



**NANO BENTONİT İÇERİKLİ POLİLAKTİK
ASİT (PLA) KAPAK AMBALAJ FİLMİNİN
ZEYTİNYAĞININ FİZİKOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beyza Nur ÇUBUK

Danışman

Doç. Dr. Erman DUMAN

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2024

**AFYON KOCATEPE
ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**NANO BENTONİT İÇERİKLİ POLİLAKTİK ASİT (PLA) KAPAK
AMBALAJ FİLMİNİN ZEYTİNYAĞININ FİZİKOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Beyza Nur ÇUBUK

Danışman

Doç. Dr. Erman DUMAN

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Beyza Nur ÇUBUK tarafından hazırlanan “Nano Bentonit İçerikli Polilaktik Asit (PLA) Kapak Ambalaj Filminin Zeytinyağının Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 19 / 07 / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Erman DUMAN

Başkan : Prof. Dr. Atilla EVCİN
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Erman DUMAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Recep PALAMUTOĞLU
Afyon Kocatepe Sağlık Bilimleri Üniversitesi,
Sağlık Bilimleri Fakültesi

..... İmza

..... İmza

..... İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

..... /..... /..... tarih ve

.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

24 / 07 / 2024

İmza

Beyza Nur ÇUBUK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NANO BENTONİT İÇERİKLİ POLİLAKTİK ASİT (PLA) KAPAK AMBALAJ FİLMİNİN ZEYTİNYAĞININ FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Beyza Nur ÇUBUK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Erman DUMAN

Bu araştırma kapsamında, nano bentonit içerikli polilaktik asit kapak ambalaj filminin (BPLAKAF) natürel sızma zeytinyağının fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çevre dostu ve biyobozunur özellikleri ile dikkat çeken BPLAKAF, zeytinyağının depolama süresi boyunca kalite ve tazeliğini koruma potansiyeli açısından değerlendirilmiştir. Araştırma, nano bentonit üretimi, BPLAKAF üretimi ve bu filmin zeytinyağı depolamasında kapak ambalajı olarak kullanımı olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda, nano bentonitin XRF analizi ile baskın bileşenleri %65,53 SiO₂, %16,63 Al₂O₃ %6,22 KK ve %4,21 Fe₂O₃ olarak tespit edilmiştir. BPLAKAF'ın kalınlığı 200 mikrometre olarak belirlenmiş ve Enerji Dağılımı X-Işını Analizi sonucunda baskın elementler karbon, oksijen, silisyum ve alüminyum olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, BPLAKAF'ın görünür yağ sızdırmadığı gözlenmiştir. Diğer taraftan, BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının serbest yağ asitliği, peroksit sayısı, iyot sayısı, renk, refraktif indeks, viskozite, oksidatif stabilite sonuçları sırasıyla 0-6 aylık dönemde %0,46-0,46, 2,94-3,56 meq O₂/kg, 85,11-82,84 gI₂ /100g, 2,1K/70S-3,2K/70S,1,4684-1,4689, 101-85 mPa ve 5,92-7,78h olarak belirlenmiştir. Kontrol grubu olarak kullanılan plastik kapak ambalajlı zeytinyağında ise yine aynı analizler

sırasıyla ve aynı dönemde %0,46-0,48, 2,94-3,82 meq O₂/kg, 85,11-83,02 gI₂ /100g, 2,1K/70S-3,6K/70S, 1,4684-1,4719, 101-80 mPa ve 5,92-7,78h olarak tespit edilmiştir.

BPLAKAF ve kontrol grubu plastik kapak ambalajı kullanılarak depolanmış zeytinyağlarının yağ asitleri kompozisyonu açısından depolama süresi boyunca Türk Gıda Kodesksi natürel sızma zeytinyağı yağ asitleri kompozisyonu spesifikasyonları içerisinde kaldığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak, üretilen BPLAKAF ile ambalajlanmış natural sızma zeytinyağının, fizikokimyasal özelliklerini ve oksidatif stabilitesini koruduğu, serbest yağ asitliği ve peroksit sayısı değerlerinin gıda olarak tüketilebilirlik kriterlerine uygun olduğu ve sürdürülebilir, doğa dostu özellikleri ile zeytinyağı teknolojisinde kapak ambalaj filmi olarak kullanılabilir olduğu belirlenmiş olup, kapak ambalaj yerine ileriki çalışmalarda tüm ambalajın bu malzemedan üretilip kullanılabilirliğinin araştırılmasında tavsiye edilmektedir.

2024, xiv + 63 sayfa

Anahtar Sözcükler: Polilaktik asit, nano bentonit, nanoteknoloji, zeytinyağı, fiziko-kimyasal özellikler.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE EFFECT OF NANO BENTONITE-CONTAINING POLY-LACTIC ACID (PLA) CAP PACKAGING FILM ON THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF OLIVE OIL

Beyza Nur ÇUBUK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Nanoscience and Nanotechnology

Supervisor: Assoc. Prof. Erman DUMAN

Within the scope of this research, the effect of nano bentonite-containing polylactic acid lid packaging film (BPLAKAF) on the physicochemical properties of extra virgin olive oil was investigated. BPLAKAF, which attracts attention with its environmentally friendly and biodegradable properties, was evaluated in terms of its potential to maintain the quality and freshness of olive oil throughout the storage period. The research was carried out in three stages: the production of nano bentonite, the production of BPLAKAF and the use of this film as a cover package for olive oil storage.

As a result of the analysis, the dominant components of nano bentonite were determined by XRF analysis as 65,53% SiO₂, 16,63% Al₂O₃, 6,22% KK and 4,21% Fe₂O₃. The thickness of BPLAKAF was determined as 200 micrometers and the dominant elements were determined as carbon, oxygen, silicon and aluminum by Energy Distribution X-Ray Analysis. It was also observed that BPLAKAF does not leak visible oil. On the other hand, the results of free fatty acidity, peroxide number, iodine number, color, refractive index, viscosity, oxidative stability of olive oil packaged with BPLAKAF were 0,46-0,46%, 2,94-3,56 meq O₂/kg, 85,11-82,84 gI₂ /100g, 2,1K/70S-3,2K/70S in 0-6 month period, respectively, 1,4684-1,4689, 101-85 mPa and 5,92-7,78h. In the olive

oil with plastic cap packaging used as the control group, the same analyzes were 0,46-0,48%, 2,94-3,82 meq O₂/kg, 85,11-83,02 gI₂ /100g, 2,1K/70S-3,6K/70S, respectively and in the same period, 1,4684-1,4719, 101-80 mPa and 5,92-7,78h.

It was determined that the fatty acid composition of olive oils stored using BPLAKAF and control group plastic cap packaging remained within the Turkish Food Codex specifications for fatty acid composition of extra virgin olive oil throughout the storage period.

As a result, it was determined that the extra virgin olive oil packaged with BPLAKAF preserved its physicochemical properties and oxidative stability, free fatty acidity and peroxide number values were in accordance with the criteria for food consumption, and it can be used as a cover packaging film in olive oil technology with its sustainable and environmentally friendly properties, and it is recommended to investigate the use of this material for the whole amabalage in future studies instead of cover packaging.

2024, xiv + 63 pages

Keywords: Polylactic acid, nano bentonite, nanotechnology, olive oil, physico-chemical properties.

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana gösterdiği sabır, yol göstericiliği ve bilgi birikimi ile sadece akademik değil, kiŐisel geliŐimime de bŸyŸk katkılar sağlayan; her zaman arkamda olduğunu bildiğim ve bana gerček bir rehber olan çok kıymetli danıŐmanım Doç. Dr. Erman DUMAN'a, desteklerinden dolayı Prof. Dr. Atilla EVCİN ve Doç. Dr. Hakan ÇİFTÇİ'ye sonsuz teŐekkŸr ederim.

Bu gŸnlere gelmemi sağlayan ve her zaman yanımda olan canım annem Hatice ÇUBUK, canım babam Ramazan ÇUBUK, biricik ablam Őeyma ÇUBUK ve bu tezi yazarken vefat eden rahmetli babanem Satı ÇUBUK ve dedem Hasan HŸseyin ÇUBUK'a,

Her zaman yanımda olan ve bana gŸ veren canım arkaŐlarım Merve ÇELİKKAYA, AyŐe ÇAKAL ve Gıda MŸhendisi Selver Hazal KŸK'e sonsuz teŐekkŸr ederim.

Beyza Nur ÇUBUK

Afyonkarahisar, 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ixx
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
RESİMLER DİZİNİ	xivv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
2.1 Nanoteknoloji.....	3
2.1.1 Nanoteknoloji Tanımı	3
2.1.2 Nanoteknolojinin Tarihçesi ve Gıda Endüstrisindeki Uygulamaları	4
2.1.3 Nanokompozit Malzemeler ve Biyobozunur Ambalajlar	5
2.2 Polilaktik Asit (PLA).....	7
2.3 Bentonit.....	9
2.4 Nişasta.....	12
2.5 Kitosan	14
2.6 Zeytinyağı ve Ambalajlanması	16
3. MATERYAL ve METOT	19
3.1 Materyal	19
3.1.1 Nano Bentonit Üretimi.....	19
3.1.2 Nanobentonit İçerikli Polilaktik Asit Kapak Ambalaj Filmi (BPAKAF) Üretimi.....	20
3.1.3 Zeytinyağının Depolanması	20
3.2 Deneysel Metotlar	21
3.2.1 Nano Bentonite Yapılan Analizler	21
3.2.1.1 X-Işınları Floresans Spektroskopisi (XRF) Analizi	21
3.2.2 BPLAKAF'a Yapılan Analizler	21

3.2.2.1 Görünür Yağ Sızdırmazlığı ve Mikroskop Görüntüleri	21
3.2.2.2 Çekme-Dayanım Analizi	22
3.2.2.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS) Analizi	22
3.2.3 Zeytinyağında Yapılan Analizler	22
3.2.3.1 Serbest Yağ Asitliği Analizi.....	22
3.2.3.2 Peroksit Sayısı Tayini.....	23
3.2.3.3 İyot Sayısı Tayini	24
3.2.3.4 Renk Tayini	24
3.2.3.5 Refraktif İndeks Tayini	24
3.2.3.6 Viskozite Tayini	25
3.2.3.7 Oksidatif Stabilite.....	25
3.2.3.8 Yağ Asitleri Kompozisyonu.....	25
3.2.3.9 İstatiksel Analiz	26
4. BULGULAR	27
4.1 Nano Bentonitin Özellikleri.....	27
4.1.1 Üretilen Nano Bentonitin XRF Analiz Sonuçları	27
4.2 Nano bentonit İçerikli Polilaktik Asit Kapak Ambalaj Filmi (BPLAKAF) Özellikleri.....	28
4.2.1 Görünür Yağ Sızdırmazlığı ve Mikroskop Görüntü Analizleri	28
4.2.2 Çekme-Dayanım Değeri.....	29
4.2.3 Taramalı Elektron Mikroskobu ve Enerji Dağılım Spektroskopisi.....	29
4.3 Zeytinyağının Özellikleri.....	31
4.3.1 Serbest Yağ Asitliği	31
4.3.2 Peroksit Sayısı.....	32
4.3.3 İyot Sayısı	33
4.3.4 Renk	34
4.3.5 Refraktif İndeks.....	35
4.3.6 Viskozite	36
4.3.7 Oksidatif Stabilite	37
4.3.8 Yağ Asitleri Kompozisyonu.....	38

5. TARTIŞMA ve SONUÇ	42
6. KAYNAKLAR.....	49
7. ÖZGEÇMİŞ.....	63



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
≈	Yaklaşık
°C	Santigrat
μ	Mikro
μL	Mikrolitre
μm	Mikrometre
3d	Üç Boyutlu
Al	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
BaO	Baryum oksit
CaO	Kalsiyum oksit
Cl	Klor
cps/eV	Counts per second per electron volt (Elektron volt başına saniye başına sayım)
eV	Elektron Volt
F	Flor
Fe ₂ O ₃	Demir oksit
g	Gram
gI ₂ /100g	100 gram yağ başına gram iyot
h	Saat
H ₂	Yanıcı gaz
H ₂ O	Su
I	İyot
K	Kırmızı renk değeri
K ₂ O	Potasyum oksit
keV	Kiloelektron Volt
kg	Kilogram
KI	Potasyum İyodür
M	Oleik asidin mol kütlesi
M	Molar
mL	Mililitre
m ²	Metrekare
meq	Miliequivalent
Mg	Magnezyum
MgO	Magnezyum oksit
mm	Milimetre
MnO	Mangan oksit
MPa	Megapaskal
mPa	Milipaskal
N	Normalite
N ₂	Taşıyıcı gaz
Na	Sodyum
Na ₂ O	Sodyum Oksit
NaOH	Sodyum Hidroksit

Simgeler (Devam)

Nb ₂ O ₅	Niobyum oksit
N.m	Newton-metre (Tork)
nD	Refraktif indeks
nm	Nanometre
O ₂	Oksijen
P ₂ O ₅	Fosfor oksit
PbO	Kurşun oksit
ppm	Milyonda Bir
Rb ₂ O	Rubidyum oksit
RPM	Dakikadaki Devir Sayısı
S	Sarı renk değeri
Si	Silisyum
SiO ₂	Silikon dioksit
SO ₃	Kükürt trioksit
SrO	Stronsiyum oksit
ThO ₂	Toryum dioksit
TiO ₂	Titanyum dioksit
V	Titrasyon için harcanan NaOH hacmi (mL)
V ₁	Numune titrasyonu için harcanan sodyum tiyosülfat çözeltisi hacmi (mL)
V ₂	Boş titrasyon için harcanan sodyum tiyosülfat çözeltisi hacmi (mL)
Zn	Çinko
ZnO	Çinko oksit
ZrO ₂	Zirkonyum dioksit
W	Numune ağırlığı (g)

Kısaltmalar

ABS	Akrilonitril Butadien Stiren
AFM	Atomic Force Mikroskop
Ağ.	Ağırlık
AOCS	American Oil Chemists' Society
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Derneği
BNNS	Bor Nitrür Nano Levhalar
BPLAKAF	Nano Bentonit İçerikli Polilaktik Asit Kapak Ambalaj Filmi
CNF	Selüloz Nanofiber
CZ	Mısır Zein
DAL	Doğaltaş Analiz Laboratuvarı
Dk	Dakika
Doç.	Doçent
Dr	Doktor
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
EDS	Enerji Dağılım Spektroskopisi
FDM	Eriyik Yiğma Modellemesi
GC	Gaz Kromatografisi
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen

Kısaltmalar (Devam)

HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
İnt.	İnternet
K	Kırmızı Renk Değeri
KK	Kızdırma Kaybı
Kyn.	Kaynak
LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen
NNI	Ulusal Nanoteknoloji Girişimi
OTR	Oksijen Geçirgenlik Oranı
PET	Polietilen Tereftalat
PKA	Plastik Kapak Ambalajı
PLA	Polilaktik Asit
PP	Polipropilen
PVA	Polivinil Alkol
PVOH	Polivinil Alkol
S	Sarı Renk Değeri
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SPI	Soya Protein İzolatı
STM	Tarayıcı Tünelleme Mikroskobu
Ted.	Tespit Edilemedi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TUAM	Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
vd.	Ve Diğerleri
XRF	X-Işınları Floresans Spektroskopisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Karşılaştırılan Nanomalzemelerin Boyutlarını Gösteren Uzunluk Grafiği.	3
Şekil 2.2 2:1 Katmanlı Silikatların Yapısı.....	6
Şekil 2.3 Polilaktik Asit Hazırlanması.....	9
Şekil 2.4 Nano Bentonitin Atomik Kuvvet Mikroskobu Görüntüsü.....	11
Şekil 2.5 Nişasta Granülü İçinde Bulunan Amiloz ve Amilopektinin Kimyasal Yapısı ...	14
Şekil 2.6 Kitosanın Kimyasal Yapısı.....	16
Şekil 4.1 BPLAKAF'ın Element Kompozisyonu.....	30



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Gaz kromatografisi çalışma koşulları.....	26
Çizelge 4.1 Nano bentonit X-ışınları floresans spektroskopisi değeri	27
Çizelge 4.2 BPLAKAF çekme-dayanım analizi değeri	29
Çizelge 4.3 BPLAKAF SEM/EDS nokta değeri.....	30
Çizelge 4.4 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının serbest yağ asitliği değeri	31
Çizelge 4.5 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının peroksit değeri.....	32
Çizelge 4.6 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının iyot sayısı değeri.....	33
Çizelge 4.7 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının renk tayini değeri.....	34
Çizelge 4.8 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının refraktif indeks değeri.....	35
Çizelge 4.9 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının viskozite değeri.....	36
Çizelge 4.10 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının oksidatif stabilite değeri	37
Çizelge 4.11 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu zeytinyağlarının doymuş yağ asitleri değeri.....	38
Çizelge 4.12 BPLAKAF'lı zeytinyağlarının doymuş yağ asitleri değeri	39
Çizelge 4.13 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu zeytinyağlarının doymamış yağ asitleri değeri.....	40
Çizelge 4.14 BPLAKAF'lı zeytinyağlarının doymamış yağ asitleri değeri	41

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Nano Bentonit Üretimi.....	19
Resim 3.2 BPLAKAF Üretimi.....	20
Resim 3.3 Üretilen BPLAKAF'ın zeytinyağının depolanmasında kapak ambalajı olarak kullanımı.....	20
Resim 4.1 BPLAKAF'ın görünür yağ sızdırmazlığı testinin dış kısmındaki ve mikroskop görüntüleri	28
Resim 4.2 BPLAKAF'ın 200 µm değerinde SEM görüntüleri.....	29



1. GİRİŞ

Çeşitli araştırmalar, her yıl yaklaşık olarak 1,3 milyar ton gıdanın, gıda tedarik sürecinde kullanılamaz hale geldiğini göstermektedir. Gıda ambalajları, bu kayıpların önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır; zira gıda ambalajları, gıdaları dış etkenlere karşı koruyarak, tüketicilere sağlıklı ve güvenilir bir şekilde ulaşmalarını sağlamaktadır. Bu nedenle, gıda ambalajlama, sürekli olarak gelişen ve her zaman daha fazlasını sunmak için ilerleyen bir sektör olarak kabul edilmektedir (Ma vd. 2022, Barage vd. 2022).

Gıda ambalajları, gıda ürünlerini fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmalara karşı korumanın yanı sıra depolama ve taşıma süreçlerinde gıda güvenliğini sağlayarak gıda ürünlerinin kalitesini muhafaza etmekte ve raf ömrünü uzatmaktadır (Sharma vd. 2020). Tüketicilerin yaşam tarzındaki değişiklikler ve perakende uygulamalarındaki modern yaklaşımlar, gıda güvenliği ve kalitesinin korunmasında yenilikçi ambalaj tekniklerinin kullanımını teşvik etmektedir (Majid vd. 2018). Gıda endüstrisinde, plastik malzemelerin düşük gaz ve nem geçirgenliği özelliklerine sahip olmaları, aynı zamanda düşük maliyetli ve hafif olmaları nedeniyle yaygın bir şekilde tercih edildiği bilinmektedir. Ancak, plastik malzemelerin biyolojik olarak parçalanamaz olmaları çevre kirliliği riskini artırmaktadır. Günümüzde, sürdürülebilir ambalaj teknolojilerinin geliştirilmesiyle birlikte, bozunabilir özelliklere sahip plastik malzemelerin yerini alacak biyobozunur malzemelere yönelik ilgi artmaktadır. Bu bağlamda, ambalaj malzemesi seçiminde ve geleneksel ambalajların dezavantajlarını aşma çabalarında, aktif ve akıllı ambalajların geliştirilmesine önem verilmektedir (Barage vd. 2022).

Petrol esaslı plastik ambalaj malzemelerinin tüketici sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri ve çevresel zararlarının farkındalığı arttıkça, bu tür ambalaj malzemelerine olan talep azalmaktadır. Bu durum, çevre dostu biyopolimerlerin tercih edilmesine yol açmaktadır. Biyopolimerler, biyobozunur özellikleri ve insan sağlığı için güvenli olmalarıyla plastik ambalaj malzemelerine alternatif olarak görülmektedir (Atta vd. 2022). Bu biyoesaslı ambalajların üretiminde doğal biyopolimerlerden olan nişasta, selüloz, kitosan, gluten gibi malzemelerin yanı sıra sentetik biyobozunur polimerlerden olan polilaktit,

poliglikolik asit, polivinil alkol gibi malzemeler de kullanılmaktadır (Lamabam vd. 2018).

Gıda ambalajlama sistemleri, gıda güvenliğinin ve kalitesinin artırılması hedefiyle çeşitli teknolojilerden faydalanmaktadır. Bu teknolojilerden biri de nanoteknolojidir. Nanoteknoloji; gıda ürünlerinin ambalajlanmasında umut vaat eden yenilikçi bir teknolojidir (Gabal vd. 2022). Bu teknoloji, 1-100 nanometre boyutlarındaki bir veya daha fazla boyuta sahip olan nanomalzemelerin üretimini, karakterizasyonunu ve kullanımlarını içermektedir (Cerqueira vd. 2018). Maddenin nano boyutlarda ölçülmesi, kimyasal ve mekanik özelliklerinde belirgin değişikliklere yol açmakta, bu da daha etkin bileşiklerin oluşmasına olanak tanımakta ve dolayısıyla daha az miktarlarda materyalin daha etkin bir şekilde kullanılabilmesini sağlamaktadır (Yılmaz vd, 2021). Aktif ambalajlama sistemlerinde nanomalzemelerin dahil edilmesi, ambalajların fizikokimyasal özelliklerini geliştirebilmekte ve antimikrobiyal, antioksidatif özellikler ekleyerek ambalajların işlevselliğini artırmaktadır. Akıllı ambalajlama sistemlerinde, nanomalzemelerin kullanımı, akıllı etiketlerin ve sensörlerin geliştirilmesine katkı sağlayabilmektedir. Biyoesaslı ambalajlama sistemlerinde, nanomalzemelerin kullanımı çevre dostu ve biyobozunur ambalajların üretilmesine olanak tanımakta, bu da düşük atık oluşumuna ve biyoyumlu ambalajlara yönelik çabaları desteklemektedir. (Primožič vd. 2021).

Nanoteknoloji gıda sektöründe, yeni fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesi, yeni ambalaj ürünlerinin geliştirilmesi, biyoaktif maddelerin taşınması ve kontrollü salınımı gibi alanlarda kullanılmaktadır. Biyoesaslı nanokopozitler, nano ölçekli dolgu malzemelerinin biyopolimerlere eklenmesi sonucu oluşturulmaktadır. Böylece gıda ambalajlanmasında kullanımı sınırlı olan biyopolimer filmlerin yapıları güçlendirilmektedir. Nanoteknolojinin biyopolimerlere uygulanması sonucunda ambalaj malzemelerinin özelliklerini geliştirdiği ve maliyetlerini azalttığı bildirilmektedir (Sorrentino vd. 2007).

Bu bilgiler ışığında, bu çalışmanın amacı, üretilen nano bentonit içerikli polilaktik asit kapak ambalaj filminin (BPLAKAF), depolama süresince zeytinyağının fiziko-kimyasal özellikleri üzerine etkisini incelemek olmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

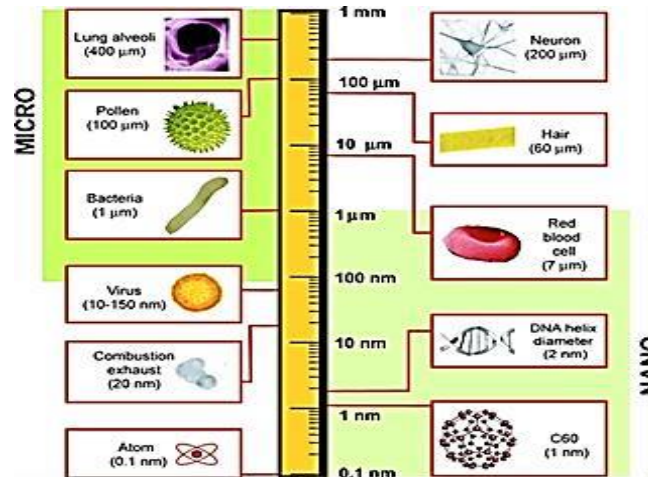
2.1 Nanoteknoloji

2.1.1 Nanoteknoloji Tanımı

Nanoteknoloji, maddeyi atomik ve moleküler seviyelerde kontrol etme ve kullanma bilimidir. Bu teknoloji, 1 ila 100 nanometre aralığındaki ölçeklerde malzemeler ve cihazlar üretmeyi ve kontrol etmeyi içermektedir. Bir nanometre, bir metrenin milyarda biri ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) olup, insan saçının genişliğinin yaklaşık 80.000'de biri kadardır (Bhushan, 2004).

Nanoteknoloji, malzemelerin ve cihazların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirme potansiyeline sahiptir. Bu teknoloji, tıp, elektronik, enerji, çevre ve tarım gibi birçok alanda devrim niteliğinde gelişmelere yol açmaktadır. (Ratner ve Ratner, 2003).

Tarımda pestisitlerin verimli dağıtımı, bitki büyümesini artıran nanogübreler gibi uygulamalara sahiptir. Gıda sektöründe ise gıdaların raf ömrünü uzatan ambalaj malzemeleri, besin değerini artıran katkı maddeleri ve gıda güvenliğini sağlayan sensörler gibi nanoteknoloji uygulamaları bulunmaktadır (Dresselhaus vd. 2001).



Şekil 2.1 Karşılaştırılan nanomalzemelerin boyutlarını gösteren uzunluk grafiği (Buzea vd. 2007).

2.1.2 Nanoteknolojinin Tarihi ve Gıda Endüstrisindeki Uygulamaları

Nanoteknolojinin temelleri, Nobel ödüllü fizikçi Richard Feynman'ın 1959 yılında Amerikan Fizik Derneği toplantısında yaptığı "There's Plenty of Room at the Bottom" başlıklı konuşmasıyla bildirilmiştir (Feynman, 1960).

"Nanoteknoloji" terimi ilk olarak Japon bilim insanı Norio Taniguchi tarafından 1974 yılında kullanılmıştır. Taniguchi, bu terimi, nanometre ölçeğinde işleme tekniklerini tanımlamak için kullanmıştır (Taniguchi, 1974). 1980'lerde, nanoteknoloji alanı Eric Drexler'in çalışmalarıyla ivme kazanmıştır. Drexler, 1986 yılında yayımlanan "Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology" adlı kitabında, atomik hassasiyetle çalışabilen nanoskopik makinelerin potansiyelini detaylandırmıştır (Drexler, 1986).

1986 yılında geliştirilmiş olan Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve Tarayıcı Tünelleme Mikroskobu (STM) gibi ileri mikroskopi teknikleri, atomik düzeyde gözlem yapma ve düzenleme yeteneğini mümkün kılmıştır. Bu teknolojiler, nanoteknolojinin araştırma ve uygulama alanında büyük bir atılım sağlamıştır (Binnig ve Rohrer, 1986). 2000 yılında, ABD hükümeti nanoteknoloji araştırmalarını desteklemek ve bu alandaki gelişmeleri teşvik etmek amacıyla Ulusal Nanoteknoloji Girişimi'ni (NNI) başlatmıştır. Bu girişim, nanoteknoloji araştırmalarına önemli finansman sağlamış ve bu alanın hızlı ilerlemesine katkıda bulunmuştur (House, 2000).

Gıda sektöründe nanoteknolojinin kullanımı 2000'li yılların başında önem kazanmaktadır. İlk çalışmalar, gıda paketlenme ve güvenliği üzerine yoğunlaşmakta ve nanomalzemelerle antimikrobiyal kaplamalar, akıllı ambalajlar ve gıda kalitesini izleyen sensörler üretilmektedir. Ayrıca, nano-kapsülleme teknolojisi vitamin ve mineral eklemeyi kolaylaştırmakta, nano-partiküller gıdaların raf ömrünü uzatmakta ve antimikrobiyal nano-bileşikler gıda ambalajlarında mikrobiyal kontaminasyonu azaltmaktadır (Weiss vd. 2006, Silvestre vd. 2011). Örneğin, nano-gümüş ve nano-çinko oksit gibi antimikrobiyal nanopartiküller, ambalaj malzemelerine eklenerek bakteri ve mantar gelişimini önlemektedir (Sorrentino vd. 2007).

2.1.3 Nanokompozit Malzemeler ve Biyobozunur Ambalajlar

Nanokompozitler, polimer matrisler içinde dağıtılmış nanometre ölçeğindeki dolgular içerir. Bu nanodolgular, malzemelerin mekanik dayanıklılığını, bariyer özelliklerini ve termal stabilitesini artırır. Gıda ambalajlarında kullanılan yaygın nanodolgular arasında kil, silika, gümüş nanopartiküller, çinko oksit nanopartiküller ve karbon nanotüpler yer almaktadır. Kil nanopartiküller, polimer nanokompozitlerde yaygın olarak kullanılmakta ve oksijen ile su buharı geçirgenliğini azaltarak gıdaların raf ömrünü uzatmaktadır. Biyobozunur ambalajlar, çevresel sürdürülebilirliği artırmak için önemli bir alternatif sunmaktadır. Bu ambalajlar, biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerden yapılmakta ve geleneksel plastik ambalajlara göre çevreye daha az zarar vermektedir. Biyobozunur nanokompozitler, biyobozunur polimerler ve nanodolguların kombinasyonu ile elde edilmektedir (Rhim vd. 2013).

Biyobozunur nanokompozitlerin kullanımı, plastik atıkların azaltılmasına katkıda bulunurken, gıda güvenliği ve kalitesini de artırmaktadır. Bu yenilikçi ambalaj malzemeleri, geri dönüştürülebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir yapıları sayesinde çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir. Ekonomik olarak, biyobozunur ambalajların, uzun vadede atık yönetim maliyetlerini azalttığı ve çevresel düzenlemelere uyumu kolaylaştırdığı bilinmektedir (Chaudhry ve Castle, 2011).

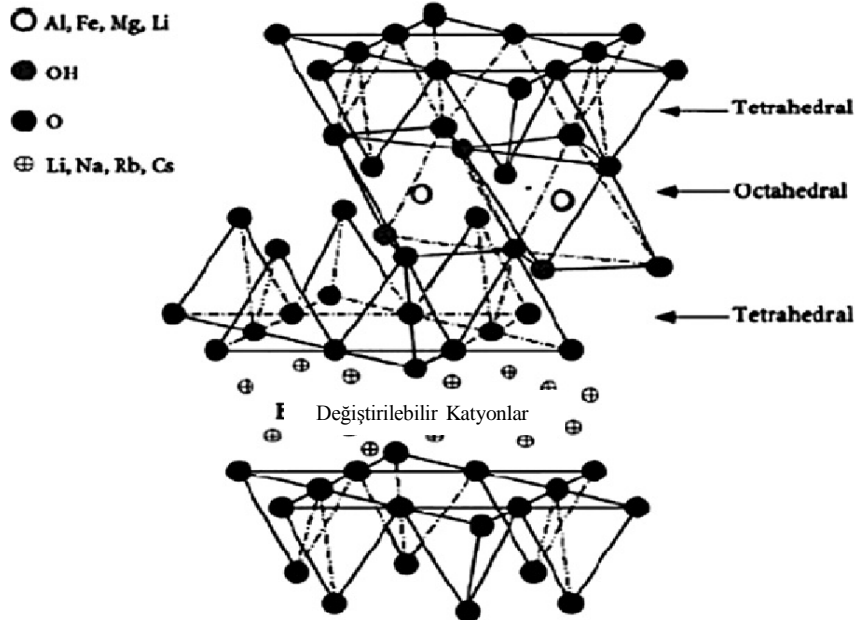
Nanoyapılı dolguların kullanımı, geleneksel polimer kompozitlere bir alternatif olarak polimer nanokompozitlerin geliştirilmesine yol açmaktadır. Nanokompozitler düşük yoğunluk, şeffaflık, iyi akış, daha iyi yüzey özellikleri ve geri dönüştürülebilirlik gibi ekstra avantajlar sağlamaktadır. Bu iyileşmelerin tümü, çok düşük dolgu içeriklerinde (genellikle %5'ten az) elde edilmektedir (Sinha Ray ve Okamoto, 2003).

Nanokompozitlerin üstün özellikleri, malzemelerin morfolojisini ve özelliklerini belirleyen temel uzunluk ölçeklerinde yatmaktadır. İnorganik partiküller, en az bir boyutunun nanometre (1-100 nm) aralığında olduğu malzemelerdir. Bu partiküllerin düzgün bir dağılımı, bileşenler arasında ultra geniş bir arayüzey alanına yol açabilir.

Geniş organik/inorganik arayüzey, moleküler hareketliliği ve nanokompozit malzemenin termal ve mekanik özelliklerini değiştirebilir (Kawasumi vd. 2000).

Polimer performansını artırmak için çeşitli inorganik nano-partiküller katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bunlar arasında katı tabakalı yapılar, sentetik polimer nanolifler, selüloz nano-çubuklar ve karbon nanotüpler yer almaktadır. Ambalaj endüstrisinde dikkati çeken katkı maddesi, düşük maliyeti ve önemli iyileştirmeler sağlaması nedeniyle kil gibi tabakalı inorganik katılardır (Alexandre ve Dubois, 2000).

İlk başarılı polimer-kil hibriti, 1986'da Toyota Merkez Araştırma Laboratuvarları'nda geliştirilmiştir (Kawasumi, 2004). Şekil 2.2'de görüldüğü üzere, kil minerallerinin karakteristik özelliği, yaklaşık 1 nm kalınlığında ve yaklaşık 100 nm yatay uzantıya sahip negatif yüklü silikat tabakalarının istiflenmiş düzenidir. Negatif yüzey yükü, silikat tabakasındaki Si+4 iyonlarının Al+3 veya Al+3 iyonlarının Mg+2 iyonları ile izomorfik olarak yer değiştirmesiyle oluşmakta ve bu yük, bitişik tabakalar arasındaki alanlarda bulunan Na+ gibi inorganik katyonlarla dengelenmektedir (Kawasumi vd. 2000).



Şekil 2.2 2:1 katmanlı silikatların yapısı (Kawasumi, 2004).

Biyoesaslı ambalaj malzemesi üretilirken, içeriğinde PLA, nano bentonit, nişasta, kitosan ve kitin kullanılabilceği belirtilmiştir. Bu sayede, geleneksel plastiklere kıyasla hem çevre dostu hem de fonksiyonel bir ambalaj malzemesi elde edilmektedir (Reichert vd. 2020). Bu doğrultuda araştırmamızda kullandığımız maddeler aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

2.2 Polilaktik Asit (PLA)

PLA (polilaktik asit), biyobozunur plastiklere örnek gösterilir. PLA laktitin halka açma polimerizasyonu ile sentezlenen genellikle şeker kamışı veya mısır gibi doğal kaynaklardan elde edilen bir üründür (Tsuji, 2005). PLA, 150–200°C sıcaklık aralığında şişirme, levha ekstrüzyon, enjeksiyonlu kalıplama, termoform ve film oluşturma yöntemleriyle işlenmektedir ancak Mansa vd. (2015) yaptıkları çalışmada elde edilen polimerin ısı direncinin düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Bu amaçla biyolojik olarak parçalanabilen diğer polimerlerle harmanlanarak biyo nanokompozitlerin üretimi araştırılmış ve dolgu malzemeleriyle desteklenmesi gerekli görülmüştür (Coltelli vd. 2008). Dolgu ilavesinin amacı, polimeri daha kararlı, mekanik ve kimyasal açıdan daha güçlü hale getirip ısıya daha dayanıklı hale getirerek mühendislik, tarım, sağlık ve ambalaj gibi çeşitli sektörlerde en iyi şekilde işlev görmesini sağlamaktır (Terzića vd. 2017).

PLA, genellikle alfa hidroksil asitlerden elde edilen alifatik polyester ailesine aittir. Biyobozunur ve gübrelenebilir olarak sınıflandırılan PLA, endüstriyel ambalaj sektöründe veya biyoyumlu/biyolojik olarak emilebilir tıbbi cihaz ve malzemelerde kullanılmaktadır. Ayrıca, standart plastik ekipmanlarında kalıplanabilir ürünler, film veya elyaf üretiminde de kullanılabilir (Kaplan, 1998).

PLA, L- ve D- izomerlerinin karışımı olarak polimerleştirme sonucunda elde edilen, stereokimyasal yapısının kolaylıkla değiştirilebildiği ender polimerlerden biridir. Ayrıca, gıda ile etkileşim açısından güvenilir bir özelliğe sahiptir. PLA, ester bağlarının basit hidrolizi yoluyla bozunabilmekte ve enzimatik hidroliz için özel bir katalizatöre ihtiyaç duymamaktadır. Bozunma hızı, parçanın boyutuna, şekline, izomer oranına ve hidroliz sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Garlotta, 2019).

Şu anda PLA; ameliyat dikişlerinde, dializ ortamlarında ve ilaç dağıtım sistemlerinde kullanılmaktadır. Biyobozunur olması nedeniyle, gübre torbaları, gıda ambalajları ve tek kullanımlık sofrta takımları gibi çeşitli ürünlerde de sıklıkla tercih edilmektedir (Chung vd. 1998).

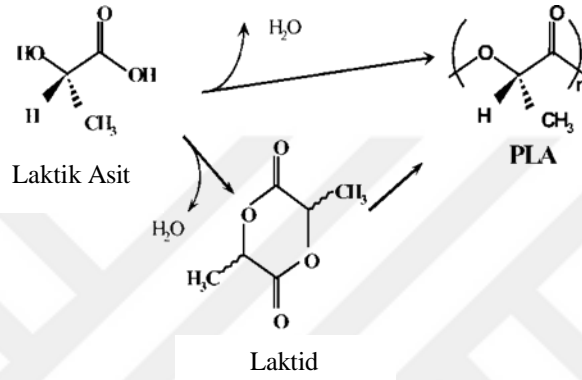
Yapılan çalışmalarda, şeker kamışı, patates ve mısır gibi %100 yenilebilir kaynaklardan elde edilen PLA'nın özellikle gıda ambalajı için potansiyel bir biyobozunur polimer olduğu anlaşılmıştır. PLA'nın biyolojik olarak emilebilir, parçalanabilir, kompostlanabilir özelliklerinin yanı sıra toksik olmadığı ve mekanik özellikleri dolayısıyla ticari polimerlerle karıştırılabilir olduğu tespit edilmiştir (Fan vd 2004). Buhar ve gaz geçirgenliği, düşük erime mukavemeti, kırılma eğilimine sahip olması ve düşük termal kararlılığından dolayı gıda ambalaj malzemesi olarak PLA'nın kullanımı yeterli bulunmamıştır (Gupta, 2007). Doğal nanokil olan montmorillonit (MMT) ve kitosan esaslı nanokompozitler, PLA'nın yapısına eklenerek güçlendirilmiştir (Reddy vd. 2013). Othman vd (2019), yaptıkları çalışmalarda nanokil ilavesi ile üretilen filmlerin oksijen geçirgenliği özelliklerini incelemişler ve saf PLA filmlerin ağırlıkça %3 nanokil ilavesi ile üretilen nanokil esaslı PLA filmlerin oksijen geçirgenliğinin saf PLA'ya göre %33 oranında azaldığını tespit etmişlerdir.

İstif (2021), yaptığı bir çalışmada FDM (Eriyik Yığılma Modellemesi) teknolojisini kullanarak, PLA'nın mekanik dayanıklılığını ve işlenebilirliğini geliştirmek amacıyla çeşitli parametre optimizasyonlarının yapılabileceğini göstermiştir. PLA, eriyik yığılma modelleme (FDM) gibi 3D yazıcı teknolojileri ile işlenebilmektedir. Bu sayede, farklı ambalaj tasarımları ve uygulamaları için mekanik özellikleri optimize edilebilmektedir. FDM ile üretilen PLA parçalarının üretim parametrelerinin mekanik dayanım üzerindeki etkisi incelenmiş ve dolgu oranının %20'den %80'e çıkarılmasının, parçaların çekme dayanımını yaklaşık %60 oranında artırdığı belirlenmiştir. Bu çalışma, PLA ile üretilen parçaların dolgu oranı ve baskı sıcaklığı gibi parametrelerin optimize edilmesiyle mekanik özelliklerinin iyileştirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Özsoy vd (2021)'de yaptıkları bir çalışmada, FDM ile üretilen PLA ve Akrilonitril Butadien Stiren (ABS) malzemelerinin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

Çalışmada, PLA numunelerinin ortalama çekme dayanımı 60 mPa, ABS numunelerinin ise 40 mPa olarak bulunmuştur.

Ayana ve Turhan'ın (2010) bir çalışmasında, PLA'ya eklenen antimikrobiyel ajanların etkisiyle gıda ambalajındaki mikroorganizma büyümesinin %90 oranında azaltılabileceği bulunmuştur. Bu tür ambalajların, süt ürünleri ve et gibi bozulabilir gıdaların raf ömrünü %50'ye kadar uzatabileceği belirtilmiştir.



Şekil 2.3 Polilaktik asit hazırlanması (Mehta vd. 2005).

2.3 Bentonit

Bentonit dolgu malzemesi olarak polimerin performansını iyileştirmek için uygun ve ekonomik bir mineral olduğu belirlenmiştir. Bentonit 1960 yılında Gilson tarafından %85 montmorillonitten oluşan kimyasal formülü (Al₂O₃.4SiO₂xH₂O) olan bir kil olarak tanımlanmıştır. Endonezya'da bol miktarda bulunan bentonitin, 2 mikrometreden küçük bir çapa sahip olduğu ve iki katmandan oluştuğu bildirilmiştir. Genellikle bu katmanlar yaklaşık 1 nm kalınlığa sahiptir ve 30 nm'ye kadar genişletilebilmektedir. Kendi doğal yapısı nano parçacıklıdır ve boyutunun küçültülmesiyle nano bentonit elde edilmektedir (Terzića vd. 2017).

Bentonit kilinin adı, keşfedildiği yer olan Montana'daki Fort Benton'dan gelmektedir. Diğer yaygın adlar arasında volkanik kil, sabun kil, adsorpsiyon kil, ağartma toprağı ve ağartma kili bulunmaktadır (Grim, 1998). Amerikalı jeolog W.C. Knight tarafından keşfedilen bentonit, katmanlı bir montmorillonit kilidir. Bu kil, iki tetrahedral silika

tabakası ve birbirine yapışan bir oktahedral alümina tabakası ile karakterize edilmektedir (Bergaya ve Lagaly, 2006). Bentonit, genellikle montmorillonit kil mineralinden oluşan doğal kil malzemelerini tanımlamak için kullanılan bir kaya terimidir. Montmorillonit, kil grubunun en bilinen üyesidir. Bentonit, montmorillonit mineral grubuna aittir ve volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal ayrışması veya bozulmasıyla oluşmuştur (Barbieri, 2022).

Bentonit kilinin özellikleri arasında submikrometre kristal boyutu, tabaka benzeri yapısı, geniş yüzey alanı ($800 \text{ m}^2 / \text{g}$ 'ye kadar) ve negatif tabaka yükü ($\approx 120 \text{ meq} / 100 \text{ g}$) bulunmaktadır. Özellikle tetrahedral veya oktahedral tabakalarda önemli ölçüde negatif yüke sahip olduğu bilinmektedir. Ara katmanlardaki değiştirilebilir katyonlar, bentonit kilinin tetrahedral silikat katmanlarının hafif negatif yükünü dengeleyebilmektedir (Khan ve Ajlouni, 2020).

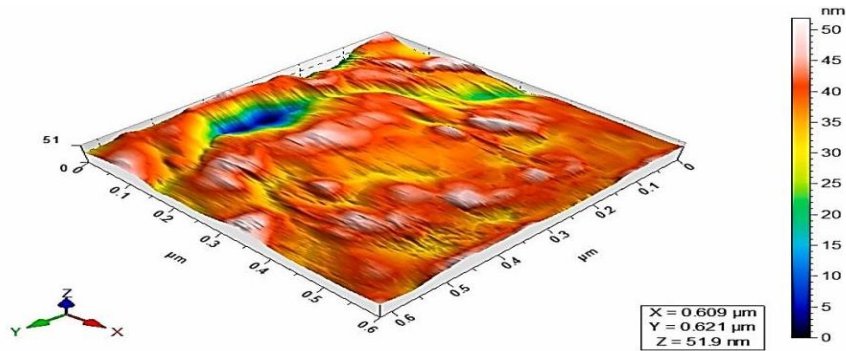
Bentonitin en önemli özelliklerinden biri olan adsorpsiyon, geniş yüzey alanı sayesinde montmorillonit varlığından kaynaklanmaktadır. Ticari açıdan bentonitler asitle aktive edilerek kullanılmaktadır. Bentonit kilinin ana mineraline göre sodyum montmorillonit içeren Sodyum Bentonit, kalsiyum montmorillonit içeren Kalsiyum Bentonit ve bu iki grubun karışımından oluşan ara bentonitler olmak üzere üçe ayrılmaktadır (İpekoğlu vd, 1997).

Nanokompozit üretiminde, polimerin kil katmanları arasında düzgün bir şekilde dağılmasını sağlamak için doğru modifiye edici kil tipini seçmek çok önemlidir. Mikrokompozitlerde, polimerlerin kil katmanlarına girmesi ve kilin parçalanmaması gereklidir. İnterkatlı nanokompozitlerde, organik bileşenler kil tabakaları arasına girer ve tabakalar genişlese de düzenli kalır. Tabakalanmış yapıda ise, organik bileşenler kil tabakalarını tamamen ayırarak organik faza yayılmasına neden olmaktadır (Polacco vd. 2008).

Bentonit içinde sıkça bulunan ek mineraller arasında kuvars, feldispat ve zeolitler bulunmaktadır. Bentonit, suyun emilimine bağlı olarak genişlemesi açısından Na-Bentonit ve Ca-Bentonit olarak iki ana kategoriye ayrılır (Santiago vd. 2007).

Sarfraz vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, taze kesilmiş marulun (iceberg marul, *Lactuca sativa L.*) raf ömrü incelenmiştir. Bu amaçla, %1 ve %3 nano-bentonit içeren filmler kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca, polipropilen (PP) ve nano-bentonit kompozitlerinde çekme dayanımında %30-50 oranında iyileşme kaydedilmiştir. Bu, nano-bentonitin PP matrisine eklenmesiyle malzemenin daha dayanıklı hale geldiğini göstermektedir. Sonuçlar, nano-bentonit içeren filmler kullanıldığında marulun raf ömrünün ve kalitesinin önemli ölçüde iyileştiğini göstermiştir. Özellikle %3 nano-bentonit içeren filmlerle paketlenen marul, dokuzuncu güne kadar duyuşal ve fizikokimyasal özelliklerini korumuştur. Kontrol grubunda ise en yüksek küf ve maya büyümesi gözlemlenmiş ve bu da nano-bentonit dolgu maddelerinin etkinliğini göstermiştir. Ayrıca, nano-bentonit içeren filmler, marulun rengini ve dokusunu daha iyi korumuş, pH seviyesini stabil tutmuş ve mikrobiyal kaliteyi iyileştirmiştir. Yine aynı çalışmada; nano bentonit ile modifiye edilmiş polietilen nanokompozitlerde, kil plakaları arasındaki boşluk mesafesinin artmasıyla oksijen geçirgenliğinde ters bir ilişki gözlemlenmiştir. Bu durum, geçirgenliğin azaltılmasında önemli bir faktör olarak vurgulanmıştır. Nano bentonit ile modifiye edilmiş polietilen nanokompozitlerde oksijen geçirgenliği %50 oranında azaltılmıştır.

Huang vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen araştırma, belirli aktif nanomalzemelerin bakterilere karşı etkinliğini önemli ölçüde ortaya koymuştur. Özellikle, nano-bentonit içeren filmlerin, bakteri gelişimini önemli ölçüde engellediği tespit edilmiştir. Bu filmlerin kullanımıyla, bakteri büyümesinde %70-80 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. Bu bulgular, nanomalzeme tabanlı teknolojilerin, gıda korunması ve hijyenik uygulamalar gibi alanlarda önemli bir potansiyele sahip olduğunu vurgulamaktadır.



Şekil 2.4 Nano bentonitin atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüsü (Nagar ve Sary, 2021).

2.4 Nişasta

Biyobozunur ambalajların üretiminde kullanılan diğer dolgu malzemesi olan nişasta, kimyasal yapısı büyük oranda zincirsel amiloz ve dallanmış amilopektin birimlerinden oluşan doğal bir polisakkarittir. Kapalı formülü ($C_6H_{10}O_5$)n olan nişasta (Şekil 2.5), D- glikoz moleküllerinden oluşur ve amiloz-amilopektin oranları sırasıyla 1:3'tür. Amiloz, dallanmamış zincirlerden oluşurken, amilopektin dallanmış bir yapıya sahiptir. Farklı bitki kaynaklarından elde edilen nişasta çeşitleri, benzer özelliklere sahip olsalar da amiloz ve amilopektin yapıları arasında fiziksel ve kimyasal farklılıklar bulunur (Keleş, 2004; Rudrapatnam, 2005).

Nişasta, yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilen bir biyopolimerdir. Tahıllarda (%30-70), yumru köklerde (%60-90) ve baklagillerde (%25-50) bulunur (Wertz, 2011). Campos vd. (2011), amilozun mükemmel film oluşturma kabiliyetine sahip, güçlü, izotropik, kokusuz, tatsız ve renksiz filmler oluşturan bir polimer olduğunu bildirmiştir. Bu özellikleri nedeniyle nişasta, çeşitli endüstriyel uygulamalarda, özellikle biyolojik olarak parçalanabilen ambalaj malzemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Nişasta temelli ambalaj malzemeleri, buhar ve oksijen geçirgenliği ile mekanik dayanıklılık gibi bariyer özelliklerinde sınırlamalar göstermektedir. Bu eksiklikleri gidermek için yoğun araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Devlet politikaları, endüstriyel sürdürülebilirlik girişimleri ve tüketici davranışlarındaki değişiklikler, biyolojik olarak parçalanabilen ambalajların kullanımını teşvik etmektedir. Nişasta tabanlı plastikler özellikle gıda ambalajlarında potansiyel avantajlar sunmaktadır. Ancak, mekanik zayıflık ve yüksek su buharı geçirgenliği sorunlarını aşmak için nişasta modifikasyonu, nanomalzemelerle güçlendirme, harmanlama ve çok katmanlı stratejiler üzerinde çalışılmaktadır (Siqueira vd. 2021).

Nişasta esaslı malzemelerin en önemli avantajının, sentetik plastiklere kıyasla daha hızlı çözünme ve daha az atık alanı gereksinimi olduğu genel olarak bilinmektedir. Bu özellik, biyolojik olarak parçalanabilme özelliği ile tanımlanır. Ayrıca, özellikle tarım sektöründe istihdam ile ilişkili olarak, biyo- esaslı polimerlerin üretimiyle olumlu sosyal

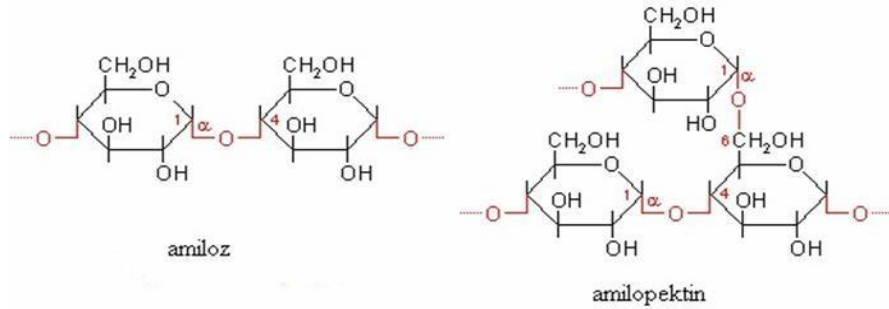
ve ekonomik etkilerin beklendiği bilinmektedir. Ek olarak, ticari ölçekte üretilen mısır ve patates nişastaları gibi nişasta kaynakları, plastik üretimi için en yaygın ve erişilebilir kaynaklar arasında yer almaktadır (İnt Kyn. 1).

Ke ve Sun (2023) tarafından yapılan çalışmada, nişasta ve PLA karışımına (%50:50, Ağ./Ağ.) Polivinil Alkol (PVOH) (6.000 g/mol) eklenerek uyumluluğun artırılması ve mekanik özelliklerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Nişasta/PLA karışımlarına nişasta ve PLA'nın toplam ağırlığına göre %10, %20, %30, %40, %50 (ağırlıkça) PVOH ve çeşitli moleküler ağırlıklarda (6.000, 25.000, 78.000 ve 125.000 g/mol) %30 PVOH eklenmiştir. PVOH'nin nişasta ile etkileşime geçtiği ve %30'dan daha büyük oranlarda nişasta ile sürekli bir faz oluşturduğu gözlemlenmiştir. Gerilme mukavemeti, PVOH konsantrasyonunun %40'a kadar artarken, PVOH molekül ağırlığının artmasıyla azalmıştır. PVOH'nin artan moleküler ağırlığı su absorpsiyonunu hafifçe etkilemiş ancak PVOH'nin ağırlıkça yüzdesinin %40 veya %50'ye çıkarılması su absorpsiyonunu artırmıştır. Nem içeriğinin karışımlar üzerindeki etkisi incelenmiş ve jelatinleştirilmiş nişasta içeren karışımların daha yüksek gerilme mukavemetine sahip olduğu ancak aynı zamanda artan su emilimine neden olduğu bulunmuştur.

Marichelvam vd. (2019) yaptıkları araştırmada, nişasta ve PLA karışımlarının biyoplastik üretiminde kullanılmasının mekanik özellikleri ve su dayanıklılığını artırdığını göstermektedir. Mısır ve pirinç nişastası bazlı biyoplastiklerin çekme dayanımı sırasıyla ortalama 3,45 mPa ve 4,38 mPa iken, geleneksel LDPE (Düşük Yoğunluklu Polietilen) plastiklerinin çekme dayanımı yaklaşık olarak 10-30 mPa'dır. Su emme kapasitesi açısından ise mısır nişastası biyoplastiklerinde %25, pirinç nişastası biyoplastiklerinde %18 ve geleneksel LDPE plastiklerinde su emme kapasitesi yoktur. Su çözünürlüğü bakımından mısır nişastası biyoplastiklerin %36, pirinç nişastası biyoplastiklerin %28 ve geleneksel LDPE plastiklerinin su çözünürlüğü bulunmamaktadır. Biyoplastiklerin toprakta biyobozunurluğu, yaklaşık 3-6 ay içinde tamamlanmakta, geleneksel LDPE plastiklerinin ise doğada yıllarca kalma eğilimi göstermektedir.

Gonçalves vd. (2024) yaptıkları çalışmada, nişasta bazlı biyopolimerlerin gıda ambalajlamasında kullanımına dair önemli bulgular sunmuşlardır. Nişasta ve PLA

karışımından yapılan filmler, yaklaşık 20-30 MPa çekme mukavemetine sahip olup, bu değer geleneksel plastiklerden biri olan polietilenin (30-40 mPa) altında kalsa da, birçok gıda ambalajı uygulaması için yeterli olmaktadır. Ayrıca, su buharı geçirgenlikleri 2,5-3,5 g·mm/m²·gün·kPa aralığında bulunmakta ve bu değerler saf nişasta filmlerine göre iyileştirilmiş olmasına rağmen, sentetik plastiklere göre hala yüksek kalmaktadır. Nişasta bazlı filmler, geleneksel plastiklere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek biyobozunurluk oranlarına sahip bulunmakta ve kontrollü kompostlama koşullarında 180 gün içinde %60'tan fazla bozulma göstermektedir. Termal özellikler açısından, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizleri, PLA ilavesinin, nişastalı filmlerin termal stabilitesini artırdığını ve nişasta-PLA karışımlarının erime sıcaklıklarının 150-170°C aralığında olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 2.5 Nişasta granülü içinde bulunan amiloz ve amilopektinin kimyasal yapısı (Ölçer ve Akın, 2008).

2.5 Kitosan

Araştırmamızda kullandığımız diğer bir dolgu maddesi olan kitosan, doğada en bol bulunan ikinci biyopolimer olan kitinin deasetilasyonu ile elde edilen doğal bir polisakkarittir. N-asetil glukozamin ve D-glukozaminden oluşan kitosan, biyolojik olarak parçalanabilir ve toksik olmayan bir biyopolimerdir. Bakteriler gibi farklı mikroorganizma gruplarına karşı antimikrobiyal özelliğe sahip olan kitosan, film oluşturma yeteneği, oksijen geçirgenliği ve mekanik özelliklerinden dolayı gıda ambalajında tercih edilmektedir (Younes vd. 2015, Elsabee vd. 2013).

Kitosan, genellikle kitinin N-deasetilasyonu sonucunda oluşan bir türevidir; ancak bu süreç genellikle tam olarak tamamlanmamaktadır. Kitin, kabuklu hayvanların, böcek dış iskeletlerinin, mantar hücre duvarlarının ve planktonun bileşenlerinden biridir.

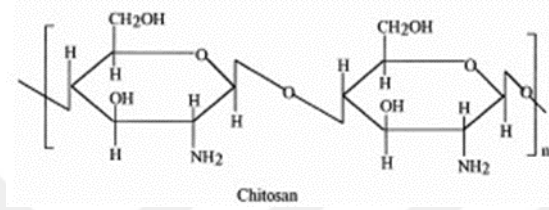
Kimyasal olarak, $\beta(1-4)2$ -asetamido-2-deoksi-D-glukoz (N-asetil glukosamin) tekrar eden birimlerden oluşan bir polimerdir (Şekil 2.6). Kitosan, kitine göre daha reaktiftir ve toz, film veya lif gibi çeşitli formlarda üretilebilmektedir. Yüksek oranda (% 6,89) azot içermesi nedeniyle kullanışlı bir şelat ajanıdır. Sentetik polimerler ile karşılaştırıldığında, doğal polimerler olan selüloz, kitin ve kitosan biyoyuymuluk, biyobozunabilirlik ve toksik olmama gibi üstün özelliklere sahiptirler (Kumar ve Majeti 2000).

Kitosanın film oluşturma yeteneği, yapay böbrek zarı yapımında kullanımına olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, suda çözünebilir polimerlerle ve aşı polimerizasyonu yoluyla modifiye edilebilir. Örneğin, kitosan ve PVA (polivinil alkol) karışımı, yüksek kopma direnci ve uyumluluk açısından olumlu sonuçlar göstermektedir. Bununla birlikte, kitosanın hidrofilik özellikleri ve yüksek nem hassasiyeti, belirli uygulama alanlarında sınırlayıcı faktörlerdir. Bu zayıf yönlerin üstesinden gelmek için kitosanın nem direncini artıran polimerlerle birleştirilmesi önerilmektedir (Broek vd. 2015).

Kitosan ve polietilen glikol, polikaprolakton veya polilaktit gibi polimerlerin karıştırılması, hidrofobikliği artırarak ve mekanik özellikleri iyileştirerek çeşitli avantajlar sunmaktadır. Ancak, bu tür kompozit sistemlerin homojenliği genellikle termal ve mekanik özellikleri olumsuz etkileyebilmektedir. Polimerler arasındaki uyumsuzluk genellikle farklı çözünme profillerinden kaynaklanmaktadır. Kitosan ve polilaktid gibi polimerlerin çözelti hazırlığı için ortak bir çözücü kullanılması, kompozit malzemenin homojenliğini sağlamaktadır (Ferreira vd. 2014).

Kitosanın antimikrobiyal aktivitesi, biyoyuymuluğu, kompozit oluşturma yeteneği ve hücresel tutunma ve çoğalma sağlama özelliklerinden dolayı farklı alanlarda geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Özellikle gıda ambalajında, kitosan bazlı biyokompozitler antibakteriyel etkileri ve biyobozunabilirlikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Örneğin, ZnO ve TiO₂ nanopartikülleri ile zenginleştirilmiş kitosan filmleri, *E. coli* ve *S. aureus*'a karşı yüksek antibakteriyel etki göstermiştir. Ayrıca, bu filmler toprakta %80-90 oranında biyobozunabilirlik göstermiştir (Jiang vd. 2023).

Kitosan bazlı kompozit filmler, taze meyve ve sebzelerin mikrobiyal bozulmasını %50 oranında azaltırken, et ürünlerinin raf ömrünü %30 oranında uzatmaktadır. Kitosan ve metal/metal oksit biyo-nanokompozitleri, mekanik özellikleri ve biyobozunabilirlikleri açısından avantajlar sunmaktadır. Bu veriler, kitosan ve metal/metal oksit biyo-nanokompozitlerinin gıda ambalajında kullanımının, antimikrobiyal koruma, biyobozunabilirlik ve gıda güvenliğini artırmada önemli avantajlar sunduğunu göstermektedir (Babaei-Ghazvini vd. 2021).



Şekil 2.6 Kitosanın kimyasal yapısı (Kumar, 2000).

2.6 Zeytinyağı ve Ambalajlanması

Zeytinyağı, *Olea europaea* L. ağacının meyvesinden mekanik ekstraksiyon ile elde edilmekte ve antik çağlardan beri Akdeniz Havzası'ndaki medeniyetler için beslenme, sağlık, ekonomi ve sosyal alanlarda önemli bir rol oynamaktadır. Yüksek besin değeri ve sağlık yararları nedeniyle zeytinyağı, dünya genelinde kabul görmektedir. Artan tüketimi sonucunda, zeytin ağacı yetiştirilmesi, işleme teknolojisi, depolama ve şişeleme gibi alanlarda araştırmalar yoğunlaşmaktadır (Angerosa vd. 2004).

Zeytinyağının popülerliğinin ana sebepleri; yüksek besin değeri, kolay sindirilebilirlik, ısıl işlemlerde yüksek oksidatif stabilite ve kalp-damar sağlığına olan olumlu etkileridir. Türk Gıda Kodeksi'ne göre zeytinyağı, yalnızca zeytin meyvelerinden mekanik veya fiziksel işlemlerle elde edilen yağları ifade etmektedir ve bileşimi genetik, coğrafi ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Bayrak, 2006).

Zeytinyağının depolanması ve ambalajlanması, kalitesini korumak için kritik bir rol oynamaktadır. Teneke, cam, plastik ve özel kaplanmış karton kutular yaygın olarak kullanılan ambalaj malzemeleridir. Ambalajın oksijen geçirgenliği, yağın raf ömrünü

belirleyen en önemli faktörlerden biridir (Kara, 2008). İdeal bir yağ ambalajı, yağı içine almamalı, toksik etki yapmamalı ve yağa migrasyon olmamalıdır. Ayrıca oksidatif değişikliklere karşı koruyucu olmalı, atmosferik oksijenin, ışığın, ısı ve katalizör etkisindeki metallerin yağa zarar vermesini engellemelidir (Kayahan ve Tekin, 2006).

Natürel sızma zeytinyağının, cam, teneke veya plastik şişelerde muhafaza edilmesi yaygındır. Cam ve teneke ambalajlar, hava geçirgenliğinin olmaması nedeniyle tercih edilmekte iken, plastik ambalajlar kimyasal geçirgenlik açısından risk taşımaktadır (Mendez ve Falque, 2007).

Bazı çalışmalarda, zeytinyağının depolama koşulları ve ambalaj malzemelerinin kalitesini nasıl etkilediğini incelemiştir. Zarazir vd. (2019) cam ve üç tip plastik ambalaj malzemesinin (PET, HDPE, PLA) zeytinyağı üzerindeki etkilerini 9 aylık bir depolama süresince değerlendirmiştir. Bu değerlendirme sonucunda serbest yağ asitliği miktarı; 0. ayda cam, PET, HDPE ve PLA için %0,1 olarak bulunmuşken, 5. ayda cam %0,10, PET %0,11, HDPE ve PLA %0,12 değerlerine ulaşmıştır. Son olarak, 9. aydaki değişim camda %0,12, PET'te %0,13, HDPE'de %0,23 ve PLA'da %0,12 olmuştur. PLA için palmitik asit sonuçları 0. ayda %12,7, 5. ayda %26,4 ve 9. ayda %17,3 olarak tespit edilmiştir. Kimyasal geçirgenlik değerleri 9 aylık depolama süresince PET için (1,26-6,58 mg/dm²), HDPE için (0,94-4,73 mg/dm²) ve PLA için (0,16-3,32 mg/dm²) olarak belirlenmiştir.

Akpınar ve Kuru (2020) bor nitrür nanosheet (BNNS) ince filmlerini cam ambalajlarda kullanarak, zeytinyağının UV ışığına karşı daha yavaş bozunduğunu göstermiştir. Nguyen vd. (2018) ise BNNS kaplamalarının gıda ambalajlarında kullanım potansiyelini araştırmış ve BNNS takviyeli selüloz nanofiber (CNF) filmlerin sürdürülebilir oksijen bariyeri olarak kullanılma potansiyelini incelemiştir. Bu çalışmada, CNF filmlerine %0-5 oranında BNNS eklenerek oksijen geçirgenlik oranının (OTR) önemli ölçüde azaltıldığı bulunmuştur. CNF filminin OTR değeri 19,08 cc/m²/gün iken, BNNS eklenmiş kompozit filmlerde bu değer 4,7 cc/m²/güne düşmüştür.

Bu literatür bilgileri doğrultusunda, bu tez çalışmasında, ilk aşamada nano bentonit üretilmiş sonrasında üretilen nanobentonit PLA, nişasta, kitosan ile karıştırılarak biyobozunur film elde edilmiş ve natürel sızma zeytinyağında kapak ambalaj filmi olarak 6 aylık depolama sürecinde kullanılmıştır. Ardından, plastik kapak ambalajı ile aynı sürede depolanan kontrol grubu zeytinyağına göre fiziko-kimyasal değişimleri karşılaştırılmak üzere materyal metot bölümünde belirtilen analizler uygulanmıştır.



3. MATERYAL ve METOT

3.1 Materyal

Bu tez çalışması; üç aşamadan oluşmakta olup, bu aşamalar sırasıyla; nano bentonit üretimi, nano bentonit içerikli polilaktik asit kapak ambalaj filmi (BPLAKAF) üretimi (200 μ) ve üretilen BPLAKAF'ın kapak ambalajı olarak zeytinyağının depolanmasında kullanımınıdır.

Araştırmada kullanılan zeytinyağı, Afyonkarahisar'da bulunan bir marketten teneke kutuda natürel sızma zeytinyağı olarak temin edilmiştir.

3.1.1 Nano Bentonit Üretimi

Sodyum bentonit partikülleri (partikül boyutu $< 2 \mu\text{m}$), 110 °C'de iki saat kurutulup 10 g tartıldıktan sonra 200 mL deiyonize su içinde dağıtılmış ve 24 saat karıştırılmıştır. 1800 rpm'de 2 dakika santrifüj edilip dispersiyondaki ince fraksiyon toplanmıştır. Fiziksel olarak saflaştırılmış numune 110 °C'de 24 saat boyunca kurutulmuştur (Çiftçi vd 2020).



Resim 3.1 Nano bentonit üretimi.

3.1.2 Nanobentonit İçerikli Polilaktik Asit Kapak Ambalaj Filmi (BPAKAF) Üretimi

25 g nişasta, 250 mL saf su, 30 mL 1 M asetik asit, 20 mL gliserin, %10 kitosan ve son olarak %5 nano bentonit bir behere alınarak yaklaşık bir buçuk saat homojenize edilmiştir. Daha sonra uygun kıvama gelene kadar 100 ppm-100 °C’de ısıtılma tabi tutulmuştur. Oluşan film cam bir tabaka üzerine 200 mikrometre kalınlığında çekilmiş ve bir gün boyunca kurumaya bırakılmıştır (Kalkmaz ve Evcin, 2021).



Resim 3.2 BPLAKAF üretimi.

3.1.3 Zeytinyağının Depolanması

Natürel sızma zeytinyağları, 2 paralel olacak şekilde, 60 mL’lik cam kavanozlara konulup BPLAKAF ile kapatılmış ve dışı alüminyum folyo ile sarılmıştır; kontrol grubu ise plastik kapak ile kapatılarak aynı şekilde 0, 2, 4 ve 6. aylarda zeytinyağının fizikokimyasal özelliklerindeki değişimi gözlemlemek için serin ve kuru bir yerde muhafaza edilmiştir.



Resim 3.3 Üretilen BPLAKAF’ın zeytinyağının depolanmasında kapak ambalajı olarak kullanımı.

3.2 Deneysel Metotlar

Bu kapsamda ürettiğimiz nano bentonite, BPLAKAF'a ve depolanan zeytinyağlarına ayrı ayrı analizler gerçekleştirilmiştir ve bu analizler, üç ana kategori altında sınıflandırılmıştır. Üretilen nano bentonitin bileşenlerinin oranlarını belirlemek amacıyla X-ışınları floresans spektroskopisi analizi yapılmıştır. Devamında BPLAKAF'a yapılan analizler arasında görünür yağ sızdırmazlığı, çekme-dayanım analizi, taramalı elektron mikroskobu ve enerji dağılım spektroskopisi analizleri bulunmaktadır. Depolanan zeytinyağına yapılan analizler ise; serbest yağ asitliği, peroksit sayısı tayini, iyot sayısı tayini, renk tayini, refraktif indeks tayini, viskozite tayini, oksidatif stabilite ve yağ asitleri kompozisyonu analizleridir.

3.2.1 Nano Bentonite Yapılan Analizler

3.2.1.1 X-Işınları Floresans Spektroskopisi (XRF) Analizi

Sodyum bentonit numunesi 105 °C'de 24 saat kurutulduktan sonra halkalı değirmende 2 dk öğütülmüştür. Daha sonra, Rigaku marka ZSX Primus II model XRF cihazı ile Afyon Kocatepe Üniversitesinde bulunan Akredite Doğaltaş Analiz Laboratuvarında (DAL) saflaştırılmış nano bentonit örneklerinin kimyasal bileşimleri elementel olarak belirlenmiştir (Çiftçi 2019).

3.2.2 BPLAKAF'a Yapılan Analizler

3.2.2.1 Görünür Yağ Sızdırmazlığı ve Mikroskop Görüntüleri

Üretilen BPLAKAF'a sızdırmazlık özelliği kazandırmak amacıyla üretiminde nişasta ve gliserol kullanılmıştır. BPLAKAF, amber şişe üzerine sabitlenmiştir. Görünür yağ sızdırmazlığı analizi için ilk olarak beherin içerisine zeytinyağı konulup, kapak ambalajı olarak üretilen BPLAKAF, laboratuvar kelepçe tutucu ile sabitlenerek ters çevrilmiş ve 6 aylık süreçte altına beher koyularak sızdırmazlık olup-olmadığı periyodik olarak takip edilmiştir. Ayrıca işlem sonunda, BPLAKAF numuneleri 5-10 cm kesilerek, 7 Inch IPS

High Definition Screen Industrial Dijital mikroskobu ile incelenerek, mikroskop görüntüleri elde edilmiştir.

3.2.2.2 Çekme-Dayanım Analizi

ASTM D882-18 standart yöntemine göre, BPLAKAF bir kesici uç kullanılarak 20x40 mm şeritlere kesilmiştir. Kopmadaki gerilme mukavemeti FGN-50B itme çekme kuvvet ölçer cihazı ile belirlenmiştir. Bu amaç ile, BPLAKAF şeritleri 2 pnömatik hareketli çene arasına yerleştirilip 100 mm/dk'lık bir hızda deforme edilmiştir Bu test sırasında belirlenen en yüksek gerilim değeri, çekme dayanımı olarak adlandırılır (ASTM 2018).

3.2.2.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS) Analizi

Burada üretilen BPLAKAF numuneleri farklı büyütme oranlarında görüntülenerek filmin yüzey mikro yapıları ve kalınlığı incelenmiştir. Ayrıca yüzeydeki elementel dağılım, EDS analizi ile belirlenmiştir. Analizler Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TUAM), LEO 1430 VP marka ve modeldeki SEM cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Turhan, 2021).

3.2.3 Zeytinyağında Yapılan Analizler

3.2.3.1 Serbest Yağ Asitliği Analizi

Serbest yağ asitliği, NaOH ile nötralize edildikten sonra, serbest yağ asitlerinin moleküler ağırlığı ile hesaplanan kütesidir. Tayini için %96'lık etanol, dietil eter, fenolftalein ve 0,1 N NaOH çözeltileri kullanılmıştır. Örnek, 0,01 duyarlılığında teraziyle 10 g olarak tartılmış ve 250 mL'lik erlenmeyere konulmuştur. Erlenmeyere 50 mL etanol ve dietil eter eklenip homojen bir karışım oluşturulmuştur. Çözeltiyeye 2-3 damla fenolftalein damlatılıp 0,1 N NaOH ile titrasyon yapılmıştır. Verilerle serbest yağ asitliği eşitlik 3.2.1 ile hesaplanmıştır (Nas vd. 2001).

$$\text{Serbest Yağ Asitliği}(\% \text{oleik asit olarak}) = \left(\frac{V \times N \times M \times 100}{W} \right) \quad (3.2.1)$$

V= Titrasyon için harcanan NaOH hacmi (mL)

N= NaOH çözeltisinin normalitesi (mol/L)

M= Oleik asidin mol kütlesi (282.47 g/mol)

W = Zeytinyağı örneğinin kütlesi (g)

3.2.3.2 Peroksit Sayısı Tayini

Peroksit sayısı analizi için %10'luk KI (potasyum iyodür), nişasta indikatörü, asetik asit çözeltisi, kloroform ve 0,01 N sodyum tiyosülfat kullanılmıştır. Analiz sırasında, zeytinyağından 10 g alınarak erlenmeyer içine konmuş ve üzerine 10 mL kloroform eklenmiştir. Ardından içine 15 mL asetik asit eklenip kısa bir süre çalkalandıktan sonra 1 mL potasyum iyodür ilave edilerek erlenin kapağı kapatılmış ve ışık almayan bir alana yerleştirilmiştir. Oda sıcaklığında, ışık almayan bir bölgede 5 dakika bekletilen karışıma, 75 mL distile su eklenmiş ve ardından nişasta çözeltisinden 3 mL eklenmiştir. Serbest hale gelen iyot, standart sodyum tiyosülfat çözeltisi ile titrasyon yapılarak belirlenmiştir. Sarfiyat miktarına göre hesaplama 3.2.2'te belirtilen eşitlik ile yapılmıştır (AOCS 1989).

$$\text{Peroksit Sayısı} \left(\frac{\text{meqO}_2}{\text{kg}} \right) = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 1000}{W} \quad (3.2.2)$$

V₁ = Numune titrasyonu için harcanan sodyum tiyosülfat çözeltisi hacmi (mL)

V₂ = Boş titrasyon için harcanan sodyum tiyosülfat çözeltisi hacmi (mL)

N = Sodyum tiyosülfat çözeltisinin normalitesi (mol/L)

W = Numune ağırlığı (g)

3.2.3.3 İyot Sayısı Tayini

Zeytinyağı örnekleri, beklenen iyot miktarına göre önceden tartılmış bir erlenmayer içerisine yerleştirilmiştir. Üzerine 15 mL karbontetraklorür eklenmiş ve yağın tamamen çözülmesi için çalkalanmıştır. Ardından, 25 mL wijs çözeltisi eklenip çalkalama işlemi devam ettirilmiştir. İyot miktarı sonucuna göre, eğer 150'nin üzerinde ise numune, 2 saat boyunca karanlık bir yerde bekletilmiş; 150'nin altındaysa bekletme süresi 1 saat olarak belirlenmiştir. Bekletilen numunenin üzerine, 20 mL potasyum iyodür çözeltisi ve 150 mL saf su eklenmiştir. Daha sonra, 1 mL nişasta çözeltisi eklenerek 0,1 N sodyum tiyosülfat çözeltisi ile titrasyon yapılmıştır. Renksiz bir sıvı elde edilinceye kadar titrasyona devam edilmiştir. Şahit denemesi için de benzer işlemler uygulanmış ve iyot sayısı değeri 3.2.3 ile verilen eşitlik ile hesaplanmıştır (Anonymous 1989).

$$\text{İyot Sayısı} \left(\frac{\text{gI}_2}{100 \text{ g yağ}} \right) = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 12.69}{W} \quad (3.2.3)$$

V_1 = Numune titrasyonu için harcanan sodyum tiyosülfat çözeltisi hacmi (mL)

V_2 = Şahit numune için harcanan sodyum tiyosülfat çözeltisi hacmi (mL)

N = Sodyum tiyosülfat çözeltisinin normalitesi (mol/L)

W = Numune ağırlığı (g)

12.69 = İyotun miliekivalan faktörü (g/mol)

3.2.3.4 Renk Tayini

Zeytinyağının renk değerleri Lovibond Tintometresi (Lovibond PFX- 880L) kullanılarak 5,25 inçlik ölçüm kuvvetleriyle belirlenmiştir (Mehlenbacher vd. 1985).

3.2.3.5 Refraktif İndeks Tayini

Zeytinyağı örneklerinin refraktif indeks tayini 22°C oda sıcaklığında Atago PAL-3 Dijital Refraktometresl kullanılarak yapılmıştır (TSE 1973).

3.2.3.6 Viskozite Tayini

Zeytinyağı örneklerinden belirli bir miktar alınarak Brookfield DV-II marka viskozimetresiyle 20°C'de ölçüm yapılmıştır. Viskozite tayini için S03 prob uç kullanılmış ve analiz 100 RPM (Dakikadaki Devir Sayısı)'de yapılmıştır. Numuneler üç paralel olacak şekilde okuma gerçekleştirilmiştir (Irvine ve Bals, 2015).

3.2.3.7 Oksidatif Stabilitite

Oksidasyon kararlılığı için her bir zeytinyağı örneğinden 3'er g zeytinyağı kullanılmış, indüksiyon zamanı Metrohm 743 Rancimat cihazıyla ransimat tespit edilmiştir. 110 dereceye ayarlanmış hava akış hızı 10L/saat koşullarında ransimat analizi yapılmıştır (Anonymous 1992).

3.2.3.8 Yağ Asitleri Kompozisyonu

Bitkisel yağların içindeki yağ asitleri analizinde en etkili yöntem olarak gaz kromatografisi (GC) kullanılmaktadır. Bu yöntem, belirli bir sıcaklık ve taşıyıcı gaz akış hızında, bir sıvı faz içindeki gazların çözünürlük farklarına dayanarak ayrılmasını sağlar. GC sisteminde taşıyıcı gaz, enjeksiyon bloğu, fırın ve dedektör bulunur. Analiz işlemine başlamadan önce, cihazın kuru hava ve hidrojen gazlarının 5 bar basınçta olduğundan emin olunur ve sıcaklık değerleri ayarlanır. Enjektör, 5 kez n-heptan ile temizlenir ve 1 µL numune alınarak cihaza verilir. Numune, taşıyıcı gaz yardımıyla kolona taşınır ve burada bileşenlerine ayrılır. Cihaz çalışmaya başladığında, baz çizgisinden kromatogram akışı ve pikler takip edilir. Bu pikler, numunedeki farklı bileşenlerin dedektörde tespit edilmesiyle oluşur ve bileşenlerin miktarını ve konsantrasyonunu gösterir. Yaklaşık 52,5 dakika sonra analiz tamamlanır ve pikler üzerinde tanımlamalar yapılır. Elde edilen sonuçlar yüzdesel verilerle tablo halinde sunulur. Gaz kromatografisinin çalışma koşulları, analizin hassasiyetini ve doğruluğunu sağlamak için dikkatlice optimize edilmiştir ve Çizelge 3.1'de belirtilmiştir. (AOCS 2003).

Çizelge 3.1 Gaz kromatografisi çalışma koşulları.

Alet	SHIMADZU GC 2025
Sabit Faz	%10'luk DEGS
Destek Madde	Chromosorb W (AW-DMCS) (60-80 mesh)
Dedektör	Alev İyonlaştırılmalı Dedektör
Sıcaklıklar	
Kolon	180°C
Enjeksiyon	200°C
Dedektör	200°C
Akış Hızları	
Taşıyıcı Gaz (N ₂)	30 mL/dak
Yanıcı Gaz (H ₂)	28 mL/dak
Kuru Hava	220 mL/dak
Enjeksiyon Miktarları	1 µL

3.2.3.9 İstatiksel Analiz

Araştırma bulguları, Minitab programı kullanılarak analiz edilmiştir. Tekli analizlere standart sapma uygulanmamıştır. Çoklu verilerin değerlendirilmesinde standart sapma ve One Way Anova testi ile birden fazla bağımsız grup arasındaki niceliksel sürekli verilerin karşılaştırılması yapılmıştır (Püskülcü ve İkiz, 1998).

4. BULGULAR

4.1 Nano Bentonitin Özellikleri

4.1.1 Üretilen Nano Bentonitin XRF Analiz Sonuçları

XRF, foton-madde etkileşiminden kaynaklanan, özellikle X-ışınları ve saçılma fotonlarının miktar ve niteliksel analizine dayalı olarak uygulanan bir teknik olarak tanımlanmıştır. Bu yöntemin, katı, sıvı ve gaz fazlarında da etkili olduğu belirtilmiştir. X-ışınları kaynağından çıktıktan sonra materyal ile etkileşime geçen, parçacık ve dalga özelliklerini taşıyan ve her yöne yayılan özgün bir enerji türü olarak nitelendirilmektedir (Mutuk 2013).

Bu doğrultuda üretilen nano bentonitin XRF analiz sonucu Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Nano bentonit X-ışınları floresans spektroskopisi değeri.

No	Bileşen	Miktar (%)	No	Bileşen	Miktar (%)
1	SiO ₂	65,5335	12	SrO	0,0707
2	Al ₂ O ₃	16,6335	13	BaO	0,0547
3	KK	6,2192	14	MnO	0,0500
4	Fe ₂ O ₃	4,2159	15	ZrO ₂	0,0433
5	MgO	2,0043	16	SO ₃	0,0281
6	Na ₂ O	1,8468	17	ZnO	0,0129
7	CaO	1,7051	18	Cl	0,0112
8	K ₂ O	0,6828	19	Rb ₂ O	0,0078
9	TiO ₂	0,5431	20	PbO	0,0044
10	F	0,2135	21	ThO ₂	0,0040
11	P ₂ O ₅	0,1112	22	Nb ₂ O ₅	0,0039

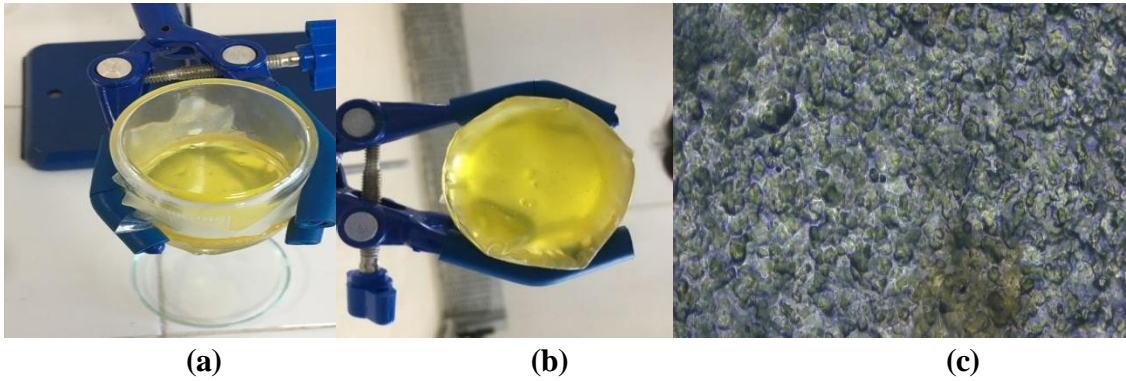
KK: Kızdırma Kaybı

Nano bentonitin XRF analiz sonuçları, Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi, nanobentoniti oluşturan bileşiklerin yüzde olarak 22 adet bileşenden oluştuğunu göstermektedir. Yaygın olan bileşenler arasında %65,53 SiO₂ , %16,63 Al₂ O₃ , %6,22 I, %4,21 Fe₂ O₃ , %2,00 MgO, %1,85 Na₂ O ve %1,70 CaO bulunmaktadır. Bu bileşenlerin nano bentonitin, kimyasal yapısının büyük bir kısmını, oluşturduğu belirlenmiştir. Diğer bileşenler ise daha düşük oranlarda bulunmakta olup, %0,68 K₂ O, %0,54 TiO₂ , %0,21 F, %0,11 P₂ O₅ , %0,07 SrO, %0,05 BaO, %0,05 MnO, %0,04 ZrO₂ , %0,03 SO₃ , %0,01 ZnO, %0,01 Cl, %0,01 Rb₂ O, %0,004 PbO, %0,004 ThO₂ ve %0,004 Nb₂ O₅ olarak belirlenmiştir. Nano bentonitin ana bileşenlerinin silikat ve alüminyum oksit olduğunu görülmektedir.

4.2 Nano bentonit İçerikli Polilaktik Asit Kapak Ambalaj Filmi (BPLAKAF) Özellikleri

4.2.1 Görünür Yağ Sızdırmazlığı ve Mikroskop Görüntü Analizleri

Görünür yağ sızdırmazlığı analizi, üretilen BPLAKAF’daki sızdırmazlık özelliğini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.



Resim 4.1 BPLAKAF’ın görünür yağ sızdırmazlık testinin dış kısmı ve mikroskop görüntüleri: (a): BPLAKAF’ın üstten görüntüsü, (b): BPLAKAF’ın alttan görüntüsü, (c): BPLAKAF’ın mikroskop görüntüsü.

Resim 4.1 (a), (b), (c)’de görüldüğü üzere, yapılan analiz sonucunda, üretilen BPLAKAF’ın yağ sızdırmadığı belirlenmiştir.

4.2.2 Çekme-Dayanım Değeri

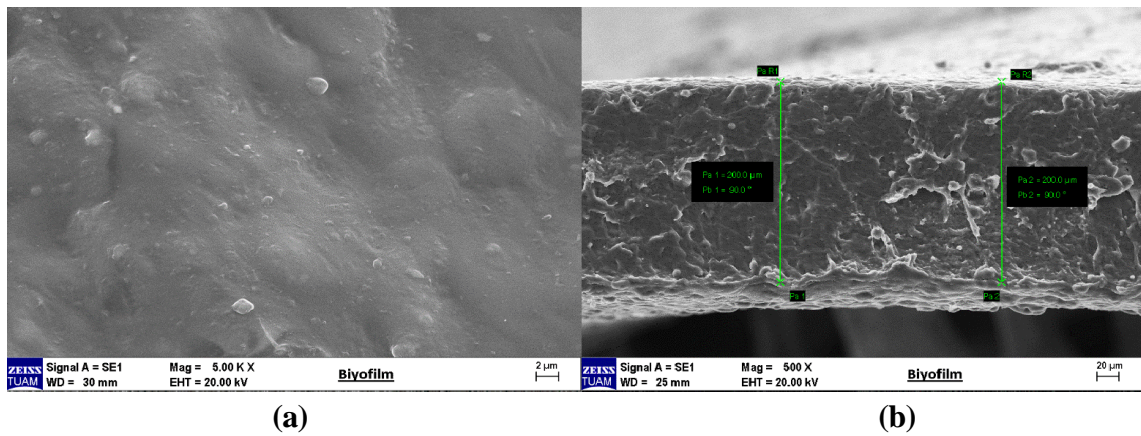
Çekme testi, malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemede sıkça kullanılan bir test yöntemidir. (Ward 2004). BPLAKAF'ın çekme-dayanım analizi sonucu Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çizelge 4.2'de belirtildiği gibi, BPLAKAF'ın çekme-dayanım analizi değeri 0,330(±)0,00 N.m olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2 BPLAKAF çekme-dayanım analizi değeri.

Numune	Çekme-Dayanım (N.m)	(±) Standart Sapma
BPLAKAF	0,330	0

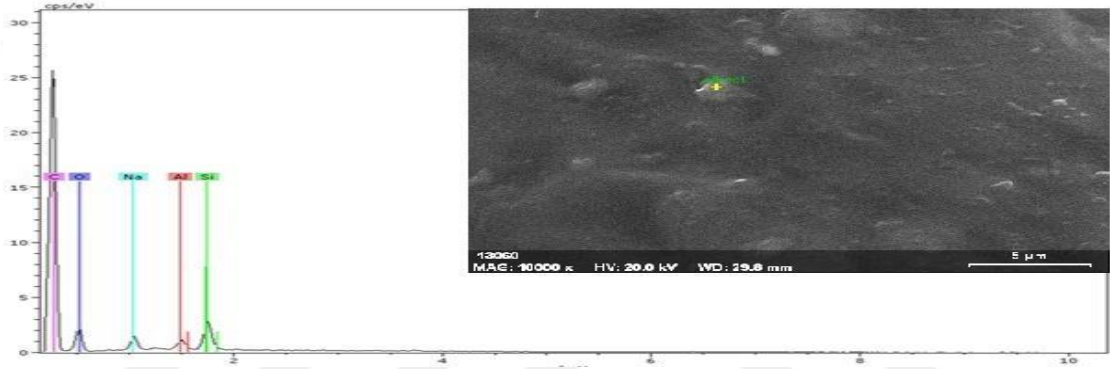
4.2.3 Taramalı Elektron Mikroskobu ve Enerji Dağılım Spektroskopisi

Taramalı elektron mikroskobunun (SEM), malzeme karakterizasyonu için son derece kullanışlı bir cihaz olduğu bilinmektedir. Nano ölçekten mikro ölçeğe kadar geniş bir yelpazede görüntü sağlayarak hem görsel hem de kimyasal karakterizasyon sağlamaktadır (Dalkılıç, 2021). EDS (Enerji Dağılım Spektroskopisi) ise, bir malzemenin kimyasal bileşimini belirlemek için kullanılan analitik bir tekniktir. Bu teknik, genellikle taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile birlikte kullanılmaktadır. (İnt. Kyn. 2, İnt. Kyn. 3). Bu doğrultuda BPLAKAF'ın SEM görüntüsü ve 5000 kez büyütme değerlerine ait morfolojik görünümü Resim 4.2'de gösterilmiştir.



Resim 4.2 BPLAKAF'ın 200 µm değerinde SEM görüntüleri: (a):BPLAKAF'ın morfolojik görüntüsü, (b):BPLAKAF'ın kalınlığı

Resim 4.2 (a)'da, üretilen BPLAKAF örneklerinin 5000 kez büyütme değerlerine ait morfolojik görüntüsü görülmektedir. SEM görüntülerine bakıldığında, BPLAKAF'ın yüzey yapısının genel olarak düzgün olduğu gözlemlenmiştir. Yüzeyde, küçük mikroskopik pürüzlülükler ve düzensizlikler gözlenmiştir. Ayrıca, yüzeyde herhangi bir çatlak veya boşluk oluşumu tespit edilmemiştir. Resim 4.2 (b)'de ise BPLAKAF'ın kalınlığına ait görüntüler yer almaktadır. Bu görüntülerden elde edilen verilere göre, BPLAKAF'ın kalınlığı 200 μm olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan, elde edilen BPLAKAF'ın kimyasal bileşimini belirlemek amacıyla, Şekil 4.1'de görüldüğü üzere numuneler EDS (Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi) cihazında incelenmiştir.



Şekil 4.1 BPLAKAF'ın element kompozisyonu.

SEM görüntüsünde (sağ üst köşe) belirlenen analiz noktasına odaklanılmış ve bu noktanın kimyasal bileşimi analiz edilmiştir. EDS spektrumunda karbon, sodyum, alüminyum, silisyum ve oksijen elementlerinin zirveleri belirgin bir şekilde görülmektedir.

Çizelge 4.3 BPLAKAF SEM/EDS nokta değeri.

Element	Kütlece%	Atomsal%
Karbon	60,96	69,01
Sodyum	2,70	1,6
Alüminyum	1,18	0,6
Silisyum	2,97	1,44
Oksijen	32,19	27,36

Ayrıca; BPLAKAF'ın kimyasal bileşimi incelendiğinde, karbonun kütlece %60,96 ve atomsal %69,01 ile en yüksek oranda bulunduğu görülmektedir. Oksijen, kütlece %32,19 ve atomsal %27,36 oranında yer almaktadır. Silisyum, sodyum ve alüminyum ise daha düşük oranlarda bulunmaktadır; silisyum kütlece %2,97 ve atomsal %1,44, sodyum kütlece %2,70 ve atomsal %1,6, alüminyum kütlece %1,18 ve atomsal %0,6 oranında belirlenmiştir. Bu veriler, BPLAKAF'ın yapısında karbon ve oksijenin baskın elementler olduğunu göstermektedir.

4.3 Zeytinyağının Özellikleri

4.3.1 Serbest Yağ Asitliği

Trigliserit yapıda bulunmayan yağ asitleri serbest formda yer almakta olup, bu durum serbest yağ asitleri olarak tanımlanmaktadır. Serbest yağ asitliği, yağların raf ömrünü izlemek için kullanılan bir ölçüttür ve yağ kalitesi açısından önemli bir parametre olduğu bildirilmiştir. Bu özelliğin, yağların oksidasyon durumu ve rafine edilme sürecinin etkinliği hakkında bilgi sağladığı bildirilmiştir (Angın vd. 2013). PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağlarının serbest yağ asitliği değerleri Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

Çizelge 4.4 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının serbest yağ asitliği değerleri.

Serbest Yağ Asitliği (%)	Ortalama Standart Sapma (±)		Ortalama Standart Sapma (±)		Ortalama Standart Sapma (±)		Ortalama Standart Sapma (±)	
	0.Ay	2.Ay	4.Ay	6.Ay	0.Ay	2.Ay	4.Ay	6.Ay
PKA'lı Zeytinyağı Kontrol Numunesi	0,46 ^a	0,07	0,46 ^a	0,09	0,47 ^a	0,09	0,48 ^a	0,08
BPLAKAF'lı Zeytinyağı Numunesi	0,46 ^a	0,07	0,46 ^a	0,02	0,46 ^a	0,03	0,46 ^a	0,12

^{a-a} Aynı harfler ile belirtilmiş sonuçlar, istatistiki açıdan p<0,05 düzeyinde farklı değildir.

Çizelge 4.4'te belirtildiği gibi, PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu serbest yağ asitliği değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla 0. ay: %0,46, 2. ay: %0,46, 4. ay: %0,47 ve 6. ay: %0,48 olarak değişim göstermiştir. Diğer taraftan, BPLAKAF'lı zeytinyağlarının serbest yağ asitliği değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla 0. ay: %0,46, 2. ay: %0,46, 4. ay: %0,46 ve 6. ay: %0,46 olarak belirlenmiştir. Kontrol grubu PKA ve BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağı numuneleri depolama süresince serbest yağ asitliği değerleri açısından karşılaştırıldığında minimal düzeyde farklılık belirlenmiştir. Diğer taraftan, PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının serbest yağ asitliği değerleri depolama süresi boyunca numune ve kontrol gruplarında istatistiki olarak $p < 0,05$ düzeyinde farklılık göstermemiştir.

4.3.2 Peroksit Sayısı

Yağlarda aktif olarak bulunan oksijen miktarının bir ölçüsü olan peroksit sayısı, bir kilogram yağda bulunan peroksit oksijeninin miliekivalen gramı olarak tanımlanmaktadır. Sıcaklık, oksijen, ışık ve metal iyonları gibi faktörler, yağların depolanmaları sırasında yağları bozmaktadır. Ayrıca, oksijenin doymamış yağ asitlerini parçalayarak daha küçük moleküllü yağ asitleri meydana getirdiği bildirilmiştir (Angın vd. 2013). PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağlarının peroksit değerleri Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının peroksit değerleri.

Peroksit Sayısı (meq O ₂ /kg)	0.Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	2.Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	4.Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	6.Ay	Ortalama Standart Sapma (±)
PKA'lı Zeytinyağı Kontrol Numunesi	2,94 ^f	0,74	3,53 ^c	0,39	3,63 ^b	0,27	3,82 ^a	0,08
BPLAKAF'lı Zeytinyağı Numunesi	2,94 ^f	0,74	3,08 ^e	1,02	3,37 ^d	0,50	3,56 ^c	0,17

^{a-f} Farklı harfler ile belirtilmiş sonuçlar, istatistiki açıdan $p < 0,05$ düzeyinde farklıdır. .

Çizelge 4.5'te belirtildiği gibi, PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu peroksit sayısı değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla 0. ay: 2,94 meq O₂ /kg, 2. ay: 3,53 meq O₂ /kg, 4. ay: 3,63 meq O₂ /kg ve 6. ay: 3,82 meq O₂ /kg olarak değişim göstermiştir. Diğer taraftan, BPLAKAF'lı zeytinyağlarının peroksit sayısı değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla 0. ay: 2,94 meq O₂ /kg, 2. ay: 3,08 meq O₂ /kg, 4. ay: 3,37 meq O₂ /kg ve 6. ay: 3,56 meq O₂ /kg olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda, PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının peroksit değerleri depolama süresi boyunca numune ve kontrol gruplarında istatistiki olarak p<0,05 düzeyinde farklılık göstermiştir.

4.3.3 İyot Sayısı

100 g yağın bağlayabileceği iyot miktarını gösteren iyot sayısı, yağın doymuşluk veya doymamışlık derecesi hakkında bilgi vermektedir. Genel olarak, iyot sayısı yükseldikçe yağın kuruma özelliğinin de arttığı ifade edilmektedir (Angın vd. 2013). PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağlarının iyot sayısı değerleri Çizelge 4.6 üzerinde verilmiştir.

Çizelge 4.6 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının iyot sayısı değerleri.

İyot Sayısı (gI ₂ /100g)	0.Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	2.Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	4.Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	6.Ay	Ortalama Standart Sapma (±)
PKA'lı Zeytinyağı Kontrol Numunesi	85,11 ^a	0,0643	83,05 ^b	0,3024	82,89 ^b	0,2458	83,02 ^b	0,2914
BPLAKAF'lı Zeytinyağı Numunesi	85,11 ^a	0,0643	82,87 ^b	0,5462	83,03 ^b	0,9318	82,84 ^b	0,4335

^{a-b} Farklı harfler ile belirtilmiş sonuçlar, istatistiki açıdan p<0,05 düzeyinde farklıdır.

Çizelge 4.6'da belirtildiği gibi, PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu iyot sayısı değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla 0. ay: 85,11 gI₂ /100g, 2. ay: 83,05 gI₂ /100g, 4. ay: 82,89 gI₂ /100g ve 6. ay: 83,02 gI₂ /100g olarak değişim göstermiştir. Diğer taraftan,

BPLAKAF'lı zeytinyağlarının iyot sayısı değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla 0. ay: 85,11 gI₂ /100g, 2. ay: 82,87 gI₂ /100g, 4. ay: 83,03 gI₂ /100g ve 6. ay: 82,84 gI₂ /100g olarak belirlenmiştir. Kontrol grubu PKA ve BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağı numuneleri depolama süresince iyot değerleri açısından karşılaştırıldığında minimal düzeyde farklılık belirlenmiştir. Diğer taraftan, PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının iyot sayısı değerleri depolama süresi boyunca numune ve kontrol gruplarında istatistiki olarak p<0,05 aynı düzeyde farklılık göstermiştir.

4.3.4 Renk

Renk parametresi, zeytinyağının renk özelliklerini belirlemek ve sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Zeytinyağında renk tayini için kullanılan K ve S, iki farklı parametreyi ifade etmektedir. K (Kırmızı Renk Değeri), zeytinyağının kırmızı renk yoğunluğunu ifade eder. Bu değer, zeytinyağının içerdiği kırmızı pigmentlerin miktarını ölçer ve zeytinyağının renginin ne kadar yoğun ve koyu olduğunu belirlemede önemli bir parametre olduğu bildirilmiştir. (Anonim 2013). S (Sarı Renk Değeri) ise zeytinyağının sarı renk tonunu ölçen bir parametredir (Borello ve Domenici, 2019). PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağlarının renk tayini değerleri aşağıda verilen Çizelge 4.7'de görülmektedir.

Çizelge 4.7 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının renk tayini değerleri.

Renk	0.Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	2.Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	4.Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	6. Ay	Ortalama Standart Sapma (±)
PKA'lı Zeytinyağı Kontrol Numunesi	2,1 ^d 70 ^a	0,15 K 0,48 S	2,2 ^e 70 ^a	0,11 K 0,18 S	3,1 ^{bc} 70 ^a	0,10 K 0,07 S	3,6 ^a 70 ^a	0,07 K 0,03 S
BPLAKAF'lı Zeytinyağı Numunesi	2,1 ^d 70 ^a	0,15 K 0,48 S	2,5 ^e 70 ^a	0,24 K 0,24 S	2,8 ^c 70 ^a	0,12 K 0,14 S	3,2 ^b 70 ^a	0,14 K 0,07 S

^{a-c} Farklı harfler ile belirtilmiş sonuçlar, istatistiki açıdan p<0,05 düzeyinde farklıdır.

Çizelge 4.7'de belirtildiği gibi, PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu renk değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla 0. ay: 2,1K / 70S, 2. ay: 2,2K / 70S, 4. ay: 3,1K / 70S ve 6. ay: 3,6K / 70S olarak değişim göstermiştir. Diğer taraftan, BPLAKAF'lı zeytinyağlarının renk değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla 0. ay: 2,1K / 70S, 2. ay: 2,5K / 70S, 4. ay: 3,8K / 70S ve 6. ay: 3,2K / 70S olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda, PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının kırmızı renk değerleri depolama süresi boyunca numune ve kontrol gruplarında istatistiki olarak $p < 0,05$ düzeyinde farklılık gösterir iken sarı renk değerlerinin farklılık göstermediği tespit edilmiştir.

4.3.5 Refraktif İndeks

Bir ortamın refraktif indeksi, ışığın boşluktaki hızının o ortamdaki hızına oranıdır. Bu oran, havadan numune ortamına giren ışık demetinin düşey düzlemle yaptığı açılarının sinüslerinin oranı ile belirlenir. Refraktif indeks genellikle beyaz ışık kullanılarak ölçülür ve sembol olarak 'nD' kullanılır. Refraktif indeksin, yemeklik yağların saflık dereceleri hakkında bilgi sağladığı ifade edilmiştir. Refraktif indeksin, her gıdanın kendine özgü bir özellik olduğu ve bu yöntemin nitel ve nicel analizlerde kullanılabileceği vurgulanmıştır (Anonim 2020). PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağlarının refraktif indeks değerleri aşağıda verilen Çizelge 4.8'de görülmektedir.

Çizelge 4.8 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının refraktif indeks değerleri.

Refraktif İndeks (nD)	0.Ay	Ortalama Standart Sapma (\pm)	2.Ay	Ortalama Standart Sapma (\pm)	4.Ay	Ortalama Standart Sapma (\pm)	6.Ay	Ortalama Standart Sapma (\pm)
PKA'lı Zeytinyağı Kontrol Numunesi	1,4684 ^c	0,0002	1,4688 ^{bc}	0,0001	1,4690 ^b	0,0006	1,4719 ^a	0,0002
BPLAKAF'lı Zeytinyağı Numunesi	1,4684 ^c	0,0002	1,4689 ^{bc}	0,0001	1,4686 ^c	0,0001	1,4689 ^{bc}	0,0001

^{a-b-c} Farklı harfler ile belirtilmiş sonuçlar, istatistiki açıdan $p < 0,05$ düzeyinde farklıdır.

Çizelge 4.8'de belirtildiği gibi, PKA'lı zeytinyağı kontrol numunesi refraktif indeks değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla 0. ay: 1,4684, 2. ay: 1,4688, 4. ay: 1,4690 ve 6. ay: 1,4719 olarak değişim göstermiştir. Diğer taraftan, BPLAKAF'lı zeytinyağı numunesi refraktif indeks değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla 0. ay: 1,4684, 2. ay: 1,4689, 4. ay: 1,4686 ve 6. ay: 1,4689 olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda, PKA'lı zeytinyağı kontrol numunesi ve BPLAKAF'lı zeytinyağı numunesinin refraktif indeks değerleri depolama süresi boyunca numune ve kontrol gruplarında istatistiki olarak $p<0,05$ düzeyinde farklılık göstermiştir.

4.3.6 Viskozite

Bir sıvının, diğer bir sıvı tabakasındaki akışına karşı gösterdiği dirence viskozite denilmektedir. Viskozite, akışkan gıdaların önemli fiziksel özelliklerinden biri olarak bildirilmiştir (Anonim 2010). PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağlarının viskozite değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının viskozite değerleri.

Viskozite (mPa)	0.Ay	Ortalama Standart Sapma (\pm)	2.Ay	Ortalama Standart Sapma (\pm)	4.Ay	Ortalama Standart Sapma (\pm)	6.Ay	Ortalama Standart Sapma (\pm)
PKA'lı Zeytinyağı Kontrol Numunesi	101 ^a	0,99	84 ^{cd}	0,45	82 ^{de}	0,26	80 ^e	2,40
BPLAKAF'lı Zeytinyağı Numunesi	101 ^a	0,99	94 ^b	0,41	92 ^b	0,16	85 ^e	0,24

^{a-e} Farklı harfler ile belirtilmiş sonuçlar, istatistiki açıdan $p<0,05$ düzeyinde farklıdır.

Çizelge 4.9'da belirtildiği gibi, PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu viskozite değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla 0. ay: 101 mPa, 2. ay: 84 mPa, 4. ay: 82 mPa ve 6. ay: 80 mPa olarak değişim göstermiştir. Diğer taraftan, BPLAKAF'lı zeytinyağlarının viskozite değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla 0. ay: 101 mPa, 2. ay: 94 mPa, 4.

ay: 92 mPa ve 6. ay: 85 mPa olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda, PKA'lı zeytinyağı kontrol numunesi ve BPLAKAF'lı zeytinyağı numunesinin viskozite değerleri depolama süresi boyunca numune ve kontrol gruplarında istatistiki olarak $p < 0,05$ düzeyinde farklılık göstermiştir.

4.3.7 Oksidatif Stabilite

Oksidatif stabilite, yağların ve yağ içeren ürünlerin oksidasyona karşı direnç gösterme kapasitesini ifade etmektedir. Bu, bir yağın oksijenle temas ettiğinde ne kadar süreyle bozulmadan kalabileceğinin bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Oksidasyon, yağların kalite ve besin değerini olumsuz yönde etkileyen bir süreç olarak bilinmektedir. Bu nedenle, oksidatif stabilitenin yüksek olması, yağların raf ömrü ve kalitesinin korunması açısından kritik öneme sahip olmaktadır (AOCS 1989). PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağlarının oksidatif stabilite değerleri Çizelge 4.10 üzerinde verilmiştir.

Çizelge 4.10 PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının oksidatif stabilite değerleri.

Oksidatif Stabilite (h)	0.Ay	2.Ay	4.Ay	6.Ay
PKA'lı Zeytinyağı Kontrol Numunesi	5,92	6,03	7,78	7,78
BPLAKAF'lı Zeytinyağı Numunesi	5,92	5,94	7,77	7,78

Çizelge 4.10'da belirtildiği gibi, PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu oksidatif stabilite değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla 0. ay: 5,92 h, 2. ay: 6,03 h, 4. ay: 7,78 h ve 6. ay: 7,78 h olarak değişim göstermiştir. Diğer taraftan, BPLAKAF'lı zeytinyağlarının oksidatif stabilite değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla 0. ay: 5,92 h, 2. ay: 5,94 h, 4. ay: 7,77 h ve 6. ay: 7,78 h olarak belirlenmiştir.

4.3.8 Yağ Asitleri Kompozisyonu

Her yağın kendine özgü yağ asitlerinden oluştuğu ve yağ asitlerinin bileşimleriyle tanımlandığı bilinmektedir. Yağ asitleri kompozisyon analizi, özellikle yağlara yapılan taşış ile doymuş ve doymamış yağ asidi yüzdelerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. (Anonim 2018). PKA'lı kontrol grubu zeytinyağlarının doymuş yağ asitleri değerleri aşağıda görülen Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11 PKA'lı kontrol grubu zeytinyağlarının doymuş yağ asitleri değerleri.

Doymuş Yağ Asitleri (%)	0. Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	2. Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	4. Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	6. Ay	Ortalama Standart Sapma (±)
Mirisitik Asit	0,173 ^a	0,032	0,010 ^b	0,007	0,009 ^b	0,007	0,013 ^b	0,004
Palmitik Asit	9,970 ^b	0,085	12,893 ^a	0,730	13,017 ^a	0,032	12,751 ^a	0,132
Margarik Asit	0,153 ^{ab}	0,040	0,130 ^{ab}	0,026	0,151 ^{ab}	0,016	0,153 ^{ab}	0,011
Stearik Asit	3,563 ^a	0,050	3,250 ^a	0,036	3,283 ^a	0,211	3,306 ^a	0,137
Araşidik Asit	0,530 ^a	0,060	0,170 ^c	0,026	0,274 ^{bc}	0,018	0,270 ^{bc}	0,015
Behenik Asit	0,140 ^d	0,052	0,133 ^d	0,023	0,395 ^a	0,007	0,241 ^b	0,020
Lignoserik Asit	0,330 ^a	0,106	0,100 ^b	0,026	0,166 ^b	0,006	0,396 ^a	0,010

^{a-d} Farklı harfler ile belirtilmiş sonuçlar, istatistiki açıdan p<0,05 düzeyinde farklıdır.

Çizelge 4.11'de görüldüğü gibi, toplam 7 adet yağ asidi bulunduğu belirtilmiştir. PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu doymuş yağ asitleri değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla miristik asit için 0. ay: %0,173, 2. ay: %0,010, 4. ay: %0,009 ve 6. ay: %0,012, palmitik asit için 0. ay: %9,970, 2. ay: %12,893, 4. ay: %13,017, 6. ay: %13,002,

margarik asit için 0. ay: %0,153, 2. ay: %0,130, 4. ay: %0,151, 6. ay: %0,157, stearik asit için 0. ay: %3,563, 2. ay: %3,250, 4. ay: %3,283, 6. ay: %3,300, araşidik asit için 0. ay: %0,530, 2. ay: %0,170, 4. ay: %0,274, 6. ay: %0,239, behenik asit için 0. ay: %0,140, 2. ay: %0,133, 4. ay: %0,395, 6. ay: %0,241 ve lignoserik asit için 0. ay: %0,330, 2. ay: %0,100, 4. ay: %0,166, 6. ay: %0,396 olarak değişim göstermiştir. BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağlarının doymuş yağ asitleri değerleri aşağıda görölen Çizelge 4.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12 BPLAKAF’lı zeytinyağlarının doymuş yağ asitleri değerleri.

Doymuş Yağ Asitleri (%)	0. Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	2. Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	4. Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	6. Ay	Ortalama Standart Sapma (±)
Mirisitik Asit	0,173 ^a	0,032	0,020 ^b	0,078	0,012 ^b	0,002	0,025 ^b	0,007
Palmitik Asit	9,970 ^b	0,085	12,866 ^a	0,142	13,002 ^a	0,120	12,753 ^a	0,082
Margarik Asit	0,153 ^{ab}	0,040	0,120 ^b	0,026	0,157 ^{ab}	0,009	0,184 ^a	0,009
Stearik Asit	3,563 ^a	0,050	3,343 ^a	0,122	3,300 ^a	0,060	3,380 ^a	0,075
Araşidik Asit	0,530 ^a	0,060	0,270 ^{bc}	0,087	0,239 ^{bc}	0,016	0,328 ^b	0,024
Behenik Asit	0,140 ^d	0,052	0,163 ^{cd}	0,020	0,122 ^d	0,005	0,224 ^{bc}	0,017
Lignoserik Asit	0,330 ^a	0,106	0,163 ^b	0,025	0,205 ^b	0,003	0,442 ^a	0,027

^{a-d} Farklı harfler ile belirtilmiş sonuçlar, istatistiki açıdan p<0,05 düzeyinde farklıdır.

Çizelge 4.12’de göröldüğü gibi BPLAKAF’lı zeytinyağlarının doymuş yağ asitleri değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla miristik asit için 0. ay: %0,173, 2. ay: %0,020, 4. ay: %0,013, 6. ay: %0,025, palmitik asit için 0. ay: %9,970, 2. ay: %12,866,

4. ay: %13,002, 6. ay: %12,753, margarik asit için 0. ay: %0,153, 2. ay: %0,120, 4. ay: %0,157, 6. ay: %0,184, stearik asit için 0. ay: %3,563, 2. ay: %3,343, 4. ay: %3,306, 6. ay: %3,380, araşidik asit için 0. ay: %0,530, 2. ay: %0,270, 4. ay: %0,270, 6. ay: %0,328, behenik asit için 0. ay: %0,140, 2. ay: %0,163, 4. ay: %0,122, 6. ay: %0,224 ve lignoserik asit için 0. ay: %0,330, 2. ay: %0,163, 4. ay: %0,205, 6. ay: %0,442 olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan, PKA'lı ve BPLAKAF'lı zeytinyağları doymuş yağ asitleri yüzde değerleri depolama süresi boyunca istatistiki olarak $p<0,05$ düzeyinde farklılık göstermiştir. PKA'lı kontrol grubu zeytinyağlarının doymamış yağ asitleri değerleri aşağıda görülen Çizelge 4.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.13 PKA'lı kontrol grubu zeytinyağlarının doymamış yağ asitleri değerleri.

Doymamış Yağ Asitleri (%)	0.Ay	Ortalama Standart Sapma (\pm)	2.Ay	Ortalama Standart Sapma (\pm)	4.Ay	Ortalama Standart Sapma (\pm)	6.Ay	Ortalama Standart Sapma (\pm)
Palmitoleik Asit	0,703 ^b	0,127	1,040 ^{ab}	0,026	1,065 ^a	0,002	1,050 ^a	0,192
Heptadesenoik Asit	0,233 ^a	0,083	0,253 ^a	0,110	0,268 ^a	0,012	0,257 ^a	0,020
Oleik Asit	74,643 ^a	0,454	73,180 ^b	0,387	72,240 ^b	0,070	72,148 ^b	0,270
Linoleik Asit	8,453 ^a	0,122	8,180 ^a	0,026	8,385 ^a	0,026	8,306 ^a	0,082
Linolenik Asit	0,650 ^a	0,091	0,483 ^a	0,087	0,591 ^a	0,025	0,595 ^a	0,114
Ekosanoik Asit	0,330 ^b	0,052	0,183 ^c	0,023	0,154 ^c	0,001	0,595 ^a	0,022

^{a-b-c} Farklı harfler ile belirtilmiş sonuçlar, istatistiki açıdan $p<0,05$ düzeyinde farklıdır.

Çizelge 4.13'de görüldüğü gibi, toplam 7 adet doymamış yağ asidi bulunduğu belirtilmiştir. PKA'lı zeytinyağı kontrol grubu doymamış yağ asitleri değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla palmitoleik asit için 0. ay: %0,703, 2. ay: %1,040, 4. ay: %1,065 ve 6. ay: %1,044, heptadesenoik asit için 0. ay: %0,233, 2. ay: %0,253, 4. ay: %0,268, 6. ay: %0,259, oleik asit için 0. ay: %74,643, 2. ay: %73,180, 4. ay: %72,240, 6. ay: %72,553, linoleik asit için 0. ay: %8,453, 2. ay: %8,180, 4. ay: %8,385, 6. ay:

%8,361, linolenik asit için 0. ay: %0,650, 2. ay: %0,483, 4. ay: %0,591, 6. ay: %0,550, ekosanoik asit için 0. ay: %0,330, 2. ay: %0,183, 4. ay: %0,154, 6. ay: %0,196 tespit edilmiştir.

Çizelge 4.14 BPLAKAF'lı zeytinyağlarının doymamış yağ asitleri değerleri.

Doymamış Yağ Asitleri (%)	0.Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	2.Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	4.Ay	Ortalama Standart Sapma (±)	6.Ay	Ortalama Standart Sapma (±)
Palmitoleik Asit	0,703 ^b	0,127	1,040 ^{ab}	0,210	1,044 ^a	0,012	1,072 ^a	0,072
Heptadesenoik Asit	0,233 ^a	0,083	0,263 ^a	0,023	0,259 ^a	0,021	0,282 ^a	0,019
Oleik Asit	74,643 ^a	0,454	72,773 ^b	0,574	72,553 ^b	0,545	72,008 ^b	0,540
Linoleik Asit	8,453 ^a	0,122	8,213 ^a	0,206	8,361 ^a	0,040	8,332 ^a	0,102
Linolenik Asit	0,650 ^a	0,091	0,513 ^a	0,066	0,550 ^a	0,025	0,625 ^a	0,008
Ekosanoik Asit	0,330 ^b	0,052	0,243 ^{bc}	0,075	0,196 ^c	0,007	0,343 ^b	0,052

^{a-b-c} Farklı harfler ile belirtilmiş sonuçlar, istatistiki açıdan p<0,05 düzeyinde farklıdır.

Çizelge 4.14'de görüldüğü gibi BPLAKAF'lı zeytinyağlarının doymamış yağ asitleri değerleri depolama süresi boyunca sırasıyla palmitoleik asit için 0. ay: %0,703, 2. ay: %1,040, 4. ay: %1,050, 6. ay: %1,072, heptadesenoik asit için 0. ay: %0,233, 2. ay: %0,263, 4. ay: %0,257, 6. ay: %0,282, oleik asit için 0. ay: %74,643, 2. ay: %72,773, 4. ay: %72,148, 6. ay: %72,008, linoleik asit için 0. ay: %8,453, 2. ay: %8,213, 4. ay: %8,306, 6. ay: %8,332, linolenik asit için 0. ay: %0,650, 2. ay: %0,513, 4. ay: %0,595, 6. ay: %0,625 olarak belirlenmiştir. Ekosanoik asit için ise 0. ay: %0,330, 2. ay: %0,243, 4. ay: %0,595, 6. ay: %0,343 tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, PKA'lı ve BPLAKAF'lı zeytinyağlarının doymamış yağ asitleri değerleri depolama süresi boyunca istatistiki olarak p<0,05 düzeyinde farklılık göstermiştir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında, bulgular kısmında tespit edilen sonuçlar sırasıyla literatürle kıyaslandığında; Christidis vd. (2006), bentonitin kimyasal bileşimi üzerine yaptıkları çalışmada, bentonitin %60-70 oranında SiO₂ ve %15-20 oranında Al₂O₃ içerdiğini belirtmişlerdir. Çalışmamızda nano bentonit içindeki en baskın bileşenler %65,53 SiO₂ ve %16,63 Al₂O₃ olarak belirlenmiştir. Harvey ve Murray (1997), bentonitin demir oksit içeriğinin %3-5 arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Çalışmamızda Fe₂O₃ içeriği %4,21 olarak bulunmuştur ve bu oran literatürle uyumludur. MgO ve Na₂O içeriği sırasıyla %2,00 ve %1,85 olarak belirlenmiştir. Harvey ve Murray (1997), bentonitin MgO ve Na₂O içeriklerinin genellikle %1-3 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Diğer eser elementler arasında K₂O (%0,68), TiO₂ (%0,54), F (%0,21) ve P₂O₅ (%0,11) bulunmaktadır. Koyuncu ve Küçük (2000), bentonitin farklı türlerinde K₂O içeriğinin %0,5-1 arasında değiştiğini rapor etmişlerdir ki bu da çalışmamızdaki değerlerle uyumludur. Sonuçlarımız, literatürde rapor edilen bentonit analiz sonuçları ile büyük ölçüde uyumludur. Ancak, bazı eser elementlerin (örneğin, SrO, BaO, MnO) içerikleri literatürde belirtilen değerlerden biraz daha düşük bulunmuştur. Bu farklılıklar, numune kaynağı ve hazırlama yöntemlerinden kaynaklanabilir. Elde edilen sonuçlar, nano bentonitin kimyasal yapısının büyük bir kısmını silikat ve alüminyum oksitlerin oluşturduğunu göstermektedir.

Cho vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, mısır zein (CZ) tabakası ile kaplanmış soya protein izolatu (SPI) filminden oluşan bir yenilebilir oksijen bariyerli film poşeti oluşturulmuş ve zeytinyağı ürünlerini paketlemek için kullanılmıştır. Çalışmada, SPI filminin kalınlığı 115,9 µm olarak ölçülmüştür. Arabgol vd. 2020, yaptıkları bir çalışmada, biyofilm kalınlığının farklı taşıyıcı tiplerine göre değişimini incelemiştir. Çalışmada AnoxK™ Z-200 ve Z-400 taşıyıcıları kullanılarak biyofilm kalınlığının sırasıyla 200 ve 400 µm olarak sınırlandırıldığı belirtilmiştir ve biyofilm kalınlığının 281,1 ± 8,7 µm olduğu bulunmuştur. Gomes vd. (2023) yaptıkları çalışmada, *E. coli* biyofilmlerinin farklı yüzey materyallerinde oluşturduğu kalınlık incelemiştir. SEM analizleri sonucunda, biyofilm kalınlığının yüzey materyaline ve uygulanan antibiyotik tedavisine bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Çalışmada, biyofilm kalınlıklarının

ortalama olarak 100-300 µm aralığında değiştiği belirtilmiştir. Bu veriler doğrultusunda, BPLAKAF'ın SEM analizinde biyofilm kalınlığının 200 mikrometre olarak bulunmuştur, bu değer literatürdeki diğer çalışmalarla tutarlı olduğunu göstermektedir.

Gutiérrez ve Fernández (2002) tarafından, sızma zeytinyağının kalite özellikleri üzerindeki paketleme parametreleri ve depolama sıcaklığının etkisi, 0 ile 12 ay arasındaki depolama süresi boyunca incelenmiştir. Test edilen ambalaj malzemeleri arasında şeffaf cam, şeffaf polietilen tereftalat (PET) ve şeffaf polipropilen (PP) şişeler bulunmaktadır. Asitlik (%) oleik asit cinsinde llmřtir. şeffaf camda, 0. ayda 0,63; 9. ayda 0,70 ve 12. ayda 0,75 olarak llmřtir. Aynı zeytinyağı PET için ise 0. Ayda 0,63, 6. ayda 0,71 ve 12. ayda 0,79 olarak bulunmuştur. Son olarak, PP'de ise 0. Ayda 0,63, 3. ayda 0,70, 9. ayda 0,79 ve 12. ayda 0,83 olarak tespit edilmiştir. Akpınar Borazan vd. (2020), yaptıkları çalışmada zeytinyağının serbest yağ asidi değerini % 0,47 bulmuşlardır. Güneşer (2021) tarafından yapılan çalışmada, zeytinyağının 5 aylık depolama süresince serbest yağ asitliği değerleri şu şekildedir: 0. ayda %0,11; 1. Ayda %0,20; 3. ayda %0,31 ve 5. ayda %0,56 olarak belirlenmiştir. Benincasa vd. (2023), yaptıkları çalışmada zeytinyağının ambalajlanması ve depolanması konusundaki çeşitli yöntemleri incelerken, PLA biyofilm ambalajlarının zeytinyağının kimyasal ve fiziksel özelliklerini uzun süre korumada etkili olduğunu vurgulamaktadır. Çalışmada, PLA biyofilm ambalajı kullanılarak paketlenen zeytinyağının serbest yağ asitliği %0,25 olarak tespit edilmiştir. Grossi vd. (2021) ise, PLA biyofilm ile ambalajlanmış zeytinyağının serbest yağ asitliği oranı %0,30 olarak rapor etmiştir. Ayrıca, Türk Gıda Kodeksi'ne göre natürel sızma zeytinyağının serbest yağ asidi içeriği $\leq 0,8$ olmalıdır. Yapmış olduğumuz çalışmada, BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının 0-6 aylık dönemde serbest yağ asitliği %0,46 olarak belirlenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre elde edilen değer, belirlenen standartlara uygun olarak $\leq 0,8$ değerindedir. Bu veriler doğrultusunda, BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının serbest yağ asitliği değerleri, diğer ambalaj türleri ve depolama koşulları altında yapılan çalışmalarla tutarlıdır.

Köseoğlu, (2013) tarafından yapılan çalışmada, Ayvalık ve Memecik zeytinyağlarının 15 ay boyunca karanlık ortamda depolanması süresince peroksit değerleri incelenmiştir.

2019 yılının ilk hasadında, Ayvalık ve Memecik zeytinyağlarının peroksit değerleri sırasıyla 3,35 ve 5,40 meq O₂/kg yağ olarak ölçülmüştür. Ancak, depolamanın 150. gününde yapılan ölçümlerde, peroksit değerleri sırasıyla 4,33 meq O₂/kg yağ ve 6,18 meq O₂/kg yağ düzeylerine yükselmiştir. Benincasa vd. (2023), PLA biyofilm ambalajlarının zeytinyağının kimyasal ve fiziksel özelliklerini korumadaki etkinliğini vurgularken, peroksit sayısının düşük seviyelerde kaldığını belirtmiştir. Çalışmada, PLA biyofilm ile ambalajlanmış zeytinyağının peroksit değeri 5,2 meq O₂/kg olarak tespit edilmiştir. Kráčmar vd. (2019) araştırmalarında, Blanqueta sızma zeytinyağı (BEVOO) örneklerinde iki yıllık depolama süresi boyunca peroksit değerleri incelenmiştir. Bulgulara göre, Ekim 2014'te 1,36; Nisan 2015'te 1,51 ve Ocak 2016'da ise 2,61 meq O₂/kg yağ seviyelerine ulaşılmıştır. Türk Gıda Kodeksi'ne göre natürel sızma zeytinyağının peroksit değeri en fazla 20 meq O₂/kg olmalıdır. Yapmış olduğumuz çalışmada, BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının 0-6 aylık dönemde peroksit değerleri sırasıyla 2,94 meq O₂/kg, 3,08 meq O₂/kg, 3,37 meq O₂/kg ve 3,56 meq O₂/kg olarak belirlenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre elde edilen değer, belirlenen standartlara uygun olarak düşük seviyelerde kalmıştır. Bu veriler doğrultusunda, BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının peroksit sayısı değerleri, diğer ambalaj türleri ve depolama koşulları altında yapılan çalışmalarla kıyaslandığında daha düşük olup, zeytinyağının peroksit sayısı yönünden oksidatif bozulmaya karşı korunduğunu göstermektedir.

Cobzaru vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, ticari olarak temin edilebilen rafine zeytinyağının oda sıcaklığında 12, 24, 36 ve 48 ay depolama süresi boyunca kalitesi incelenmiştir. Bulgulara göre, zeytinyağı örneğinin iyot değeri 79,0 iken, 12. ayda 59,0, 36. ayda 43,0 ve 48. ayda 39,0 olarak belirlenmiştir. Bu değerler, 48 ay sonuna kadar %40'ın altına düşmektedir. Torres vd. (2006), Córdoba'da (Arjantin) yetiştirilen Arbequina zeytinlerinden elde edilen sızma zeytinyağının iyot değerini 2001'de 91,5, 2002'de 88,6 ve 2003'de 86,0 olarak bulmuşlardır. Tarapoulouzi vd. (2021) ise, yağların iyot sayısını belirlemek için kullanılan yöntemleri tartışmakta ve PLA biyofilm ambalajlı zeytinyağının iyot değerinin 82,4 gI₂/100g olarak belirlendiğini belirtmektedir. Türk Gıda Kodeksine göre zeytinyağının standart iyot sayısı değeri 75 ile 94 I₂/100g arasındadır. Yapmış olduğumuz çalışmada, BPLAKAF ile ambalajlanmış

zeytinyağının 0-6 aylık dönemde iyot değerleri sırasıyla 85,11 gI₂/100g, 82,87 gI₂/100g, 83,03 gI₂/100g ve 82,84 gI₂/100g olarak belirlenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre, BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının iyot değerleri belirlenen standart seviyeler içindedir. Bu veriler doğrultusunda, BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının iyot sayısı değerleri, diğer ambalaj türleri ve depolama koşulları altında yapılan çalışmalarla kıyaslandığında uygun seviyelerde olduğunu göstermektedir.

Perera vd. (2023), biyobazlı ve biyobozunur polimerik malzemelerin gıda ambalajlamada kullanımı ile ilgili çalışmada, PLA biyofilm ambalajlı zeytinyağının renk değerlerini ölçmüşlerdir; sonuçlar, zeytinyağının renginin taze kaldığını ve oksidasyon nedeniyle oluşabilecek renk değişimlerinin minimumda tutulduğunu göstermektedir. Zeytinyağının renk değerleri 6 aylık depolama süresi boyunca, 3,1K/42,8S olarak belirlenmiştir. Versino vd. (2021), biyopolimerler ve onların ambalaj uygulamaları üzerine yaptıkları çalışmada, PLA biyofilm ambalajının zeytinyağının rengini korumada etkili olduğunu ve renk değişikliklerinin minimal olduğunu belirtmişlerdir; 6 aylık depolama süresince zeytinyağının renk değerleri 2,9K/41,7S olarak rapor edilmiştir. BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının renk değerleri 0-6 aylık dönemde sırasıyla 2,1K/70S, 2,5K/70S, 3,8K/70S ve 3,2K/70S olarak belirlenmiştir. BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının renk değerleri, diğer ambalaj türleri ve depolama koşulları altında yapılan çalışmalarla kıyaslandığında uygun seviyelerde olup, zeytinyağının rengini ve tazeliğini korumada etkili olduğunu göstermektedir.

Bahti vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada ise Filistin'in çeşitli bölgelerinden toplanan zeytinyağı örnekleri incelenmiş ve refraktif indis ortalama değeri 1,4708 olarak ölçülmüştür. Yunus vd. (2009), yaptıkları çalışmada zeytinyağı ve hindistancevizi yağı gibi yenilebilir yağların refraktif indekslerinin ölçülmesini ve karşılaştırılmasını incelemişlerdir. Çalışmada, PLA biyofilm ambalajlı zeytinyağının refraktif indeksi 1,468 olarak tespit edilmiştir. Tarapoulouzi vd. (2021) ise, yenilebilir yağların kırılma indislerinin çeşitli faktörlere bağlı olarak nasıl değiştiği incelemişlerdir. Çalışmada, PLA biyofilm ambalajının zeytinyağının refraktif indisini korumada etkili olduğu ve refraktif indeksin 1,470 olarak belirlendiği rapor edilmiştir. Yapmış

olduğumuz çalışmada BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının refraktif indis değerleri 0-6 aylık dönemde sırasıyla 1,4684, 1,4689, 1,4686 ve 1,4689 olarak belirlenmiştir. Bu veriler doğrultusunda, BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının refraktif indis değerleri, diğer ambalaj türleri ve depolama koşulları altında yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Giovenzana vd. (2019) yaptıkları çalışmada zeytinyağının viskozitesini geleneksel ve yenilikçi ambalaj çözümleri ile karşılaştırmıştır. Çalışmada, PLA biyofilm ambalajlı zeytinyağının viskozitesi başlangıçta 84 mPa olarak tespit edilmiştir. Bu değer, 3. ayda 83 mPa ve 6. ayda 82 mPa olarak ölçülmüştür.

Basavegowda ve Baek (2021), zeytinyağının çeşitli biyopolimer ambalajlar altında viskozite değişimleri incelemiştir. Çalışmada, PLA biyofilm ile ambalajlanmış zeytinyağının viskozitesi başlangıçta 82 mPa olarak ölçülmüştür. Viskozite değerleri 3. ayda 81 mPa ve 6. ayda 80 mPa olarak tespit edilmiştir. Ölçümler, zeytinyağının 0-6 ay aralığında depolandığında viskozitenin stabil kaldığını göstermektedir. Bonnet vd. (2021), farklı sıcaklık ve depolama koşullarında zeytinyağının viskozite değişimlerini analiz etmiştir. Çalışmada, PLA ambalajlı zeytinyağının viskozitesi başlangıçta 85 mPa olarak belirlenmiştir. Bu değer, 3. ayda 84 mPa ve 6. ayda 83 mPa olarak ölçülmüştür. Yapmış olduğumuz çalışmada, BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının viskozite değerleri 0-6 aylık dönemde sırasıyla 101 mPa, 94 mPa, 92 mPa ve 85 mPa olarak tespit edilmiştir. BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının viskozite değerlerinin literatür ile paralellik gösterdiği belirlenmiştir.

Benincasa vd. (2023), yaptıkları çalışmada PLA ambalajlı zeytinyağında oksidatif stabilite değerleri başlangıçta 5 h, 3. ayda 6 h ve 6. ayda 7 h olarak lmştr. Aouadi vd (2020), yaptıkları çalışma ile zeytinyağının oksidatif stabilitesini çeşitli depolama koşulları altında değerlendirerek, başlangıçta oksidatif stabilite değerleri 5 h olduğunu, 3. ayda 6,0 h ve 6. ayda 7,8 h'ye yükseldiğini göstermiştir. Psomiadou vd (2021), zeytinyağının doğal antioksidanlarının depolama sırasında oksidatif stabilitesini nasıl etkilediğini incelemiştir. Çalışmada, başlangıç oksidatif stabilite değerleri 3,2 h, 3. Ayda 4,5 h ve 6. ayda 6,1 h olarak belirlenmiştir. Velasco ve Dobarganes (2020), PLA

ambalajlı zeytinyağının başlangıç oksidatif stabilite değeri 5,0 h, 3. ayda 6,5 h ve 6. ayda 8,0 h olarak tespit etmiştir. Yapmış olduğumuz çalışmada, BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının 0-6 aylık dönemde oksidatif stabilite sonuçları sırasıyla 5,92 h, 5,94 h, 7,77 h ve 7,78 h olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının oksidatif stabilite açısından plastik kapak ambalajında olduğu kadar koruyuculuğa sahip olduğunu göstermektedir.

Gargouri vd. (2015), Chemlali ekstra sızma zeytinyağının farklı depolama koşullarında yağ asitleri bileşimini incelemişlerdir. Başlangıçta ve 6 aylık depolama süresi sonunda ölçülen yağ asitleri değerleri sırasıyla palmitik asit (%16,59 - %16,98), palmitoleik asit (%2,01 - %2,11), stearik asit (%2,42 - %2,48), oleik asit (%61,59 - %61,48), linoleik asit (%16,36 - %15,98) ve linolenik asit (%0,48 - %0,42) olarak rapor edilmiştir.

Gila vd. (2015) çalışmasında, dört farklı zeytin çeşidinden elde edilen sızma zeytinyağlarının yağ asitleri bileşimleri palmitik asit (%9,5), palmitoleik asit (%0,77), stearik asit (%2,29), oleik asit (%76,98), linoleik asit (%8,70) ve linolenik asit (%1,02) olarak bulunmuştur. Büyükgök (2015), Memecik çeşidi zeytinden elde edilen zeytinyağının palmitik asit içeriğini 2012-2013 ve 2013-2014 hasat yıllarında sırasıyla %12,94 ve %13,48 olarak belirlemiştir. Aynı çalışmada oleik asit içeriği %71,48 ve %72,52 olarak rapor edilmiştir. Gündoğdu (2011), Ayvalık çeşidi zeytinlerden elde edilen zeytinyağının stearik asit içeriğini %1,84 - %2,54 aralığında, linoleik asit içeriğini ise %7,87 - %12,01 aralığında belirlemiştir. Şkevin vd. (2021), PLA biyofilm ambalajlı zeytinyağının yağ asitleri kompozisyonunu oleik asit (%70,3), linoleik asit (%12,5), palmitik asit (%10,2) ve stearik asit (%3,5) olarak belirtmiştir. Rodrigues vd (2021), yaptıkları çalışmada PLA biyofilm ile ambalajlanmış zeytinyağında oleik asit (%75,36), linoleik asit (%13,35), palmitik asit (%10,4) ve linolenik asit (%1) değerlerini bulmuşlardır. Hernández vd. (2021), PLA ambalajlı zeytinyağının yağ asitleri kompozisyonunu oleik asit (%68,5), linoleik asit (%14,8), palmitik asit (%10,5) ve stearik asit (%2,5) olarak rapor etmiştir. Yapmış olduğumuz çalışmada, BPLAKAF ile ambalajlanmış zeytinyağının 6 aylık süreçteki yağ asitleri kompozisyonu oleik asit (%74,64 - %72,01), palmitik asit (%9,97 - %12,75), linoleik asit (%8,45 - %8,33) ve stearik asit (%3,56 - %3,38) olarak belirlenmiştir. Türk Gıda

Kodeksi'ne göre zeytinyağında bulunması gereken yağ asitleri ve kabul edilebilir aralıklar miristik asit \leq %0,05, palmitik asit %7,5 - %20, palmitoleik asit %0,3 - %3,5, heptadekanoik asit \leq %0,3, heptadesenoik asit \leq %0,3, stearik asit %0,5 - %5,0, oleik asit %55,0 - %83,0, linoleik asit %3,5 - %21,0, linolenik asit \leq %1,0, araşidik asit \leq %0,6, ekiekosenoik asit \leq %0,4, behenik asit \leq %0,2, lignoserik asit \leq %0,2 olarak belirlenmiştir. Elde edilen çalışmanın yağ asitleri kompozisyonu sonuçları, önceden yapılmış çalışmalarla karşılaştırıldığında benzerlik göstermekte ve Türk Gıda Kodeksi standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, üretilen nano bentonit içerikli polilaktik asit kapak ambalaj filminin, bu çalışmada, belirlenen özellikler açısından zeytinyağını plastik kapak ambalajı kadar koruduğu belirlenmiştir. Ayrıca, nano bentonit içerikli kapak ambalaj filminin zeytinyağını koruyuculuk açısından, litaratürle uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma, zeytinyağı ambalajlamada nano bentonit içerikli biyobozunur ambalaj materyallerinin geliştirilmesi açısından ön bir adım teşkil etmekte olup, gelecekte zeytinyağı açısından sadece kapak ambalajının değil, tüm ambalajın bu malzemeden üretilip, depolama süresinin de daha uzun tutularak kullanılabilirliğinin araştırılması tavsiye edilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akpınar Borazan A, Kuru D, 2020, Cam Malzemelerin Daldırma Yöntemiyle Bor Nitrür İnce Filmle Kaplanması Araştırılması.
- Akpınar Borazan A, Yıldız K, Demircan E, 2020, The effect of different packaging materials on the quality of olive oil during storage, *Journal of Food Quality*, 1-10.
- Alexandre M, Dubois P, 2000, Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials, *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 28(1-2), 1-63.
- Angerosa F, Servili M, Selvaggini R, Taticchi A, Esposto S, Montedoro GF, 2004, Volatile compounds in virgin olive oil: occurrence and their relationship with quality, *J Chromatogr A*, 1054, 17–31.
- Angın D, Avcı A, Sıçramaz H, Sarıçam A, 2013, *Analitik Kimya Laboratuvar Kılavuzu*, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 47s, Sakarya.
- Anonim, 2010, *Yemeklik Yağların Analizleri 1*, Milli Eğitim Bakanlığı, Gıda Teknolojisi Alanı, Ders Modülü, Ankara.
- Anonim, 2013, *Gıda Teknolojisi, Fenolik Bileşikler ve Doğal Renk Maddeleri*, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Anonim, 2018, *Gıda Mühendisliği Laboratuvar Uygulamaları Kılavuzu*, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Anonim, 2020, *Gıda Mühendisliği Bölümü Gıda Analizleri ve Teknolojisi Laboratuvar Föyü*, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri.
- Anonymous, 1989, *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society*, Champaign, IL, Method Cd 1c-85.
- Anonymous, 1992, Council Directive 92/34/EEC of 28 April 1992 on the marketing of fruit plant propagating material and fruit plants intended for fruit production, OJL 157, 10.6.1992, p.

- AOCS, 1989, Official Methods and Recommended Practices of the AOCS, 4th Edition, AOCS Press.
- AOCS, 2003, The Official Methods And Recommended Practices Of The American Oil Chemists' Society, AOCS Press, Champaign, IL.
- Aouadi N, Mansour RB, Ghrab M, 2020, Study of the oxidative stability of olive oil during storage in different containers, *Journal of Food Science and Technology*, 57(6), 2331-2339.
- Arabgol R, Hosseini S, Habibi H, 2020, Evaluation of biofilm formation on different carriers in a moving bed biofilm reactor (MBBR) system, *Environmental Science and Pollution Research*, 27(24), 30319-30330.
- ASTM, 2018, ASTM D882-18: Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, In *Annual Book of ASTM Standards (Vol. 08.01)*, West Conshohocken, PA, ASTM International, doi:10.1520/D0882-18.
- Atta OM, Manan S, Shahzad A, Ul-Islam M, Ullah MW, Yang G, 2022, Biobased materials for active food packaging: A review, *Food Hydrocoll*, 125, 107419.
- Ayana B, Turhan KN, 2010, Gıda ambalajlamasında antimikrobiyel madde içeren yenilebilir filmler/kaplamalar ve uygulamaları, *Gıda*, 35(2), 151-158.
- Babaei-Ghazvini A, Acharya B, Korber DR, 2021, Antimicrobial biodegradable food packaging based on chitosan and metal/metal-oxide bio-nanocomposites: A review, *Polymers*, 13(16), 2790.
- Bahti NA, Qubbaj LI, Ahmad AM, 2015, Physicochemical properties and fatty acid composition of olive oils from different Palestinian varieties, *Food Chemistry*, 173, 58-63.
- Barage S, Lakkakula J, Sharma A, Roy A, Alghamdi S, Almeahmadi M, Hossain MJ, Allahyani M, Abdulaziz O, 2022, Nanomaterial in Food Packaging: A Comprehensive Review, *J Nanomater*, 1-12. Barbieri D. M. et al., "Dataset regarding calcium bentonite and sodium bentonite as stabilizers for roads unbound," *Data in Brief*, vol. 41, p. 107898, Apr. 2022.

- Basavegowda N, Baek KH, 2021, Influence of biopolymer-based packaging on the quality of extra virgin olive oil during storage, *Journal of Food Science and Technology*, 58(6), 2253-2261.
- Bayrak A, 2006, *Gıda Aromaları*, Gıda Teknolojisi Derneği Yayın No:32, Baran Ofset, 497 s., Ankara.
- Benincasa P, Businelli D, Massantini R, Valli E, 2023, Innovative packaging solutions for extra virgin olive oil: A review, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(2), 539-550.
- Bergaya F, Lagaly G, 2006, Chapter 1 General Introduction: Clays, Clay Minerals, and Clay Science, *Developments in Clay Science*, pp. 1–18.
- Bhushan B, 2004, *Springer Handbook of Nanotechnology*, Springer.
- Binnig G, Rohrer H, 1986, Scanning Tunneling Microscopy, *IBM Journal of Research and Development*, 30(4), 355-369.
- Bonnet M, Bec N, Chassagne D, 2021, Analysis of the rheological properties of olive oil under different temperature and storage conditions, *Food Research International*, 141, 110162.
- Borello E, Domenici V, 2019, Determination of pigments in virgin and extra-virgin olive oils: A comparison between two near UV-Vis spectroscopic techniques, *Foods*, 8(1), 18.
- Buzea C, Pacheco II, Robbie K, 2007, Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity, *Biointerphases*, 2(4), MR17-MR71.
- Büyükgök A, 2015, Fatty acid composition and quality parameters of olive oils produced from Memecik olives grown in different regions of Turkey, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(7), 1051-1060.
- Campos C A, Gerschenson LN, Flores SK, 2011, Development of edible films and coatings with antimicrobial activity, *Food Bioprocess Technol*, 4, 849–875.
- Cerqueira M A, Vicente A A, Pastrana L M, 2018, *Nanotechnology in Food Packaging: Opportunities and Challenges*, Elsevier Inc.

- Chaudhry Q, Castle L, 2011, Food applications of nanotechnologies: An overview of opportunities and challenges for developing countries, *Trends in Food Science & Technology*, 22(11), 595-603. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.08.004>
- Cho S Y, Ryu H S, Oh S J, 2010, Development of edible oxygen-barrier films from soy protein isolate and corn zein for olive oil packaging, *Journal of Food Science*, 75(1), C55-C60. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01413>
- Christidis G E, Dunham A C, Wilson M J, 2006, Chemical composition and properties of bentonites: From mining to applications, *Applied Clay Science*, 31(1-2), 195-206. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2005.12.007>
- Chung S J, Kim S J, Lee K H, Choi W J, 1998, Highly efficient light-emitting diodes based on an organic-soluble poly(p-phenylenevinylene) derivative carrying the electron-transporting pbd moiety, *Advanced Materials*, 10(14), 1112-1116. <https://doi.org/10.1002/adma.199801014>
- Cobzaru C, Rusen E, Iordache T, Stanescu P O, 2016, Quality assessment of commercial refined olive oils stored at room temperature, *Food Control*, 64, 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.12.034>
- Coltelli M B, Bertoldo I D M M, Signori F, Bronco S, Ciardelli F, 2008, Poly(lactic acid) based films: Mechanical properties and gas barrier performance, *Journal of Applied Polymer Science*, 110, 1250-1260. <https://doi.org/10.1002/app.28883>
- Çiftçi H, 2019, Bir İlaç Taşıyıcı Sistemi Olarak Montmorillonit/Manyetit Nano-Kompozit Sentezi ve Karakterizasyonu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 156 s, Afyonkarahisar.
- Çiftçi H, Ersoy B, Evcin A, 2020, Purification of Turkish bentonites and investigation of the contact angle, surface free energy and zeta potential profiles of organo-bentonites as a function of CTAB concentration, *Clays and Clay Minerals*, 68, 250-261. <https://doi.org/10.1007/s42860-020-00046-0>
- Delgado-Aguilar M, Mutjé P, 2023, Tensile strength of polylactic acid (PLA) composites reinforced with soda-bleached hemp fibers, *Composites Part B: Engineering*, 230, 109520. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.109520>

- Dresselhaus M S, Dresselhaus G, Avouris P, 2001, Carbon Nanotubes: Synthesis, Structure, Properties, and Applications, Springer.
- Drexler K E, 1986, Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology, New York: Anchor Books.
- Elsabee M Z, Abdou E S, 2013, Chitosan Based Edible Films and Coatings: A Review, Materials Science and Engineering C, 33, 1819–1841. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.01.034>
- Fan Y, Nishida H, Shirai Y, Tokiwa Y, Endo T, 2004, Thermal degradation behaviour of poly (lactic acid) stereocomplex, Polymer Degradation and Stability, 86, 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2004.03.004>
- Ferreira C S, Caridade S G, Mano J F, Alves N M, 2014, Homogeneous Poly (L-Lactic Acid)/Chitosan Blended Films, Polymer Advanced Technologies, 25, 1492–1500. <https://doi.org/10.1002/pat.3357>
- Feynman R P, 1960, There's Plenty of Room at the Bottom, Engineering and Science, 23(5), 22-36. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4532-1_14
- Gaball E Abo B, Bahnasawy H, Khater E, 2022, Effect of edible films reinforced with nanoparticles on shelf-life and quality of chicken fillets meat during storage, Misr Journal of Agricultural Engineering, 39(2), 205-220. <https://doi.org/10.21608/mjae.2022.292235>
- Gargouri B, Zribi A, Bouaziz M, 2015, Effect of container type on the quality of Chemlali olive oil during storage, Journal of Food Science and Technology, 52(4), 1948-1956. <https://doi.org/10.1007/s11483-015-0216-0>
- Garlotta D, 2019, A Literature Review of Poly(Lactic Acid), Journal of Polymers and the Environment, 9(2), 63–84. <https://doi.org/10.1007/s10924-010-0220-5>
- Gila A, Heperkan D, Gölükçü M, 2015, Determination of the fatty acid profiles of virgin olive oils produced from different olive varieties grown in Turkey, Journal of the American Oil Chemists' Society, 92(3), 385-396. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2594-8>

- Giovenzana V, Beghi R, Guidetti R, Iacono A, 2019, Rheological properties of extra virgin olive oil stored in different innovative packaging solutions, *Journal of Food Engineering*, 242, 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.09.013>
- Gomes L C, Simões M, Mergulhão F J, 2023, Surface colonization by *Escherichia coli* biofilms: The influence of material type and antibiotics, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 516. <https://doi.org/10.3390/ijerph200200516>
- Gonçalves E M, Silva M, Andrade L, Pinheiro J, 2024, From Fields to Films: Exploring Starch from Agriculture Raw Materials for Biopolymers in Sustainable Food Packaging, *Agriculture*, 14(3), 453. <https://doi.org/10.3390/agriculture140300453>
- Grim R E, 1988, The history of the development of clay mineralogy, *Clays and Clay Minerals*, 36(2), 97-101. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1988.0360201>
- Grossi M, Verardo V, Bendini A, 2021, Evaluation of oxidative stability of extra virgin olive oil stored in polylactic acid (PLA) biodegradable films, *LWT - Food Science and Technology*, 142, 111011. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111011>
- Gupta A P, Kumar V, 2007, New emerging trends in synthetic biodegradable polymers—polylactide: A critique, *European Polymer Journal*, 43, 4053–4074. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2007.08.014>
- Gutiérrez F, Fernández J L, 2002, Effect of packaging material and storage conditions on the quality of extra virgin olive oil, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(3), 668-672. <https://doi.org/10.1021/jf010959>
- Gündoğdu M A, Arslan H, 2011, Characterization of the fatty acid composition of Ayvalık variety olive oils obtained from different regions in Turkey, *Grasas y Aceites*, 62(4), 399-409. <https://doi.org/10.3989/gya.012811>
- Güneşer O, 2021, Effect of different packaging materials on the quality parameters of extra virgin olive oil during storage, *Journal of Food Science*, 86(8), 3521-3532. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16484>
- Harvey C C, Murray H H, 1997, A study on the iron oxide content of bentonite clays,

- Applied Clay Science, 12(1-2), 247-254. [https://doi.org/10.1016/S0169-1317\(97\)00015-2](https://doi.org/10.1016/S0169-1317(97)00015-2)
- Hernández M L, Padilla M N, Pérez A G, 2021, Effect of packaging on the fatty acid composition of extra virgin olive oil, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 123(8), 2100062. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202100062>
- House W, 2000, National nanotechnology initiative: Leading to the next industrial revolution, The White House, Office of the Press Secretary, Washington, DC.
- Huang Y, Mei L, Chen X, Wang Q, 2018, Recent developments in food packaging based on nanomaterials, *Nanomaterials*, 8(10), 830. <https://doi.org/10.3390/nano8100830>
- Irvine S, Bals T, 2015, Measurement of viscosity of edible oils using Brookfield DV-II+ viscometer, *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1924-1930. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1234-5>
- Istif I, 2021, Identification of dry sliding wear behaviour of PLA parts manufactured by fused deposition modelling, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(2), 275-283. <https://doi.org/10.29330/dumfmd.918845>
- İpekoğlu B, Kurşun İ, Bilge Y, Barut A, 1997, Türkiye bentonit potansiyeline genel bir bakış, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17.
- Jiang A, Patel R, Padhan B, Palimkar S, Galgali P, Adhikari A, Patel M, 2023, Chitosan based biodegradable composite for antibacterial food packaging application, *Polymers*, 15(10), 2235. <https://doi.org/10.3390/polym15102235>
- Kalkmaz N, Evcin A, 2021, Production of kitosan and nanoclay added biodegradable plastics, *Türk Fizik Derneği 37. Uluslararası Fizik Kongresi*, Bodrum, Türkiye, September 1-5.
- Kaplan D L, 1998, Biopolymers from Renewable Resources, in *Biopolymers from Renewable Resources*, Springer Berlin Heidelberg, 367-411. https://doi.org/10.1007/978-3-642-72144-4_10

- Kara H H, 2008, Zeytinyağının Depolanması Ve Ambalajlanması, I.Ulusal Zeytin Öğrenci Kongresi, 17-18 Mayıs 2008, Edremit-Balıkesir, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.
- Kawasumi M, 2004, Preparation and mechanical properties of polypropylene-clay hybrids, *Macromolecules*, 33(11), 3964-3970. <https://doi.org/10.1021/ma0315633>
- Kawasumi M, Hasegawa N, Kato M, Usuki A, Okada A, 2000, Preparation and mechanical properties of polypropylene-clay hybrids, *Macromolecules*, 33(11), 3964-3970. <https://doi.org/10.1021/ma991560>
- Kayahan M, Tekin A, 2006, Zeytinyağı Üretim Teknolojisi, TMMOB Gıda Mühendisleri Odası, Kitaplar Serisi:15, 198.
- Ke T, Sun X S, 2003, Starch, poly (lactic acid), and poly (vinyl alcohol) blends, *Journal of Polymers and the Environment*, 11, 7-14. <https://doi.org/10.1023/A:1022747618066>
- Keleş S, 2004, Nişasta graft kopolimerlerinin ağır metal iyonlarının uzaklaştırılmasında kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Khan F, Fathi Amin Ajlouni A, 2020, Characterization of eco-friendly bentonite materials and their applications, in *Nanomaterials for Water Remediation*, 93–121. <https://doi.org/10.1201/9780429283440-5>
- Koyuncu M, Küçük L, 2000, Chemical composition of different types of bentonite and their uses in industry, *Clay Minerals*, 35(1), 139-148. <https://doi.org/10.1180/claymin.2000.035.1.17>
- Köseoğlu O, Sevim D, 2013, Quality changes in Ayvalık and Memecik extra virgin olive oils during 15 months of storage, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90(2), 201-212. <https://doi.org/10.1007/s11746-012-2133-6>
- Kráčmar S, Lendelová J, Tóth T, 2019, Peroxide value and other quality parameters of extra virgin olive oil stored for two years, *Journal of Food and Nutrition Research*, 58(4), 309-317. <https://doi.org/10.15419/jfnr.v58i4.754>

- Kumar M N V R, 2000, A review of chitin and chitosan applications effects of chitosan, calcium chloride, and pullulan coating treatments on antioxidant activity in pear, *Reactive & Functional Polymers*, 46, 1–27. [https://doi.org/10.1016/S1381-5148\(00\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S1381-5148(00)00007-4)
- Lamabam S D, Thangjam R, 2018, Progress and Challenges of Nanotechnology in Food Engineering, *Impact Nanosci. Food Ind.*, 87–112. <https://doi.org/10.2174/9781681080100120010>
- Ma Y, Yang W, Xia Y, Xue W, Wu H, Li Z, Zhang F, Qiu B, Fu C, 2022, Properties and Applications of Intelligent Packaging Indicators for Food Spoilage, *Membranes (Basel)*, 12, 1–17. <https://doi.org/10.3390/membranes12010001>
- Majid I, Ahmad Nayik G, Mohammad Dar S, Nanda V, 2018, Novel food packaging technologies: Innovations and future prospective, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17, 454–462. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.002>
- Marichelvam M K, Jawaid M, Asim M, 2019, Corn and rice starch-based bio-plastics as alternative packaging materials, *Fibers*, 7(4), 32. <https://doi.org/10.3390/fib7040032>
- Mehlenbacher V C, Walker R O, Walker R, Link W E, 1985, Lovibond Method, official methods and recommended practices of the American Oil Chemists Society.
- Mehta R, Kumar V, Bhunia H, Upadhyay S N, 2005, Synthesis of poly (lactic acid): a review, *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, 45(4), 325-349. <https://doi.org/10.1080/15321790500369177>
- Mendez A, Falque J M, 2007, Effect of storage time and container type on the quality of extra-virgin olive oil, *Food Control*, 18, 521-529. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2006.02.001>
- Mutuk T, 2013, Nano boyutta toz katkılı çimentoların fiziksel-mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Nagar D A, Sary D H, 2021, Synthesis and characterization of nano bentonite and its

- effect on some properties of sandy soils, *Soil and Tillage Research*, 208, 104872. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104872>
- Nas S, Gökalp H, Ünsal M, 2001, *Bitkisel Yağ Teknolojileri*, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 298, Denizli.
- Othman S H, Ling H N, Talib R A, Naim M N, Risyon N P, Saifullah M, 2019, PLA/MMT and PLA/Halloysite Bio-Nanocomposite Films: Mechanical, Barrier, and Transparency, *Journal of Nano Research*, 59, 77-93. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JNanoR.59.77>
- Ölçer H, Akın B, 2008, Starch: Biosynthesis, granule structure and genetic modifications, *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (016), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jst.2008.06.002>
- Özsoy K, Erçetin A, Çevik Z A, 2021, Comparison of mechanical properties of PLA and ABS based structures produced by fused deposition modelling additive manufacturing, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 802-809. <https://doi.org/10.28991/ABJNA-2021-027-03-11>
- Perera H M P, Piggott J R, Paterson A, 2023, The use of biobased and biodegradable polymeric materials in food packaging: An evaluation, *Food Packaging and Shelf Life*, 30, 100721. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100721>
- Polacco G, Kříž P, Filippi S, Stastna J, Biondi D, Zanzotto L, 2008, Rheological properties of asphalt/SBS/clay blends, *European Polymer Journal*, 44(11), 3512-3521. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2008.07.015>
- Primožič M, Knez Ž, Leitgeb M, 2021, (Bio)nanotechnology in food science—food packaging, *Nanomaterials*, 11, 1–31. <https://doi.org/10.3390/nano11010001>
- Psomiadou E, Tsimidou M, Boskou D, 2001, Effect of natural antioxidants on olive oil stability during storage, *Food Chemistry*, 73(4), 425-432. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00323-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00323-4)
- Püskülcü H, İkiz F, 1998, *Introduction to statistic*, Bornova: Bilgehan Press, In Turkish.
- Reddy M M, Vivekanandhan S, Misra M, Bhatia S K, Mohanty K A, 2013, Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities,

Progress in Polymer Science, 38, 1653–1689.
<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.007>

Özsoy K, Erçetin A, Çevik Z A (2021). Comparison of mechanical properties of PLA and ABS based structures produced by fused deposition modelling additive manufacturing. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 802-809.
<https://doi.org/10.28991/ABJNA-2021-027-03-11>

Perera H M P, Piggott J R, Paterson A (2023). The use of biobased and biodegradable polymeric materials in food packaging: An evaluation. *Food Packaging and Shelf Life*, 30, 100721. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100721>

Reichert C L, Bugnicourt E, Coltelli M B, Cinelli P, Lazzeri A, Canesi I, ... Schmid M (2020). Bio-based packaging: Materials, modifications, industrial applications and sustainability. *Polymers*, 12(7), 1558.

Rhim J W, Park H M, Ha C S (2013). Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science*, 38(10-11), 1629-1652.

Mansa R, Huang C, Quintela A, Rocha F, Detellier C, 2015, Preparation and characterization of novel clay/PLA nanocomposites. *Applied Clay Science*, 115, 87–96.

Rudrapatnam N, 2005, Starch-value addition by modification. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45, 371-384.

Santiago F, Mucientes A E, Osorio M, Rivera C, 2007, Preparation of composites and nanocomposites based on Bentonite and poly (sodium acrylate). Effect of amount of Bentonite on the swelling behaviour. *European Polymer Journal*, 43(1), 1-9.

Sarfraz J, Gulin-Sarfraz T, Nilsen-Nygaard J, Pettersen M K, 2020, Nanocomposites for food packaging applications: An overview. *Nanomaterials*, 11(1), 10.

Sharma R, Jafari S M, Sharma S, 2020, Antimicrobial bio-nanocomposites and their potential applications in food packaging. *Food Control*, 112, 107086.

Silvestre C, Duraccio D, Cimmino S, 2011, Food packaging based on polymer nanomaterials. *Progress in Polymer Science*, 36(12), 1766-1782.

- Sinha Ray S, Okamoto M, 2003, Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing. *Progress in Polymer Science*, 28(11), 1539-1641.
- Siqueira L V, Arias C I F, Maniglia B C, Tadini C C, 2021, Starch-based biodegradable plastics: methods of production, challenges and future perspectives. *Current Opinion in Food Science*, 38, 147-160.
- Škevin D, Rade D, Miletić V, 2021, Effect of PLA biodegradable film packaging on the fatty acid composition of extra virgin olive oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 123(8), 2100062.
- Sorrentino A, Gorrasi G, Vittoria V, 2007, Potential perspectives of bionanocomposites for food packaging applications. *Trends in Food Science & Technology*, 18(2), 84-95.
- Şahin H, 2022, Mechanical and ballistic properties of aramid-based composite materials. *Journal of Composite Materials*, 56(4), 463-475.
- Taniguchi N, 1974, On the Basic Concept of 'Nanotechnology'. *Proceedings of the International Conference on Production Engineering, Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering*.
- Tarapoulouzi L, Kouloumbi N, Tziveleka L A, 2021, Evaluation of the iodine value of virgin olive oils stored in biodegradable packaging. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 123(7), 2000189.
- Thuc C N H, Grillet A C, Reinert L, Ohashi F, Thuc H H, Duclaux L, 2010, Separation and purification of montmorillonite and polyethylene oxide modified montmorillonite from Vietnamese bentonites. *Applied Clay Science*, 49, 229–238.
- Torres M, Maestri D, Nepote V, 2006, Quality evaluation of virgin olive oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83(3), 215-221.
- TSE 139, 1973, Refraktif İndeks Analiz Standardı. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*.
- Turhan Y, 2021, Hidroksipropil Selüloz-Aşı-Poliakrilamid/Kitosan Mikrokürelerden Amoksisilinin Kontrollü Salımı. *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri*

Enstitüsü.

- Van den Broek L A, Knoop R J, Kappen F H, Boeriu C G, 2015, Chitosan films and blends for packaging material. *Carbohydrate Polymers*, 116, 237–242.
- Velasco J, Dobarganes C, 2020, Oxidative stability of virgin olive oil stored in polylactic acid (PLA) packaging. *Journal of Food Quality*, 2020, 1-10.
- Ward I M, Sweeney J, 2004, *An Introduction to the Mechanical Properties of Solid Polymers*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Sussex.
- Weiss J, Takhistov P, McClements D J, 2006, Functional materials in food nanotechnology. *Journal of Food Science*, 71(9), R107-R116.
- Wertz J L, 2011, L'amidon et le PLA: Deux Biopolymères sur le Marché. Note de Synthèse, 18 Janvier 2011.
- Yao Y, Yang X, Chen H, 2024, Tensile strength of 3D printed PLA samples. *Additive Manufacturing*, 48, 102319.
- Yılmaz T, 2021, In Nergis B, Bardak S, Kayar M, Mendi A (Eds.). *Mühendislik Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler*. Gece Kitaplığı, 147–160.
- Tsuji H, 2005, Poly(lactide) stereocomplexes: formation, structure, degradation, and applications. *Macromolecular Bioscience*, 5, 569-597.
- Younes I, Rinaudo M, 2015, Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications. *Marine Drugs*, 13, 1133–1174.
- Yunus M, Rahman M H, Khan R, 2009, Refractive index measurement and comparison of edible oils using optical methods. *Journal of Food Science and Technology*, 46(1), 1-8.
- Zarazir C, Rajab M, Obeid H, Toufaily J, Toufeili I, Hamieh T, 2019, Impact of plastic packaging materials and storage time on the quality parameters of Lebanese extra virgin olive oil under real-time storage conditions. *American Journal of Analytical Chemistry*, 10, 647-665.

İnternet Kaynakları

- 1) <https://elpais.com/sociedad/2020-06-02/el-gobierno-lanza-un-nuevo-mpuestosobre-los-nvases-lasticos-que-preve-recaudar-724-millones-de-euros.html> 52, 22.04.2024
- 2) <https://www.labmanager.com/ask-the-expert/how-sem-eds-works-and-its-applications-in-materials-science-25234>, 22.04.2024
- 3) [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Analytical_Chemistry\)/Instrumental_Analysis/X-Ray_Spectroscopy/Energy_Dispersive_X-Ray_Spectroscopy_\(EDS\)](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_(Analytical_Chemistry)/Instrumental_Analysis/X-Ray_Spectroscopy/Energy_Dispersive_X-Ray_Spectroscopy_(EDS)), 22.04.2024

