM analizi yapılmış (TFM-SÖ), ardından bisküviler *in-vitro* koşullarda gastrointestinal sindirime tabii tutularak bu ekstraktlarda da TFM analizi yapılmıştır (TFM-SS). Bu değerler kullanılarak, % TFM biyoerişilebilirlik değeri (BE-TFM) belirlenmiştir. Bisküvilerdeki toplam fenolik madde miktarı *in-vitro* sindirimden önce ve sonra olacak şekilde Çizelge 4.12’de ve Şekil 4.14’de verilmiştir.

Tam yağlı kontrol bisküvilerinde (KT) toplam fenolik madde miktarı, buğday ununda bulunan fenolik bileşikler ve muhtemelen Maillard reaksiyon ürünleri nedeniyle 74.23 mg GAE/kg olarak tespit edilmiştir (Meral ve Erim Köse, 2019).

Kontrol örneklerinin sindirim öncesi TFM miktarı, nanoemülsiyonlar ile hazırlanan bisküvilerin TFM değerlerine yakın çıkmıştır. Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi şorteningler, bütillenmiş hidroksitoluen (BHT) ve bütillenmiş hidroksianisol (BHA) gibi sentetik fenolik antioksidanlar içerir. Kontrol bisküvileri, diğer bisküvilerden daha fazla şortening içermektedir bu sebepten dolayı TFM miktarı yağı azaltılmış bisküvilerin TFM miktarından yüksek çıkmıştır. Çalışmamızda ÇY, HCY, SY nanoemülsiyonları ile hazırlanan bisküvilerin toplam fenolik madde miktarı kontrol ve yağı azaltılmış kontrol bisküvilerinde tespit edilen TFM miktarından yüksek çıkmıştır. UÇY nanoemülsiyonu ile hazırlanan bisküvilerin TFM miktarı ise KT bisküvilerinde tespit edilen değerden düşük YK bisküvilerinde tespit edilen değerden yüksek çıkmıştır.

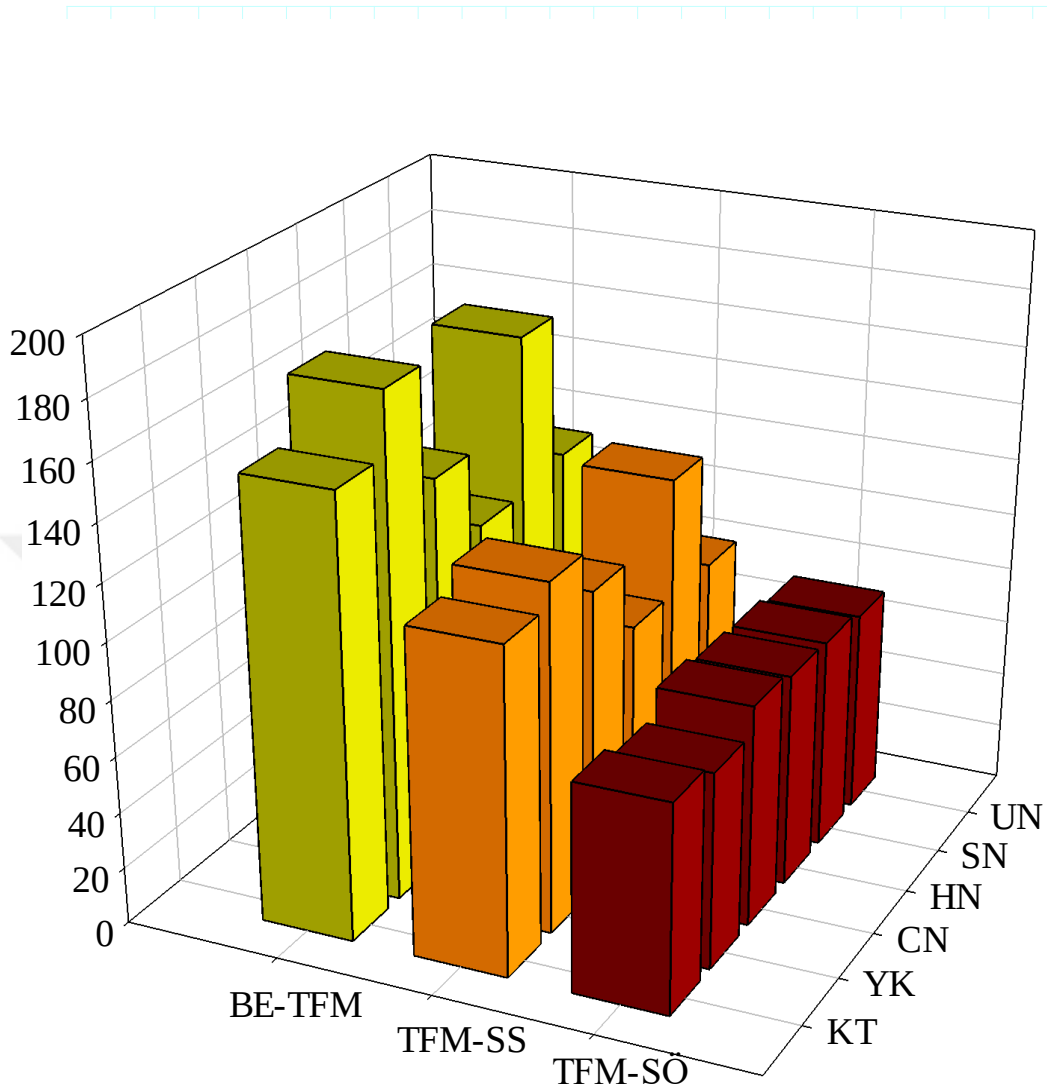
TFM miktarı, sindirimden öncesine göre sindirim sonrasında bütün örneklerde önemli ölçüde artmıştır. Ancak TFM miktarındaki artış, KT ve YK bisküvilerinde nanoemülsiyon içeren bisküvilere oranla daha fazla olmuştur. Fenolik bileşenlerin miktarı, ekstraksiyon çözücüsü, ekstraksiyon koşulları ve gıda bileşenlerinin birbirleriyle etkileşimi gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Meral ve Erim Köse, 2019). Çalışmamızda tespit edilen TFM miktarında ekstraksiyon koşullarının etkisinin olduğu düşünülmektedir. Şorteninglerde bulunan sentetik antioksidanlar (BHT ve BHA), sindirim enzimleri tarafından salınabilmektedir. Ayrıca bu durum, yağsız kontrol bisküvilerindeki emülgatörlerin azalması ile ilgili de olabilir.

Biyoerişilebilirlik, gastrointestinal sindirim sırasında katı matristen salınan gıda bileşenlerinin miktarı ve bunların bağırsaktan geçişi olarak tanımlanır. Kontrol bisküvilerindeki BE-TFM % 155 olarak tespit edilmiştir. BE-TFM değeri diğer bisküvilerde de önemli ölçüde artmıştır. En yüksek BE-TFM, yağsız kontrol (YK) örneklerinde (% 177) bulunmuştur. Antioksidan ile emülgatör etkileşimlerinin antioksidan aktiviteyi azaltabileceği düşünülmektedir (Pekkarinen ve ark., 1999). Buna bağlı olarak, yağı azaltılmış bisküvilerde şorteningin içeriğinde bulunan çeşitli emülgatörlerin yağ azaltma ile birlikte bisküvide miktarca azalması sonucunda BE-TFM miktarı artmıştır.

Çizelge 4.12. Bisküvilerin toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/kg) ve biyoerişilebilirlik değerleri

Bisküviler	Toplam fenolik madde miktarı ve biyoerişilebilirlik		
	TFM-SÖ	TFM-SS	BE-TFM (%)
KT	74.23±0.19 ^b	115.44±1.81 ^b	155.53±2.23 ^c
YK	69.66±0.83 ^d	123.42±0.31 ^a	177.18±1.76 ^a
CN	78.75±1.37 ^a	107.89±0.81 ^c	137.02±1.50 ^d
HN	75.76±1.50 ^b	82.82±0.19 ^d	109.34±2.08 ^e
SN	74.81±0.12 ^b	123.38±2.28 ^a	164.93±3.10 ^b
UN	71.86±1.09 ^c	81.08±0.14 ^d	112.84±1.56 ^e

*^{a, b, c, d, e} örnekler arasındaki farkı ($p < 0.05$) gösterir. Değerler, ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. *KT: Kontrol, YK: Yağsız kontrol, CN: ÇY içeren bisküviler, HN: HCY içeren bisküviler SN: SY içeren bisküviler, UN: UÇY içeren bisküviler



Şekil 4.14. Toplam fenolik madde sonuçları.

CN, HN ve UN bisküvilerinin BE-TFM değeri, kontrol bisküvilerinden önemli ölçüde düşük çıkmıştır. Bunun sebebi olarak; bu örneklerde zaten mevcut olan fenolik bileşiklerin düşük olması, fenolik bileşenlerin yetersiz ekstraksiyonu ve gıda bileşenleri ile fenolik bileşikler arasındaki etkileşimden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Meral ve Erim Köse, 2019). Nanoemülsiyonlarla hazırlanan bisküvilere nazaran iki katı kadar şortening (BHA ve BHT gibi antioksidan maddelerce zenginleştirilmiş, emülgatör içeren) içeren kontrol bisküvilerinin TFM miktarı, CN, HN, SN bisküvilerinden düşük; UN ve YK bisküvilerinden yüksek çıkmıştır. 2 g nano boyutta ki yağ ile yüksek TFM

miktarına sahip bisküvilerin üretilmesi önemli bulunmuştur. Bisküvilerin *in-vitro* sindirim sonucu TFM miktarı artmış ve biyoerişilebilirlikleri % 100'ün üzerinde çıkmıştır.

4.6. Bisküvilerde antioksidan aktivite (DPPH) tayini

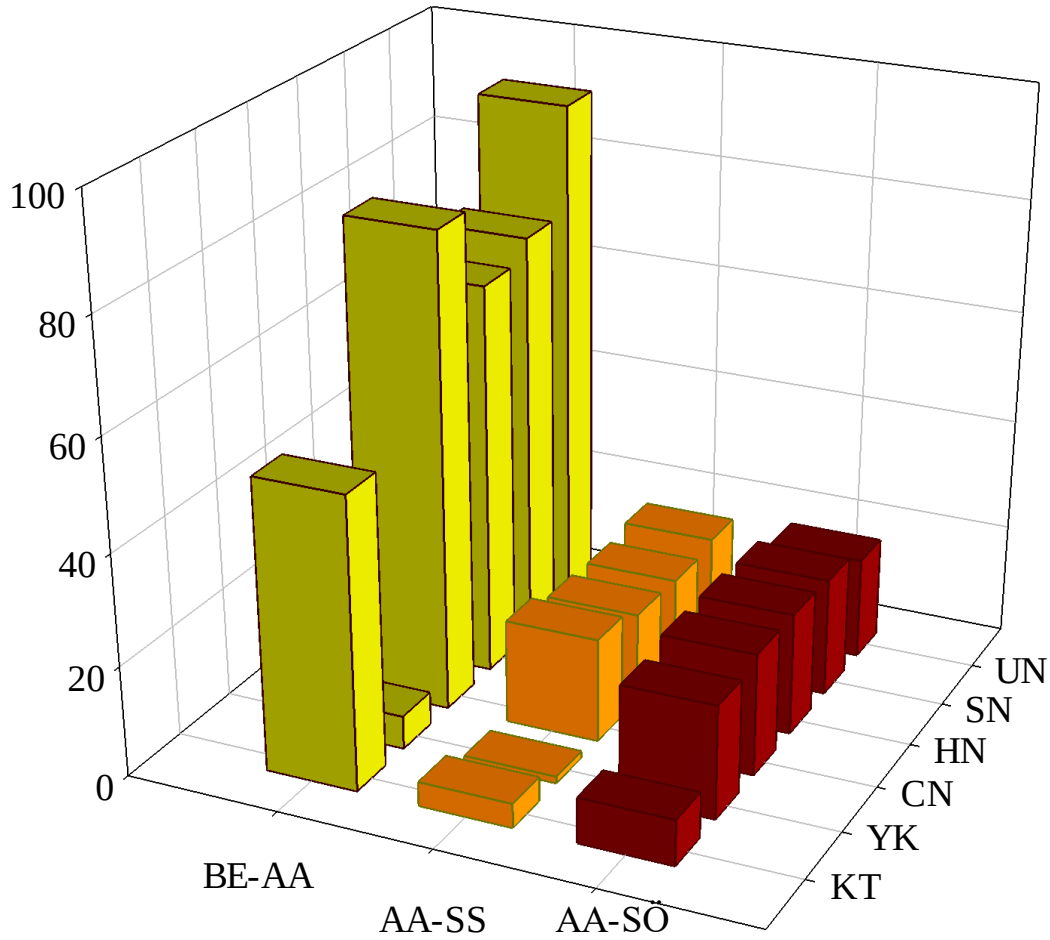
Bisküvi örneklerinin sindirim öncesi ve sonrası antioksidan aktivitesi test sonuçlarına göre, kontrol bisküvilerinin en düşük DPPH radikal süpürme aktivitesini (% 8.26) sergilediği görülmüştür. Nanoemülsiyonlar ile hazırlanan bisküvi örneklerinin antioksidan aktivitesinin ise önemli ölçüde yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, nanoemülsiyonlarda bulunan yağın iyi bir antioksidan kaynağı olabileceğini ve gıda endüstrisi için çekici bir bileşen olabileceğini ortaya koymuştur.

Nanoemülsiyon içeren bisküvilerde sindirimden sonra antioksidan aktivite, kontrol numunelerine kıyasla 3.8 ile 4.25 kat arasında daha yüksek çıkmıştır. Yağsız kontrol bisküvilerindeki antioksidan aktivite, nanoemülsiyon içeren bisküvilere benzer çıkmıştır. DPPH testi çoğunlukla hidrofilik antioksidanları belirlemek için kullanılır. YK bisküvilerindeki lipofilik bileşenlerin oranı, azalan yağ miktarı ile azalmış ve bu nedenle antioksidanlar gıda matrisinden daha iyi ekstrakte edilmiştir.

Çizelge 4.13. Bisküvilerin antioksidan aktivitesi ve biyoerişilebilirlik değerleri

Bisküviler	AA-SÖ	AA-SS	BE-AA (%)
KT	8.26±0.57 ^d	4.39±1.83 ^b	52.45±18.29 ^b
YK	20.49±0.16 ^b	1.22±0.27 ^b	5.97±1.35 ^c
CN	22.09±1.41 ^{ab}	18.67±2.41 ^a	85.14±15.55 ^a
HN	23.04±2.07 ^a	16.21±1.50 ^a	70.45±6.98 ^{ab}
SN	21.38±1.22 ^{ab}	15.73±1.75 ^a	73.66±8.09 ^a
UN	18.31±1.08 ^c	16.90±2.33 ^a	92.08±8.87 ^a

*^{a, b, c, d, e}, örnekler arasındaki farkı ($p < 0.05$) gösterir. Değerler, ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. *KT: Kontrol, YK: Yağsız kontrol, CN: ÇY içeren bisküviler, HN: HCY içeren bisküviler SN: SY içeren bisküviler, UN: UÇY içeren bisküviler



Şekil 4.15. Antioksidan aktivite sonuçları.

Simüle edilmiş gastrointestinal sindirimden sonra, KT ve YK bisküvilerindeki antioksidan aktivite biyoerişebilirliği sırasıyla % 52.45 ve % 65.97 olarak tespit edilmiştir. En yüksek % antioksidan biyoerişilebilirlik değeri (BE-AA), üzüm çekirdeği yağı nanoemülsiyonu ile hazırlanan bisküvilerde elde edilmiş ve UN bisküvilerinin BE-AA değerinde kontrol bisküvilerine göre % 75.5 artış kaydedilmiştir. CN bisküvilerindeki antioksidan aktivite artışı % 62.31 olmuş ve bunu sırasıyla % 40 artış ile SN, % 34 artış ile HN bisküvileri takip etmiştir.

Önceki çalışmalarda, küçük partikül boyutunun biyoerişilebilirliği arttırdığı belirtilmiştir (Fan ve ark., 2017). Nanoemülsiyon içerisinde bulunan gıda bileşenleri ile

sindirim enzimleri ve safra tuzları dahil olmak üzere sindirim ajanları arasındaki etkileşimler, nanoemülsiyonlarda genişleyen yüzey alanı nedeniyle artmıştır (Ha ve ark., 2015).

Bu çalışmada, nanoteknolojinin gastrointestinal sindirim sırasında biyoaktif bileşiğin emilimini iyileştirebileceğini ortaya koyan önceki çalışmaların sonuçları doğrulanmıştır. UN bisküvilerinin sindirim öncesi ve sonrası TFM içeriği ve sindirim sonrası antioksidan aktivite değerleri diğer bisküvilere göre daha düşük bulunmuştur. Üzüm çekirdeği yağı nanoemülsiyonlarının boyutunun yanı sıra üzüm çekirdeği yağında bulunan antioksidan bileşiklerin miktarının bisküvilerin toplam fenolik madde miktarını etkileyen önemli parametreler olduğu ileri sürülmektedir. Çünkü daha düşük partikül boyutlarının bileşenlerin biyoaktivitesini etkileyebileceği bilinmektedir (Fan ve ark., 2017). Ha ve ark. (2015), 100 ile 200 nm arasında damlacık boyutlarına sahip nanoemülsiyonların yüksek antiradikal etkinlik sergilediğini ortaya koymuştur.

Çalışmamızda, nanoemülsiyonların boyutuna bağlı olarak antioksidan aktivite yüksek çıkmıştır. Çizelge 4.1'de görülebileceği gibi, üzüm çekirdeği yağı nanoemülsiyonlarının boyutu, diğer nanoemülsiyonların parçacık boyutundan yaklaşık 2 kat daha yüksek (363 nm) çıkmıştır. Bununla birlikte, partikül boyutu ve antioksidan aktivite arasındaki ilişkiyi araştırmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

4.7. Duyusal analiz

Bisküvilerde uygulanan duyusal analizde panelistlerden örnekleri renk, kesit yapısı, gevreklik, yağlılık hissi, tat, aroma, genel beğeni ve satın alma isteği yönünden değerlendirmeleri istenmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına ait değerler Çizelge 4.14'te verilmiştir.

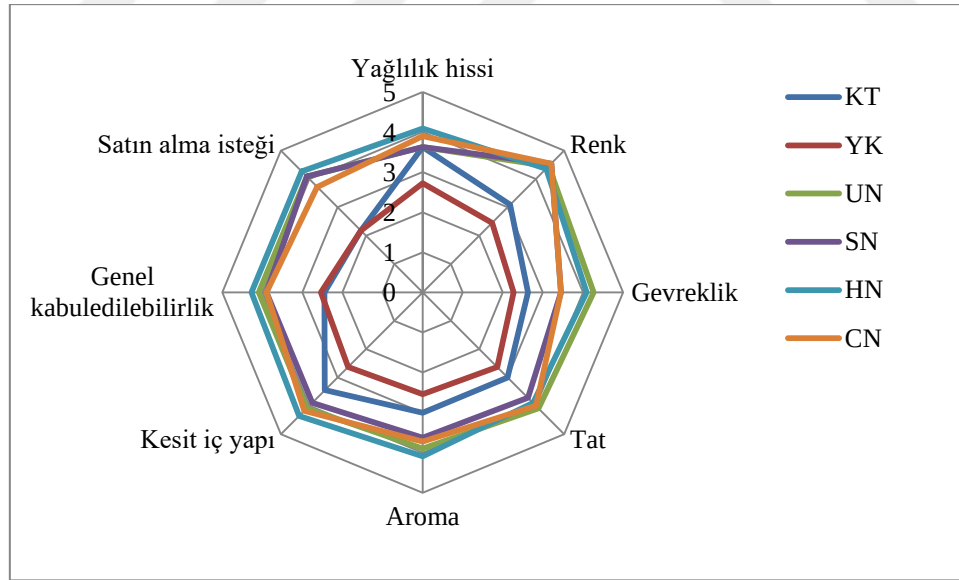
Bisküvilerin renk değerleri 2.45 ile 4.54 arasında bulunmuştur. Nanoemülsiyon içeren bisküvi örneklerinin renk puanları kontrol ve yağı azaltılmış kontrol bisküvilerinden önemli düzeyde ($p < 0.05$) yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.14). Nanoemülsiyon içeren bisküvilerde ise istatistiksel olarak fark bulunmamıştır. 1 değerinin 'hiç beğenmedim', 2 değerinin 'beğenmedim', 3 değerinin 'orta derecede beğendim', 4 değerinin 'beğendim', 5 değerinin ise 'çok beğendim' ifadesine karşılık gelen puanlamada; nanoemülsiyon içeren bisküvilerin rengi beğenilirken, kontrol

bisküvilerinin aynı özelliği orta derecede beğenilmiş ve yağı % 50 oranında azaltılmış kontrol bisküvilerinde renk beğenilmemiştir.

Çizelge 4.14. Bisküvilerin duysal özellikleri ve satın alma isteği değerlendirilmesi

Duyusal özellikler	Bisküviler					
	KT	YK	CN	HN	SN	UN
Renk	3.09±0.94 ^b	2.45±0.68 ^c	4.45±0.68 ^a	4.36±0.80 ^a	4.54±0.52 ^a	4.45±0.52 ^a
Kesit yapısı	3.45±0.52 ^b	2.63±1.02 ^c	4.18±0.75 ^a	4.36±0.50 ^a	3.90±0.70 ^{ab}	4.09±0.53 ^a
Gevreklik	2.63±0.92 ^{bc}	2.27±1.00 ^c	3.45±1.36 ^{ab}	4.09±0.83 ^a	3.45±1.36 ^{ab}	4.27±0.46 ^a
Yağlılık hissi	3.63±1.21 ^a	2.27±0.79 ^b	3.90±0.70 ^a	4.09±0.83 ^a	3.63±1.03 ^a	3.63±0.81 ^a
Tat	3.00±0.89 ^{bc}	2.63±0.67 ^c	4.00±1.00 ^a	3.90±0.70 ^a	3.72±1.19 ^{ab}	4.09±0.83 ^a
Aroma	3.00±0.89 ^{bc}	2.54±0.82 ^{cd}	3.72±1.19 ^{ab}	4.09±0.83 ^a	3.63±1.12 ^{ab}	3.90±0.94 ^a
Genel beğeni	2.45±0.93 ^b	2.54±0.52 ^b	3.90±0.94 ^a	4.27±0.64 ^a	3.90±0.70 ^a	4.09±0.70 ^a
Satın alma isteği	2.18±0.60 ^b	2.18±0.40 ^b	3.72±1.00 ^a	4.27±0.64 ^a	4.09±0.83 ^a	4.09±0.53 ^a

*^{a, b, c, d, e}, örnekler arasındaki farkı ($p < 0.05$) gösterir. Değerler, ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. *KT: Kontrol, YK: Yağısız kontrol, CN: ÇY içeren bisküviler, HN: HCY içeren bisküviler, SN: SY içeren bisküviler, UN: UÇY içeren bisküviler



Şekil 4.16. Duyusal değerlendirme sonuçları.

Bisküvilerin kesit yapısının değerlendirilmesinde yağ ikame maddesi olarak nanoemülsiyon içeren bisküvilerin, kontrol (KT) ve yağı azaltılmış kontrol (YK) bisküvilerinden daha yüksek puan aldığı ve panelistler tarafından beğenildiği tespit

edilmiştir. Bisküvilerin kesit yapısı özelliği panelistler tarafından en düşük 2.63 puan alınırken, en yüksek 4.36 puan almıştır. Kesit yapısı en çok beğenilen bisküvi HN bisküvileri olurken; en az beğenilen (beğenilmeyen) bisküvi YK bisküvileri olmuştur.

Panelistlerin gevrekliği değerlendirildiği kısımda yine nanoemülsiyon içeren bisküvi örnekleri yüksek puanlar alarak kontrol ve yağı azaltılmış kontrol bisküvilerinden daha fazla beğenilmiştir. Kontrol ve yağı azaltılmış kontrol bisküvileri ortalamanın altında olacak şekilde sırasıyla 2.63 ve 2.27 puanlarını alarak beğenilmemiştir. Gevreklik özelliği en çok beğenilen bisküviler UN bisküvileri olmuştur. Çalışmamızda formülasyonunda nanoemülsiyon bulunan bisküvilerin ağız hissi üzerinde nanoemülsiyonların önemli derecede olumlu etkisinin olduğu gösterilmiştir.

Yağların boyutunun küçültülerek bisküvinin her yerine daha tekdüze dağıtılması prensibiyle yağ azaltmanın planlandığı araştırmada; yağlılık hissi 2.27 ile 4.09 arasında puan almıştır. Yağlılık hissi yağı azaltılmış kontrol bisküvilerde en düşük puanı alınırken hindistan cevizi yağı nanoemülsiyonu ile hazırlanan bisküvilerde ise en yüksek puanı almıştır. Tam yağlı kontrol (KT) bisküvileri ile karşılaştırıldığında HN bisküvilerinin yağlılık hissini KT bisküvilerinden fazla olduğu belirlenmiştir. Panelistler tarafından CN, SN ve UN bisküvilerine ait yağlılık hissi özelliğine kontrol bisküvilerine benzer puanlar verilmesi nanoemülsiyon içerisinde bulunan yağların bisküvi içerisine daha yeknesak dağılarak yağlılık hissi oluşturduğunu göstermiş ve bisküvilerin yağının azaltılmış olduğu gerçeğinin farkedilememesini ortaya çıkarmıştır.

Bisküvi örneklerinin tat puanlarının ortalama 2.63 ile 4.09 arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 4.14). CN, HN, SN ve UN formülasyonuna sahip bisküvilerin tadı, kontrol (KT) ve yağı azaltılmış kontrol (YK) bisküvilerine göre daha fazla beğenilmiştir. Bisküviler içinde tadı en çok beğenilen bisküvi UN bisküvileri olmuştur. UN bisküvilerini sırasıyla CN, HN, SN, KT bisküvileri takip etmiştir. YK bisküvilerinin tadı panelistler tarafından 2.63 puan alarak beğenilmemiştir. Nanoemülsiyonların bisküvi tadının beğenilmesi hususunda olumlu etkileri olmuş, her bir nanoemülsiyon bisküvilerde farklı bir tat profili oluşturmuştur.

Bisküvilerde aroma puanı ortalaması 2.54 ile 4.09 arasında değişmiştir. Panelistler tarafından hindistan cevizi yağı nanoemülsiyonu ile ikame edilen bisküviler en yüksek puanı alarak beğenilmiştir. Nanoemülsiyonlar ile hazırlanan bisküvilerin, KT

ve YK bisküvilerinden daha üstün aroma profiline sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan yağların nano boyuta indirgenmesi ile tat ve koku maddelerinin son ürünün tat, koku, lezzet profiline önemli derecede etkisinin olduğunu göstermiştir. Çok az miktarda kullanılan yağların nanoemülsiyon formları, bisküvilerin aromatik bisküviler haline gelmesine katkıda bulunmuştur.

Bisküvilerin genel beğenilirlikleri incelendiğinde CN, HN, SN ve UN bisküvileri beğenilmiş YK ve KT bisküvileri ise ortalamanın altında kalarak beğenilmemiştir. En beğenilen bisküvi hindistan cevizi yağı nanoemülsiyonu (HN) ile hazırlanan bisküviler olurken genel beğenisi en az olan bisküvi kontrol bisküvileri olmuştur. Tat ve aroma kriterlerinin genel beğeni üzerinde doğrudan ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Bisküvilerin formülasyonunda nano boyutta aromatik yağların bulunması ile birlikte bisküvilerin renk, kesit yapısı, gevreklik, yağlılık hissi, tat, aroma ve genel beğeni gibi özellikleri önemli derecede değişmiştir. Çalışmada nanoemülsiyonlar ile bisküvide yağlılık hissinin azalmadığı, aromatik yağlar ile duyuşal açıdan beğenilen bisküviler elde edildiğı belirlenmiştir. Nanoemülsiyonların bisküvinin duyuşal ve fiziksel kalitesinde herhangi bir kayba neden olmadan yağ ikamesi olarak kullanılabileceğı ortaya konulmuştur.

Çizelge 4.14'ten de görüleceğı üzere kontrol bisküvilerinden % 50 yağ azaltılarak elde edilen YK bisküvilerinin; renk, kesit yapısı, gevreklik, yağlılık hissi, tat, aroma puanları kontrol bisküvilerinden daha düşük puan almıştır. Yağ azaltma ile oluşan bu problemler bisküvi formülasyonuna nanoemülsiyon ilavesi ile giderilmiş ve üstün nitelikli bisküviler elde edilmiştir.

Bisküvide yağın % 30, 40 ve 50 oranında ince öğütölmüş buğday kepeğı ile ikame edildiğı bir çalışmada, yağ ikame oranı % 30'dan daha yüksek seviyelere çıkarıldığında bisküvilerin duyuşal özellikleri önemli ölçüde bozulmuştur. Panelistlerin bisküvileri tat, aroma, dokusal özellikler ve genel kalite açısından değerlendirdiğı, yağı azaltılan bisküvilerin kontrol bisküvilerine göre daha düşük değerlendirme puanları aldığı belirtilmiştir. Yağın % 30'unun kepekke ikame edilmesi neticesinde kontrolden daha sert bisküviler üretilmiş ancak bu bisküviler tat, doku, aroma ve genel kalite özellikleri bakımından kontrol bisküvilerine benzer çıkmıştır. Çalışmada, bisküvi formülasyonunda ki yağın % 30'a kadar buğday kepeğı ile değiştirilebileceğı ve daha

yüksek ikame oranları ile duyuşal açıdan istenmeyen bisküvilerin üretileceđi belirtilmiştir (Filipčev ve ark., 2016).

Bisküvide yağ miktarının % 10, 20, 30 ve 40 oranında inülin ile ikame edildiği bir başka çalışmada, panelistler % 20 yağ ikameli bisküvileri kontrol bisküvilerine göre biraz daha sert bulmuştur. Duyusal açıdan değerdendirilen bisküvilerde, araştırmacılar bisküvi yağının inülin ile % 20'ye kadar kısmen ikame edilebileceği sonucuna varmışlardır (Rodríguez-García ve ark., 2013).

Sodyum oktenil süksinat (OSA nişastası) ile stabilize edilmiş emülsiyonların (% 50 ve 70 oranlarında) bisküvilerde yağ ikamesi olarak kullanımının araştırıldığı bir çalışmada; emülsiyon formunda yağ içeren bisküviler, emülsiyon içermeyen bisküvilere kıyasla daha düşük bisküvi yayılma oranına sahip olmuşlardır. Yağ ikamesi; bisküvi sertliğinde artış ve daha düşük duyuşal özellik puanları ile sonuçlanmıştır (Dapčević ve ark., 2015).

Pakistan' da yetişmekte olan *Vigna mungo* (BGF) ununun bisküvide yağ ikamesi olarak kullanıldığı bir çalışmada; bisküvi örneklerinin sertlik değerdeleri arasında önemli ($p>0.05$) farklılıklar bulunmuştur. % 10, 15, 20, 25 ve 50 oranında yağ ikamesi yapılan çalışmada % 50 BGF içeren bisküvi en yüksek sertlik değerdine sahip olmuş bunu % 25 BGF ve % 20 BGF içeren bisküviler takip etmiştir. Yağ ikame oranı % 15 BGF seviyesinin üzerine çıktıkça, bisküvilerin temel duyuşal özelliklerinden biri olan tat skoru; ağızdaki hoş olmayan his ve artan sertlik nedeniyle azalmıştır. % 20 BGF ve % 25 BGF içeren bisküvi örneklerinin dokuları çok sert bulunmuştur. Çalışmada genel kabul edilebilirlik % 15 yağ ikamesine kadar kabul edilebilir seviyede iken, bu ikame seviyesinden sonra azalmıştır (Saeed ve ark., 2020a).

Lotus kökü (LRF) ununun bisküvilerde yağ ikamesi olarak % 5, 10, 15, 20, 25 ve 50 oranlarında kullanıldığı bir çalışmada; bisküvilerde % 15 LRF seviyesinde ki yağ ikamesinin, görünüş, tat, doku ve genel kabul edilebilirlik açısından kontrol bisküvilerinden önemli ölçüde farklı olmamakla birlikte ($p>0.05$), bisküvilerde % 15'in üzerindeki yağ ikamesi, hoş olmayan bir ağız hissi ve daha sert bisküvi tekstürüne neden olmuştur (Saeed ve ark., 2020b).

Bisküvilerde yağ ikame maddesi olarak % 25 ve 50 oranlarında kestane unu ve keçiyoynuzu unu kullanılan bir çalışmada, yapılan duyuşal değerdendirme sonucunda kestane unu ve keçiyoynuzu unu ilaveli bisküvilerin kontrole göre genel beğenisinin

azaldığı tespit edilmiştir. Şortening miktarı azalan bisküvilerin gevreklik ve ağızda dağılma, dişe yapışma, tat ve koku beğenisinde kontrole göre azalma olmuştur. İkame oranı arttıkça bu değerlerin daha da azaldığı belirtilmiştir (Çiftçi, 2018).

Yağ miktarı azaltılarak yerine inülin kullanılan bir başka çalışmada, duyuusal değerlendirme puanlarının inülin miktarı arttıkça ve yağ miktarı azaldıkça genelde düşüş gösterdiği belirtilmiştir. Kontrol bisküvi örneği ve % 10, 20, 30, 40 ve 50 oranlarında yağ içeriği azaltılan bisküvi örneklerinin renk, sertlik ve lezzet puanları bakımından benzer olduğu ancak % 30'un üzerinde ikame oranı ile bu değerlerin kontrol bisküvilerine göre düştüğü belirtilmiştir. Bunların dışındaki duyuusal değerlendirme kriterleri (ağızda dağılma, gevreklik, kesit iç rengi, genel beğeni vb.) bakımından ise kontrol bisküvi örneği ve % 10, % 20 oranlarında yağ içeriği azaltılan bisküvi örneklerinin benzer olduğu belirlenmiş, daha fazla ikame oranları ile bisküviler daha düşük puanlar almıştır. Satın alma eğilim puanları bakımından kontrol bisküvilerinin en yüksek değeri aldığı belirtilen çalışmada, % 10, 20, 30, 40 ve 50 oranında yağ içeriği azaltılan bisküvi örneklerinin satın alma eğilim puanlarının ikame oranı arttıkça azaldığı bildirilmiştir (Şenerkek, 2019).

Nanoemülsiyon ikamesi ile yağı azaltılarak elde edilen bisküvilerin üretim esnasında yağ azaltmanın getireceği zorluklara rağmen duyuusal olarak beğenilmesi, bisküvi de istenilen özellikleri bozmaması açısından önemlidir.



5. SONUÇ

Bu çalışmada daha önce benzeri olmayan nanoteknolojik bir yöntem kullanarak doymuş yağ miktarı azaltılmış, kalorisi düşük, antioksidan maddelerce zengin bisküvi üretilmesi hedeflenmiştir. Bisküvilerin fonksiyonel özelliklerini artırmak amacıyla bisküvi formülasyonuna antioksidan özelliğe sahip olduğu bilinen çörekotu, hindistan cevizi, susam ve üzüm çekirdeği yağlarının nanoemülsiyon formları eklenmiştir. Çalışmanın ilk kısmında çörekotu, hindistan cevizi, susam ve üzüm çekirdeği yağlarından nanoemülsiyonlar elde edilmiş ve bu nanoemülsiyonların karakterizasyonu yapılmıştır. Nanoemülsiyonların ortalama boyutunun ve PDI değerlerinin sırasıyla, 169.81 ile 363.4 nm ve 0.120 ile 0.207 aralığında olduğu belirlenmiştir. Yağ tipine göre nanoemülsiyondaki damlacık boyutları değişmiş, aynı zamanda tüm yağ örnekleri nano boyuta indirgenmiştir. Üretilen nanoemülsiyonların, ZP'leri değerlendirildiğinde her dört örneğin de anyonik karaktere sahip olduğu belirlenmiştir. Nanoemülsiyonlardaki negatif ZP, yağlarda bulunan yağ asitlerinin varlığı ile ilişkilendirilmiştir. ÇY örneğinin diğer örneklerle göre daha homojen boyut dağılımı sergilediği belirlenmesine rağmen, diğer nanoemülsiyon örneklerinin boyut dağılımının da homojen olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, yağ tipinin nanoemülsiyon boyutu ve stabilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olacağını göstermiştir.

Bu çalışmadan elde edilen verilere göre; uygulanan nanoemülsiyon üretim yöntemi ile nano-boyutlu homojen partikül boyutu dağılımına sahip nanoemülsiyonlar üretilmiştir. TEM analizi ile 100-300 nm boyutunda nanomateryaller üretildiği doğrulanmış ve yağ partiküllerinin morfolojik yapıları incelenmiştir. Yağların nanoteknoloji yardımı ile nano boyutlu hale dönüştürülerek daha geniş yüzey alanına sahip olacağı ortaya konulmuştur. DSC analizi sonucunda; yağların erime noktaları dikkate alındığında, nanoemülsiyon içine enkapsüle edilen yağların erime sıcaklıklarının yükseltildiği ve termal dayanımının arttığı belirlenmiştir.

Çalışmamızın ikinci aşamasında, bisküvi formülasyonunda önemli yer tutan şortening % 50 oranında azaltılmış ve yerine 2 gram kadar çörekotu, hindistan cevizi, susam ve üzüm çekirdeği yağının nanoemülsiyon formları ile ikame edilmiştir. Nanoemülsiyonlar ile yağı % 50 oranında ikame edilen bisküvilerin yağ miktarı kontrol

bisküvilerine göre % 33 ile 48 arasında düşürülmüştür. Yağ azaltılırken yaşanabilecek sertlik ve gevreklik artışı gibi problemler olmamış aksine bisküviler daha üstün görünüş ve kalite özelliklerine sahip olmuştur. Nanoemülsiyonlar ile yağ azaltma neticesinde bisküvilerin enerji değeri kontrol bisküvilerine kıyasla % 8.6 ile 12.82 arasında düşürülmüştür. Çalışmada, nanoemülsiyonların yüksek yağ içeren gıdalarda enerji değerini düşüren iyi bir ikame maddesi olabileceği ve yeni nesil diyet gıdalarda kullanılmasının faydalı olacağı sonucuna varılmıştır.

Hazırlanan bisküvilerin fiziksel özellikleri üzerinde nanoemülsiyonların önemli katkıları tespit edilmiştir. Bisküvilerin rengi L^* ve b^* değerleri açısından karşılaştırıldığında örnekler arasında meydana gelen farklılık, muhtemelen nanoemülsiyon üretiminde kullanılan yağların doğal renklerine atfedilmiştir. a^* değeri üzerinde nanoemülsiyonların etkisi bulunmamıştır, ancak nanoemülsiyon ilavesi ile a^* ve b^* değerlerinin kontrol bisküvilerine göre arttığı belirlenmiştir. Nanoemülsiyonların bisküvilerde kırmızılık ve sarılık artışında rol oynadığı tespit edilmiştir.

Nanoemülsiyonların bisküvilerde oluşturduğu en önemli fiziksel farklılık çap, kalınlık ve yayılma özellikleri üzerinde olmuştur. Yağı azaltılmış ve yerine nanoemülsiyon ilave edilmiş bisküvilerin çap oranı artmış, yüksekliği azalmış ve nihayetinde yayılma miktarı artmıştır. Nanoemülsiyonlar, görüntü itibarıyla tüketicinin beğendiği, üstün nitelikli bisküviler üretiminde önemli rol oynamıştır.

Bisküvilerde önemli kalite parametrelerinden biri olan sertlik ve kırılma değeri yağ azaltma çalışmalarında sık rastlanan problemlerin başında gelmiştir. Bisküvilerde sertlik ve kırılma belli seviyede istenen ancak değerinin yükselmesi istenmeyen bir özelliktir. Çalışmamızda kullanılan nanoemülsiyonlar şorteninge göre hamur ve bisküvi yapısını değiştirerek bisküvilerin daha düşük sertlik değerleri almasına ve bisküvilerin depolama süresince (90 gün) daha stabil kalmasına olanak sağlamıştır.

Bisküvilerden elde edilen yağlarda yapılan SYA sayısı tayini sonucunda nanoemülsiyonların sınırlı etkisi tespit edilmiştir. Nanoemülsiyonla hazırlanan bisküvilere nazaran kontrol bisküvilerinde daha fazla miktarda şortening (BHA ve BHT gibi antioksidan maddelerce zenginleştirilmiş, emülgatör içeren) kullanılması, depolama boyunca kontrol bisküvilerinin SYA sayısı açısından daha stabil kalmasını sağlamıştır. Ayrıca doymamış yağ asitlerinin oksidasyona daha duyarlı oldukları bilinmektedir.

Muhtemelen, bu nedenle nanoemülsiyon içeren örneklerde kontrole kıyasla daha yüksek % SYA değeri saptanmıştır. Antioksidan maddelerce zengin yağların nanoemülsiyon formu ile hazırlanan bisküvilerde başlangıç gününe göre 90 gün sonunda SYA sayısı belirgin şekilde düşürülmüştür. SYA sayısında ki düşüş en fazla hindistan cevizi yağı nanoemülsiyonu ile hazırlanan bisküvilerde olmuştur.

Bisküviler peroksit sayısı açısından değerlendirildiğinde, çörekotu yağı nanoemülsiyonu ile hazırlanan bisküvilerin PV sayısı en düşük değeri almıştır. Yüksek antioksidan madde içermesi sebebiyle çörekotu yağı nanoemülsiyonlarının, gıdalarda oksidasyonu geciktirici madde olarak tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Lipid oksidasyonu unlu mamüllerde ürünün raf ömrünü ve kalitesini etkileyen önemli faktörlerden birisidir. Bisküvilerde yapılan TBA analizlerinde; ilk (0. Gün) ve son gün (90. Gün) TBA değerleri arasındaki artış dikkate alındığında en düşük artış % 29.4 ile susam yağı nanoemülsiyonu ile hazırlanan bisküvilerde tespit edilirken bunu sırasıyla; % 29.8 ile UN, % 30 ile CN, % 55 ile KT ve % 107 artış ile YK formülasyonuna sahip bisküviler takip etmiştir. Nanoemülsiyonların tiyobarbitürik asit sayısı üzerinde yükselmeyi engelleyici etkileri tespit edilmiştir. Yüksek yağ içeren gıdalarda depolama stabilitesi için uygun nanoemülsiyonların kullanılması TBA değeri üzerinde istenilen sonuçları verecektir.

Bisküvi gibi fırıncılık ürünlerinde doymuş yağların kullanımı; yapı, tekstür ve genel beğeni açısından formülasyonun vazgeçilmez parçası olmuştur. Doymuş yağlar bisküvi de aranan özellikleri geliştirip iyileştirirken insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler ortaya çıkarmaktadır. Çalışmamızda hedeflediğimiz ana amaçlardan biri bisküvi kalitesinden ödün vermeden, doymuş yağ miktarı azaltılmış ürünler elde etmek olmuştur. Yağ asidi profilini incelediğimiz bisküvilerde nanoemülsiyonlar ile bisküvilerin doymuş yağ asidi içeriğinin yüksek miktarda azaltıldığı tespit edilmiştir. Doymuş yağ miktarı, kontrol bisküvilerine kıyasla ÇY içeren bisküvilerde % 31.41, HCY içeren bisküvilerde % 9.40, SY içeren bisküvilerde % 44.29, UÇY içeren bisküvilerde % 28.63 oranında düşürülmüştür. Bisküvilerde yağın azaltılıp yerine nanoemülsiyon ilavesiyle, doymamış yağ asitlerinin miktarı artırılmış ve sağlık açısından daha faydalı gıdalar üretilmiştir.

Çalışmada, bisküvilerde yağ azaltma işlemi için çeşitli yağların nanoemülsiyonlarının kullanılması ile TFM miktarı ve antioksidan aktivite açısından

fonksiyonel özelliklere sahip bisküviler üretilebileceği belirlenmiştir. Nanoemülsiyonlarla hazırlanan bisküvilere nazaran iki katı kadar şortening (BHA ve BHT gibi antioksidan maddelerce zenginleştirilmiş, emülgatör içeren) içeren kontrol bisküvilerinin TFM miktarı, CN, HN, SN bisküvilerinden düşük; UN ve YK bisküvilerinden yüksek çıkmıştır. 2 g nano boyutta ki yağ ile yüksek TFM miktarına sahip bisküvilerin üretilmesi önemli bulunmuştur. Bisküvilerin *in-vitro* sindirim sonucu TFM miktarı artmış ve biyoerişilebilirlikleri % 100'ün üzerinde çıkmıştır.

Antioksidan aktivite nanoemülsiyonlar ile hazırlanan bisküvilerde, kontrol bisküvilerinden çok daha yüksek çıkmıştır. Sindirim sonucu antioksidan aktivite tüm örneklerde azalmış ve biyoerişilebilirlik nanoemülsiyonlarla üretilen bisküvilerde oldukça yüksek çıkmıştır. Nanoemülsiyonların kullanılması ile antioksidan biyoerişilebilirliğinin arttığı böylece sağlık açısından daha faydalı bisküviler üretildiği ispatlanmıştır.

Panelistler tarafından renk, kesit yapısı, gevreklik, yağlılık hissi, tat, aroma, genel beğeni ve satın alma isteği açısından değerlendirilen bisküviler için yapılan duysal değerlendirme sonuçlarına göre; nanoemülsiyon ilavesi ile üstün nitelikte, yüksek beğeni puanlarına sahip bisküviler üretilmiştir. Bu çalışmanın en önemli amaçlarından biri de yağın bisküvi kalitesinden sorumlu olduğu özelliklerinin yağ azaltma ile birlikte bozulmaması ve yağsızlık hissini en az seviyede olması olmuştur. Çalışma sonucunda bisküvi fiziksel özellikleri (renk, kesit yapısı, gevreklik) kontrol bisküvilerine göre daha yüksek puanlar alarak beğenilmiştir. Bisküvi yağının nanoemülsiyonlar ile % 50 oranında azaltıldığı farkedilmemiş aksine panelistler tarafından CN ve HN bisküvilerinin kontrol bisküvilerine göre daha yağlı olduğu hissi belirtilmiştir. Yağsızlık hissini oluşmamasında, yağların nano boyuta indirgenerek yüzey alanının genişletilmesi ve ürünün tüm kısmını yağlaması sebep olmuştur. Nano boyuta indirgenen yağların tat ve aroma üzerinde belirgin etkileri olmuştur. Nanoemülsiyonlar ile yağı azaltılarak üretilen bisküviler tat ve aroma özellikleri üstün, panelistler tarafından beğenilen bisküviler olmuştur. Tat ve aromanın beğenilmesi ile genel beğeni ve satın alma isteği de olumlu yönde etkilenmiştir. Çalışmamızda en beğenilen bisküviler sırasıyla hindistan cevizi yağı, üzüm çekirdeği yağı, susam yağı ve çörekotu yağı nanoemülsiyonu ile hazırlanan bisküviler olmuştur.

Geleceğimizin teknolojisi olan nanoteknolojinin gıda ürünlerine uygulanacağı araştırmalara öncü olacak bu çalışma ile; yağı azaltılan ürünlerin üretilmesinde, antioksidan aktivite ve TFM madde açısından fonksiyonel gıdaların üretiminde, doymuş yağ asidi miktarının azaltılması ile daha sağlıklı gıdaların üretiminde ve çalışmamızda başarı elde ettiğimiz üstün nitelikli bisküviler gibi farklı fırıncılık ürünlerinin üretiminde nanoemülsiyonların kullanımı tavsiye edilmektedir.

Bisküvilerde yağı azaltmak için nano boyutlu yağın kullanıldığı herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada ilk kez bisküvilerde yağ içeriğini azaltmak için nanoteknoloji kullanılmıştır. Elde edilen veriler bu anlamda bisküvi sektörüne rehberlik ve öncülük edecektir. Ayrıca bu çalışma, yağ içeren diğer gıdalarda yağ yerine nano-boyutlu yağın kullanımı için yol gösterici olacak, bundan sonra yapılacak çalışmalara da öncülük edecektir.



KAYNAKLAR

- Abbasi, F., Samadi, F., Jafari, S. M., Ramezanpour, S., Shams Shargh, M., 2019. Ultrasound-assisted preparation of flaxseed oil nanoemulsions coated with alginate whey protein for targeted delivery of omega-3 fatty acids into the lower sections of gastrointestinal tract to enrich broiler meat. **Ultrasonics Sonochemistry**, **50**: 208–217. Doi: 10.1016/j.ultsonch.2018.09.014
- Abdou, E. S., Galhoum, G. F., Mohamed, E. N., 2018. Curcumin loaded nanoemulsions/pectin coatings for refrigerated chicken fillets. **Food Hydrocolloids**, **83**: 445–453. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.05.026
- Acosta, E., 2009. Bioavailability of nanoparticles in nutrient and nutraceutical delivery. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, **14**(1): 3-15.
- Akoh, C. C., 1998. Fat replacers. **Food Technology**, **52**: 47-53.
- Aksoylu, Z., Çağindi, Ö., Köse, E., 2015. Addition of blueberry, grape seed and poppy seed to biscuits. **Journal of Food Quality**, **38**: 164-174. Doi: 10.1111/jfq.12133
- Anonim, 1986. **Bisküvi standardı TS 2383**. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 1999. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**, 9th Ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- Anonim, 2003. **FAO, Food energy - methods of analysis and conversion factors**. Report of a technical workshop. FAO Food and Nutrition Paper No. 77, Rome.
- Anonim, 2005. Fat replacers. **Journal of the American Dietetic Association**, **105**: 266-275.
- AOAC, 1990. **Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists**, Washington D.C.
- AOCS, 1989. **Official Method Cd 8-53. Peroxide value. In Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society (4th ed.)**. AOCS, Champaign, IL, USA.
- AOCS, 2004. **Official Method Ca 5a-40. Free Fatty Acids in Crude and Refined Fats and Oils**.
- Augustin, M. A., Sanguansri, P., 2006. Nanoscale materials development - a food industry perspective. **Trends in Food Science and Technology**, **17**(10): 547-556.
- Bae, S. H., Suh, H. J., 2007. Antioxidant activities of five different mulberry cultivars in Korea. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, **40**: 955-962.
- Basman, A., Öztürk, S., Kahraman, K., Köksel, H., 2008. Emulsion and pasting properties of resistant starch with locust bean gum and their utilization in low fat cookie formulations. **International Journal of Food Properties**, **11**: 762-772.
- Bath, D. E., Shelke, K., Hoseney, R. C., 1992. Fat replacers in high-ratio layer cakes. **Cereal Food World**, **37**: 495-500.
- Biguzzi, C., Lange, C., Schlich, P., 2015. Effect of sensory exposure on liking for fat- or sugar-reduced biscuits. **Appetite**, **95**: 317–323. Doi: 10.1016/j.appet.2015.07.001
- Branco, I. G., Sen, K., Rinaldi, C., 2020. Effect of sodium alginate and different types of oil on the physical properties of ultrasound-assisted nanoemulsions. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, **153**: 107942. Doi: 10.1016/j.cep.2020.107942

- Cano-Sarmiento, C., Téllez-Medina, D. I., Viveros-Contreras, R., Cornejo-Mazón, M., Figueroa-Hernández, C. Y., García-Armenta, E., Alamilla-Beltrán, L., García, H. S., Gutiérrez-López, G. F., 2018. Zeta potential of food matrices. *In Food Engineering Review*, **10**: 1-26. Doi: 10.1007/s12393-018-9176-z
- Caponio, F., Gomes, T., Pasqualone, A., ve Summo, C., 2007. Use of the high performance size exclusion chromatography analysis for the measurement of the degree of hydrolytic and oxidative degradation of the lipid fraction of biscuits. *Food Chemistry*, **102**: 232-236.
- Ceylan, Z., Meral, R., Köse, Y. E., Cavidoğlu, I., 2020. Wheat germ oil nanoemulsion for oil stability of the cooked fish fillets stored at 4 °C. *Journal of Food Science & Technology*, **57**(5): 1798–1806. Doi: 10.1007/s13197-019-04213-7
- Chen, C. C., Wagner, G., 2004. Vitamin E nanoparticle for beverage applications. *Chemical Engineering Research and Design*, **82**(11): 1432-1437.
- Chen, Q., McClements, D. J., 2010. Formation of nanoemulsions stabilized by model food-grade emulsifiers using high-pressure homogenization: Factors affecting particle size. *Food Hydrocolloids*, **25**(5): 1000-1008.
- Chen, Y., Ma, Y., Dong, L., Jia, X., Liu, L., Huang, F., Chi, J., Xiao, J., Zhang, M., Zhang, R., 2019. Extrusion and fungal fermentation change the profile and antioxidant activity of free and bound phenolics in rice bran together with the phenolic bioaccessibility. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, **115**: 108461. Doi: 10.1016/j.lwt.2019.108461.
- Chugh, B., Singh, G., Kumbhar, B. K., 2015. Studies on the optimization and stability of low-fat biscuit using carbohydrate-based fat replacers. *International Journal of Food Properties*, **18**(7): 1446-1459.
- Chugh, B., Singh, G., Kumbhar, B., 2016. Optimization of ingredients for development of low-fat biscuits using response surface methodology. *Journal of Food & Industrial Microbiology*, **02**. Doi: 10.4172/2572-4134.1000110.
- Claughton, S. M., Pearce, R. J., 1989. Protein enrichment of sugar-snap cookies with sunflower protein isolate. *Journal of Food Science*, **54**(2): 354-356.
- Conforti, F. D., Charles, S. A., Duncan, S. E., 1997. Evaluation of a carbohydratebased fat replacer in a fat reduced baking powder biscuit. *Journal of Food Quality*, **20**: 247-256.
- CoHort, 2004. *Costat User Guide*. CoHort Software, Monterey, CA.
- Coşkun, M., 2020. *Bisküvide Yağ İkamesi Olarak Kahve Çekirdeği Zarı Kullanımı* (Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Cuendet, M., Hostettmann, K., Potterat, O., 1997. Iridoid glucosides with free radical scavenging properties from fagraea bluemi. *Helvetica Chimica Acta*, **80**: 1144-1152.
- Çiftçi, S., 2018. *Yağı Azaltılmış Bisküvi Üretimi* (Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Dapčević H., Hadnađev, M., Pojić, M., Rakita, S., Krstonošić, V., 2015. Functionality of OSA starch stabilized emulsions as fat replacers in cookies. *Journal of Food Engineering*, **167**: 133-138. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2015.02.002.
- Doğan İ. S., Küçüköner, F., 1999. Düşük yağ ve kalori içeren gıdaların hazırlanmasında yağ ikamelerinin rolü. *Gıda Dergisi*, **24**(6): 417-424.
- Doğan, İ. S., Uğur, T., 2004. Van ve Çevresinde yetiştirilen bazı buğdayların bisküvilik kalitesi üzerine bir araştırma. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, **15**: 139-148.

- Doğan, H., 2016. *Glutenli ve Glutensiz Bisküvi Üretiminde Fonksiyonel Bir Bileşen Olarak Uşkun Kullanımı* (Yüksek Lisans Tezi). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Donsi, F., Annunziata, M., Vincensi, M., Ferrari, G., 2012. Design of nanoemulsion-based delivery systems of natural antimicrobials: Effect of the emulsifier. *Journal of biotechnology*, **159**(4): 342-350.
- Donsi, F., Ferrari, G., 2016. Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food, *Journal of Biotechnology*, **233**: 106–120.
- DSÖ, 2020. World Health Organization, Fact sheet on overweight and obesity. Erişim Adresi: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>. Erişim tarihi: 17.03.2022.
- Drake, M. A., Swanson, B. G., 1995. Reduced and low fat cheese technology. *Trends in Food Science and Technology*, **6**: 366-369. Doi: 10.1016/S0924-2244(00)89192-X
- El-Hadad, N., Abou-Gharbia, H., Abd El Aal, M., Youssef, M., 2009. Red palm olein: Characterization and utilization in formulating novel functional biscuits. *Journal of the American Oil Chemists Society*, **87**: 295-304. Doi: 10.1007/s11746-009-1497-x.
- El-naggar, M., Hussein, J., El-sayed, S., Youssef, A., El Bana, M., Abdel Latif, Y., Medhat, D., 2020. Protective effect of the functional yogurt based on Malva parviflora leaves extract nanoemulsion on acetic acid-induced ulcerative colitis in rats. *Journal of Materials Research and Technolog*, **9**: 14500-14508. Doi: 10.1016/j.jmrt.2020.10.047.
- Ekin, M. M., Alav, A., Meral, R., Ceylan, Z., 2019. The effect of edible hydrogel films prepared by pomegranate seed oil-loaded nanoemulsion on microbial spoilage of fish fillets. *3rd International Conference on Agriculture, Animal Husbandry and Rural Development*, 6-8. Van, Türkiye, 20 Aralık 2019 - 22 Aralık 2020.
- Erinc, H., Mert, B., Tekin, A., 2018. Different sized wheat bran fibers as fat mimetic in biscuits: its effects on dough rheology and biscuit quality. *Journal of Food Science and Technology*, **55**: 3960–3970. Doi: 10.1007/s13197-018-3321-9
- Ertürk, B., Meral, R., 2020. Determination of the effect of stabilization process on some quality characteristics of rice bran. *Journal of the Institute of Science and Technology*, **10**(2): 1030–1041. Doi: 10.21597/jist.640083
- Fan, Y., Yi, J., Zhang, Y., Wen, Z., Zhao, L., 2017. Physicochemical stability and in vitro bioaccessibility of β -carotene nanoemulsions stabilized with whey protein-dextran conjugates. *Food Hydrocolloids*, **63**: 256-264. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.09.008.
- Feynman, R. P., 1959. There is Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics. <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>, (Erişim Tarihi: 17.03.2022).
- Feng, X., Tjia, J. Y. Y., Zhou, Y., Liu, Q., Fu, C., Yang, H., 2020. Effects of tocopherol nanoemulsion addition on fish sausage properties and fatty acid oxidation. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, **118**: 108737. Doi: 10.1016/j.lwt.2019.108737
- Filipčev, B., Milićević, N., Šimurina, O., Sakač, M., Pestorić, M., (Jambrec) Škrobot, D., Šarić, B., Jovanov, P., 2016. Partial replacement of fat with wheat bran in formulation of biscuits enriched with herbal blend. *Hemijska Industrija*, **71**: 61-67. Doi: 10.2298/HEMIND150922018F.

- Ghosh, V., Mukherjee, A. Chandrasekaran, N., 2013. Ultrasonic emulsification of food-grade nanoemulsion formulation and evaluation of its bactericidal activity. ***Ultrasonics Sonochemistry***, **20**(1): 338-344.
- Ghosh, V., Mukherjee, A. Chandrasekaran, N., 2014. Eugenol loaded antimicrobial nanoemulsion preserves fruit juice against, microbial spoilage. ***Colloids and surfaces B Biointerfaces***, **114**: 392-397.
- Goswami, M., Sharma, B. D., Mendiratta, S. K., Pathak, V., 2018. Quality evaluation of functional carabeef cookies incorporated with guar gum (Cyamopsis tetragonoloba) as fat replacer. ***Nutrition and Food Science***, **49**(3): 432-440. Doi: 10.1108/NFS-07-2018-0211
- Grossklauss, R., 1996. Fat replacers- Requirements from a nutritional physiological point of view. ***Übersichtsbeiträge/Reviews***, **98**(4): 136-141. Doi: 10.1002/lipi.19960980403
- Guerra-Rosas, M. I., Morales-Castro, J., Ochoa-Martínez, L. A., Salvia-Trujillo, L., Martín-Belloso, O., 2016. Long-term stability of food-grade nanoemulsions from high methoxyl pectin containing essential oils. ***Food Hydrocolloids***, **52**: 438–446. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2015.07.017
- Guttieri, M. J., Souza, E. J., Sneller, C., 2008. Nonstarch polysaccharides in wheat flour wire-cut cookie making. ***Journal of Agricultural and Food Chemistry***, **56** (22): 10927–10932. Doi: 10.1021/jf801677a.
- Ha, T. V. A., Kim, S., Choi, Y., Kwak, H. S., Lee, S. J., Wen, J., Oey, I., Ko, S., 2015. Antioxidant activity and bioaccessibility of size-different nanoemulsions for lycopene-enriched tomato extract. ***Food Chemistry***, **178**: 115–121. Doi: 10.1016/j.foodchem.2015.01.048
- Hoseney, R. C., 1998. Principles of cereal science and technology. ***American Association of Cereal Chemists***, 275-305.
- Huang, D., Ou, B., Prior, R.L., 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. ***Journal of Agricultural and Food Chemistry***, **53**: 1841-1856.
- Hulla, J. E., Sahu, S. C., Hayes, A. W., 2015. Nanotechnology: History and future. ***Human & experimental toxicology***, **34**(12): 1318-1321.
- Huyghebaert, A., Dewettinck, K., De Greyt, W., 1996. Fat Replacers. ***Bulletin of the International Dairy Federation***, **317**: 10-15.
- Institute for Health Metrics and Evaluation, 2020. High body-mass index - Level 2 risk. http://www.healthdata.org/results/qbd_summaries/2019/high-body-mass-index-level-2-risk. Erişim Tarihi: 17.03.2022.
- IUPAC, 1992. ***Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivatives***. Blackwell, International Union of Pure and Applied Chemistry. Oxford, England.
- Jo, Y., Chun, J., Kwon, Y., Min, S., Hong, G., Choi, M., 2015. Physical and antimicrobial properties of trans-cinnamaldehyde nanoemulsions in water melon juice. ***LWT-Food Science and Technology***, **60**: 444-451.
- Joe, M. M., Bradeeba, K., Parthasarathi, R., Sivakumaar, P. K., Chauhan, P. S., Tipayno, S., Benson, A., Sa, T., 2012. Development of surfactin based nanoemulsion formulation from selected cooking oils: Evaluation for antimicrobial activity against selected food associated microorganisms. ***Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers***, **43**: 172–180
- Katz, M., 2021. Regardless of age, obesity and hypertension increase risks with COVID-19. ***Jama Internal Medicine***, **181**(3): 381 Doi: 10.1001/jamainternmed.2020.5415.

- Komaiko, J., McClements, D. J., 2014. Food-grade nanoemulsion filled hydrogels formed by spontaneous emulsification and gelation: Optical properties, rheology, and stability. *Journal of Food Hydrocolloids*, **46**: 67-75.
- Krystijan, M., Gumul, D., Ziobro, R., Sikora, M., 2015. The effect of inulin as a fat replacement on dough and biscuit properties. *Journal of Food Quality*, **38**(5): 305-315.
- Kumar, N., Mandal, A., 2018. Oil-in-water nanoemulsion stabilized by polymeric surfactant: Characterization and properties evaluation for enhanced oil recovery. *European Polymer Journal*, **109**: 265-276. Doi: 10.1016/j.eurpolymj.2018.09.058
- Laguna, L., Varela, P., Salvador, A., Sanz, T., Fiszman, S.M., 2012. Balancing texture and other sensory features in reduced fat short-dough biscuits. *Journal of Texture Studies*, **43**: 235-245.
- Lee, S., Inglett, G. E., 2006. Rheological and physical evaluation of jet-cooked oat bran in low calorie cookies. *International Journal of Food Science and Technology*, **41**: 553-559.
- Lourencetti, R. E., Benossi, L., Marques, D. R., Joia, B. M., Monteiro, A. R. G., 2013. Development of biscuit type cookie with partial replacement of fat by inulin. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, **2**(5): 261-265. Doi: 10.11648/j.ijnfs.20130205.18
- Low, L. K., NG, C. S., 2017. *Determination of peroxide value*. COI/T.20/Doc. No 35. Rev.1, Madrid, Spain.
- Ma, P., Zeng, Q., Tai, K., He, X., Yao, Y., Hong, X., Yuan, F., 2017 Preparation of curcumin-loaded emulsion using high pressure homogenization: Impact of oil phase and concentration on physicochemical stability. *LWT - Food Science and Technology*, **84**: 34-46. Doi: 10.1016/j.lwt.2017.04.074
- Manley, D., 2000. *Technology of Biscuits, Crackers and Cookies*. CRC Press, Boca Raton, FL, 499 s.
- Mate, J., Periago, P.M. and Palop, A., 2016. When nanoemulsified, D-limonene reduces *Listeria monocytogenes* heat resistance about one hundred times. *Food Control*, **59**: 824-828.
- Meral, R., 2011. *Fonksiyonel Öneme Sahip Doğal Bileşenlerin Hamur ve Ekmek Özellikleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi* (Doktora Tezi). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Meral, R., Doğan, İ. S., 2013. Grapeseed as a functional food ingredient in bread-making. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, **64**(3): 372-379.
- Meral, R., Erim Köse, Y., 2019. The effect of bread-making process on the antioxidant activity and phenolic profile of enriched breads. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, **11**(2): 171–181. Doi: 10.3920/QAS2018.1350
- Meral, R., Ceylan, Z., Kose, S., 2019. Limitation of microbial spoilage of rainbow trout fillets using characterized thyme oil antibacterial nanoemulsions. *Journal of Food Safety*, **39**(4). Doi: 10.1111/jfs.12644
- Mert, B., Demirkesen, I., 2016. Reducing saturated fat with oleogel/shortening blends in a baked product. *Food chemistry*, **199**: 809-816.
- Milani, J., 2019. *Some New Aspects of Colloidal Systems in Foods*. IntechOpen, 5, İran.

- Milićević, N., Sakač, M., Hadnađev, M., (Jambrec) Škrobot, D., Šarić, B., Dapčević H. T., Jovanov, P., Pezo, L., 2020. Physico-chemical properties of low-fat cookies containing wheat and oat bran gels as fat replacers. *Journal of Cereal Science*, **95**(1): 103056. Doi: 10.1016/j.jcs.2020.103056.
- Mokhtar, A. K., 2012. Use of response surface methodology to optimize the quality of reduced-fat biscuits containing banana puree as a fat replacer. *Alexandria Journal of food science and Technology*, **9**(2): 11-19. Doi: 10.21608/ajfs.2012.20220
- Mongillo, J. F., 2007. What is Nanotechnology. *Nanotechnology* **101**. ABC-CLIO: 1-28.
- Moriano, E. M., Cappa, C., Alamprese, C., 2018. Reduced-fat soft-dough biscuits: Multivariate effects of polydextrose and resistant starch on dough rheology and biscuit quality. *Journal of Cereal Science*, **81**: 171-178.
- Moriano, M.E., Cappa, C., Casiraghi, M. C., Ciappellano, S., Romano, A., Torri, L., Alamprese, C., 2019. Reduced-fat biscuits: Interplay among structure, nutritional properties and sensory acceptability. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie Food Science and Technology*, **109**: 467-474. Doi: 10.1016/j.lwt.2019.04.027
- Nonaka, H.H., 1997. Plant carbohydrate-derived products as fat replacers and calorie reducers. *Cereal Foods World*, **42**: 377-378.
- OECD, 2016. Tackling obesity would boost economic and social well-being. <https://www.oecd.org/health/tackling-obesity-would-boost-economic-and-social-well-being.htm> Son Erişim Tarihi: 17.03.2022.
- OECD, 2019. The heavy burden of obesity: The economics of prevention, OECD health policy studies. *OECD Publishing*, Paris, Doi: 10.1787/67450d67-en.
- Önder, K., 2016. Türkiye Bisküvi, Çikolata ve Şekerli Mamüller Sektörü Firma Yoğunlaşma Analizi. *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, **31**(2): 179-208.
- Özat, E., 2003. *Yağ İkame Edicilerin Bisküvi Üretiminde Kullanımı* (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Özdoğan, E., Demir, A., Seventekin, N., 2006. Nanotecnolgy and its applications in textile industry. *Textile and Apparel*, **16**(3): 159-168.
- Özkan, M., Kırca, A., Cemeroğlu, B., 2007. Gıdalara Uygulanan Bazı Özel Analiz Yöntemleri, Bölüm 3. *Gıda Analizleri* (Editör: Bekir Cemeroğlu). Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 34, Ankara. 535.
- Özkaya H., Seçkin, R., Ercan, R., 1984. Bazı bisküvi çeşitlerinin kimyasal özellikleri ile mineral ve vitamin içerikleri üzerinde araştırmalar. *Gıda*, **9**(5).
- Paciulli, M., Littardi, P., Carini, E., Paradiso, V. M., Castellino, M., Chiavaro, M., 2020. Inulin-based emulsion filled gel as fat replacer in shortbread cookies: Effects during storage. *LWT - Food Science and Technology*, **133**: 109888. Doi: 10.1016/j.lwt.2020.109888
- Pekkarinen, S. S., Stockmann, H., Schwarz, K., Heinonen, I. M., Hopia, A. I., 1999. Antioxidant activity and partitioning of phenolic acids in bulk and emulsified methyl linoleate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **47**(8): 3036-3043. Doi: 10.1021/jf9813236

- Pengon, S., Suchaoain, W., Limmatvapirat, C., Limmatvapirat, S., 2019. Development of nanoemulsions containing coconut oil with mixed emulsifiers: Effect of mixing speed on physical properties. **Key Engineering Materials**, **819**: 181-186. Doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.819.181
- Perker, Z. S., 2010. Nanoteknoloji ve yapı malzemesi alanına etkileri. **eJournal of New World Sciences Academy Engineering Sciences**, **5** (4): 639- 648.
- Premi, M., Sharma, H. K., 2017. Effect of different combinations of maltodextrin, gum arabic and whey protein concentrate on the encapsulation behavior and oxidative stability of spray dried drumstick (*Moringa oleifera*) oil. **International Journal of Biological Macromolecules**, **105**: 1232-1240.
- Ribeiro, H. S., Chu, B. S., Ichikawa, S. ve Nakajima, M., 2008. Preparation of nanodispersions containing β -carotene by solvent displacement method. **Food Hydrocolloids**, **22**(1): 12-17.
- Ribes, S., Fuentes, A., Talens, P., Barat, J. M., Ferrari, G., Dons, F., 2017. Influence of emulsifier type on the antifungal activity of cinnamon leaf, lemon and bergamot oil nanoemulsions against *Aspergillus Niger*. **Food Control**, **73**: 784-795. Doi: 10.1016/j.foodcont.2016.09.044
- Roco, M. C., Williams, R. S., Alivisatos, P., 1999. Nanotechnology research directions: IWGN workshop report. Vision for nanotechnology R&D in the next decade. **National Science and Technology Council Arlington VA., WTEC**, Loyola College in Maryland, 260 p.
- Rodríguez-García, J., Laguna, L., Puig, A., Salvador, A., Hernando, I., 2013. Effect of fat replacement by inulin on textural and structural properties of short dough biscuits. **Food and Bioprocess Technology**, **6**: 2739-2750.
- Rothwell, J., 1997. Sugars and other sweeteners for ice cream and other frozen desserts. **Ice Cream. IDF Symposium**, Athens, 18-19 Eylül 1997, s203.
- Rowayshed, G., Sharaf, A. M., El-Faham, S. Y., Ashour, M., Zaky, A. A., 2015. Utilization of potato peels extract as source of phytochemicals in biscuits. **Journal of Basic and Applied Research International**, **8**: 190–201.
- Saeed, S. M.G., Ali, S., Ali, R., Sayeed, S., Mobin, L., Ahmed, R., 2020a. Exploring the potential of black gram (*Vigna mungo*) flour as a fat replacer in biscuits with improved physicochemical, microstructure, phytochemicals, nutritional and sensory attributes. **SN Applied Sciences**, **2**: 2083 Doi: 10.1007/s42452-020-03797-6
- Saeed, S. M. G., Tayyaba, S., Ali, S. A., Tayyab, S., Sayeed, S. A., Ali, R., Mobin, L., Naz, S., 2020b. Evaluation of the potential of Lotus root (*Nelumbonucifera*) flour as a fat mimetic in biscuits with improved functional and nutritional properties, CyTA. **Journal of Food**, **18**(1): 624-634. Doi: 10.1080/19476337.2020.1812727
- Saeed, S. M., Ali, S. A., Ali, R., Naz, S., Sayeed, S. A., Mobin, L., Ahmed, R., 2020c. Utilization of *Vigna mungo* flour as fat mimetic in biscuits: Its impact on antioxidant profile, polyphenolic content, storage stability, and quality attributes. **Legume Science**, **2**. Doi: 10.1002/leg3.58.
- Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O., 2014. Impact of microfluidization or ultrasound processing on the antimicrobial activity against *Escherichia coli* of lemongrass oil-loaded nanoemulsions. **Food Control**, **37**: 292-297.

- Santiago-García, P. A., Mellado, E., León-Martínez, F., López M. G., 2017. Evaluation of *Agave angustifolia* fructans as fat replacer in the cookies manufacture. **LWT - Food Science and Technology**, **77**: 100–109. Doi: 10.1016/j.lwt.2016.11.028
- Sari, T. P., Mann, B., Kumar, R., Singh, R. R. B., Sharma, R., Bhardwaj, M., Athira, S., 2015. Preparation and characterization of nanoemulsion encapsulating curcumin, **Food Hydrocolloids**, **43**: 540-546
- Serin, S., 2012. **Karbonhidrat Bazlı Yağ İkame Maddelerinin Poğaçı Üretiminde Kullanımı** (Yüksek Lisans Tezi). MEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Serinyel, G., 2013. **Enzime Dirençli Nişastanın Yağ İkame Edici Özelliğinin Araştırılması** (Yüksek Lisans Tezi). SÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Serinyel, G., Öztürk, S., 2017. Investigation on potential utilization of native and modified starches containing resistant starch as a fat replacer in bakery products. **Starch Stärke**, **69**: 1–9.
- Steelman, G. M., Westman, E.C., 2016. **Obesity Evaluation and Treatment Essentials**. Florida, Taylor & Francis Group.
- Suksuwan, A., Arour, Z., Santiworakun, N., Dahlan, W., 2021. Preparation and characterization of black seed oil loaded solid lipid nanoparticles for topical formulations: A preliminary study. **AIP Conference Proceedings**, **2353**. Doi: 10.1063/5.0052706
- Şeker, T., Gökbulut, İ., Öztürk, S., Özbaş, Ö. Ö., Köksel, H., 2006. Enzime dirençli nişastanın bisküvi üretiminde kullanımı. **Türkiye 9. Gıda Kongresi**. 24-26 Mayıs 2006, Bolu.
- Şeker, I. T., Özboy-Özbaş, O., Gökbulut, I., Öztürk, S., Köksel, H., 2010. Utilization of apricot kernel flour as fat replacer in cookies. **Journal of Food Processing and Preservation**, **34**(1): 15–26. Doi: 10.1111/j.1745-4549.2008.00258.x
- Şenerkek, S., 2019. **Yağ İkamesi Olarak İnülin Kullanımının Bisküvi Kalitesi Üzerine Etkileri** (Yüksek Lisans Tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Tan, C. P., Che Man, Y. B., 2000. Differential scanning calorimetric analysis of edible oils: Comparison of thermal properties and chemical composition. **Journal of Oil & Fat Industries**, **77**: 143-155. Doi: 10.1007/s11746-000-0024-6
- Tarancón, P., Salvador, A., Sanz, T., 2013. Sunflower oil–water–cellulose ether emulsions as trans-fatty acid-free fat replacers in biscuits: Texture and acceptability study. **Food and Bioprocess Technology**, **6**: 2389–2398. Doi: 10.1007/s11947-012-0878-6
- Tarladgis, B. G., Watts, B. M., Younathan, M. T., Dugan, J. L., 1960. A distillation method for quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, **37**: 49-49.
- Tartof, S., Qian, L., Hong, V., Wei, R., Nadjafi, R., Fischer, H., Li, Z., Shaw, S., Caparosa, S., Nau, C., Saxena, T., Rieg, G., Ackerson, B., Sharp, A., Skarbinski, J., Naik, T., Murali, S., 2020. Obesity and mortality among patients diagnosed with COVID-19: Results from an integrated health care organization. **Annals of Internal Medicine**, **173**. Doi: 10.7326/M20-3742.
- Teixeira, M. C., Severino, P., Andreani, T., Boonme, P., Santini, A., Silva, A. M., Souto, E. B., 2017. D- α -tocopherol nanoemulsions: Size properties, rheological behavior, surface tension, osmolarity and cytotoxicity. **Saudi Pharmaceutical Journal**, **25**(2): 231–235. Doi: 10.1016/j.jsps.2016.06.004

- Thomas, J., Jerobin, J., Seelan, T.S.J., Thanigaivel, S., Vijakakumar, S., Mukherjee, A., Chandrasekaran, N., 2013. Studies on pathogenecity of *Aeromonas salmonicida* in catfish clarias batrachus and control measures by neem nanoemulsion. *Aquaculture*, **396**: 71-75
- TÜİK, 2020. Türkiye Sağlık Araştırması, 2019. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Turkey-Health-Survey-2019-33661> Erişim tarihi: 17.03.2022
- Tyagi, S. K., Manikantan, M. R., Harinder, S. O., Kaur, G., 2007. Effect of mustard flour incorporation on nutritional, textural and organoleptic characteristics of biscuits. *Journal of Food Engineering*, **80**: 1043-1050.
- Uyar, M., 2021. *Besinsel Lifler ve Yağ İkame Maddelerinin Kullanımı ile Enerjisi Kısıtlanmış Bisküvi Üretimi* (Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ünal, S. S., Özer, Ç., Olcay, M., 1996. Farklı tipteki bisküvilerin bazı kalite nitelikleri. **2. Un, Bulgur ve Bisküvi Sempozyumu**. 28-30 Mayıs 1996, Karaman, Türkiye. 197-206.
- Wang, X., Jiang, Y., Wang, Y. W., Huang, M. T., Ho, C. T., Huang, Q., 2008. Enhancing anti-inflammation activity of curcumin through O/W nanoemulsions. *Food Chemistry*, **108**(2): 419-424.
- Wekwete, B., Navder, K., 2008. Effects of avocado fruit puree and Oatrim as fat replacers on the physical, textural and sensory properties of oatmeal cookies. *Journal of Food Quality*, **31**: 131-141. Doi: 10.1111/j.1745-4557.2008.00191.x.
- Xin, J.H., 2006. *Nanotechnology for Textiles and Apparel*. The Hong Kong Polytechnic University, Institute of Textiles & Clothing, www.itc.gov.hk/innotech/IFT R&D Center Conference.pdf (2010).
- Yalçın, S., 2017. Determination of quality characteristic of biscuits including ground Yellow Poppy Seed as fat replacer. *International Journal of Secondary Metabolite*, **2**: 406-411 . Doi: 10.21448/ijsm.375105
- Yalçın, S., Maden, B., 2017. Quality characteristics of noodle including ground Yellow Poppy Seed . *International Journal of Secondary Metabolite*, **1**: 312-318. Doi: 10.21448/ijsm.373459
- Yashini M., Sahana S., Hemanth S. D., Sunil C. K., 2021. Partially defatted tomato seed flour as a fat replacer: effect on physicochemical and sensory characteristics of millet-based cookies. *Journal of Food Science and Technology*, **58**(12): 4530-4541. Doi: 10.1007/s13197-020-04936-y.
- Yılmaz, A., Meral, R., Kabli, M., Ermis, E., Akman, P.K., Dertli, E., Taylan, O., Sagdic, O., Yılmaz, M.T., 2021. Fabrication and characterization of bioactive nanoemulsion-based delivery systems. *Emerging Materials Research*, **10**(3): 265-271. Doi: 10.1680/jemmr.20.00280
- Zaky, A. A., Mohsen, F., Ashour, M., Asiamah, E., Ashour, F., Sharaf, A., 2020. Utilization of grape pomace extract as a source of natural antioxidant in biscuits. *European Academic Research*, **8**: 108–26.
- Zhang, M., Zhang, R. F., Zhang, F. X., Liu, R. H., 2010. Phenolic profiles and antioxidant activity of black rice bran of different commercially available varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **58**: 7580–7587.
- Zoulias, E. L., Oreopoulou, V., Tzia, C., 2000. Effect of fat mimetics on physical, textural and sensory properties of biscuits. *International Journal of Food Properties*, **3**: 385-397.

- Zoulias, E. L., Oreopoulou, V., Kounalaki, E., 2002a. Effect of fat and sugar replacement on cookie Properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **82**: 1637-1644.
- Zoulias, E. L., Oreopoulou, V., Tzia, C., 2002b. Textural properties of low-fat cookies containing carbohydrate- or protein-based fat replacers. *Journal of Food Engineering*, **55**: 337-342.



EKLER DİZİNİ

Ek 1. Duyusal değerlendirme formu

DUYUSAL ANALİZ FORMU

Ad Soyad :
Ürün Kodu :

ÜRÜN ÖZELLİĞİ/PUAN	1	2	3	4	5
Renk					
Kesit yapısı					
Gevreklik					
Yağlılık hissi					
Tat					
Aroma					
Genel Beğeni					

*** Puan verirken 1,2,3,4,5 rakamlarına karşılık gelecek şekilde 'X' işareti kullanınız.

- Hiç beğenmedim
- Beğenmedim
- Orta derecede beğendim
- Beğendim
- Çok beğendim

SATIN ALINABİLİRLİK	X
Kesinlikle satın alırım	
Satın alırım	
Kararsızım	
Satın almam	
Kesinlikle satın almam	

*** Bu kısımda 'X' işareti kullanınız.

Katılımınız için teşekkür ederim.



ÖZ GEÇMİŞ

Mehmet Mustafa EKİN, ilk, orta ve lise eğitimini Ankara’da tamamladı. 2005 yılında başladığı Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü’nden 2009 yılında mezun oldu. 2019 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı.



VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih:11/05 /2022

Tez Başlığı / Konusu:

Çeşitli Yağlarla Üretilen Nanomateryallerin Karakterizasyonu ve Diyet Bisküvi Üretiminde Kullanımı

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 81 sayfalık kısmına ilişkin, 11/05/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % (yüzde oniki) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Materyal ve yöntem hariç,
- Kaynaklar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Mehmet Mustafa EKİN

Öğrenci No: 19910001017

Anabilim Dalı: Gıda Mühendisliği

Programı: Gıda Mühendisliği

Statüsü: ☒ Yüksek Lisans

☐ Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

Doç. Dr. Raciye MERAL

ENSTİTÜ ONAY
UYGUNDUR