



**NANOKİL İÇEREN POLİMERİK FİLM
AMBALAJININ LAVANTA (*LAVANDULA
ANGUSTİFOLIA*) UÇUCU YAĞININ
DEPOLANMASI SİRASINDAKİ
FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve Şeyma PAMUKÇU

Danışman

Doç. Dr. Erman DUMAN

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM
DALI

Haziran 2024

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NANOKİL İÇEREN POLİMERİK FİLM AMBALAJININ
LAVANTA (*LAVANDULA ANGUSTİFOLİA*) UÇUCU YAĞININ
DEPOLANMASI SİRASINDAKİ FİZİKOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Merve Şeyma PAMUKÇU

Danışman

Doç. Dr. Erman DUMAN

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Haziran 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Merve Şeyma PAMUKÇU tarafından hazırlanan “Nanokil İçeren Polimerik Film Ambalajının Lavanta (*Lavandula Angustifolia*) Uçucu Yağının Depolanması Sırasındaki Fizikokimyasal Özelliklerine Etkisi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 13/06/2024 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	İmza
Üye	: Doç. Dr. Buket AYDENİZ GÜNEŞER Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	İmza
Üye	: Doç. Dr. Erman DUMAN Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	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.

26 / 06 /2024

İmza

Merve Şeyma PAMUKÇU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NANOKİL İÇEREN POLİMERİK FİLM AMBALAJININ LAVANTA (*LAVANDULA ANGUSTİFOLIA*) UÇUCU YAĞININ DEPOLANMASI SIRASINDAKİ FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Merve Şeyma PAMUKÇU

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Erman DUMAN

Bu çalışmada, lavanta yağının raf ömrü üzerine etkisini incelemek amacıyla gıda ambalajlamada kullanılan, doğaya zarar veren plastik kapakların yerine kullanılabilecek, doğa dostu nanokil içerikli polimerik film (NPF) üretilmiştir. Üretilen NPF, depolama süresince lavanta uçucu yağlarının üzerine kapak ambalajı olacak şekilde kapatılmıştır. Bu araştırmamızda kullanılan nanokile taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi, üretilen NPF ambalaj materyaline ise biyobozunurluk, haze (pusluluk) ve fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) analizleri uygulanmıştır. Ardından üretilen film ile depolanan lavanta uçucu yağına, belirlenen aralıklarla, asitlik, peroksit, renk, kırılma indisi, viskozite ve uçucu yağ bileşenleri analizleri uygulanmıştır.

Uygulanan SEM analizi sonucunda nanokil numunelerinin morfolojisinin ve içerdiği elementlerin literatürle benzer sonuçlar gösterdiği tespit edilmiştir. Biyobozunurluk açısından NPF ambalajının, 6 aylık süreçte doğada %31,53 oranında bir bozulma gösterdiği görülmüş, pusluluk analizi sonucu ise %87,17 olarak tespit edilmiştir. FT-IR analizi sonucu NPF ambalajında nanokil, nişasta ve kitosan bulunduğu tespit edilmiştir.

NPF kapak ambalaj materyali ile depolanan lavanta uçucu yağının 6 aylık depolama sürecinde serbest yağ asitliği (%0,38-%0,68), peroksit sayısı (3,46-9,06 meqO₂/kg),

renk sonuçları *L (40,63-67,86), *a (-1,56/-0,89), *b (3,92-5,23), kırılma indisi sonuçları (1,4578-1,4632), viskozite sonuçları (2,78-6,87 mPa) ve baskın uçucu yağ bileşenleri linalil asetat (%27,04-%31,74) ve linalol (%42,80-%46,6), lavandulil asetat (%1,25- %1,35), 1-8 sineol (%3,44-%4,29), kafur (%4,07-%5,26), borneol (%2,18-%2,89) aralıklarında belirlenmiştir.

Bu sonuçlar doğrultusunda; üretilen ve kullanılan nanokil içerikli polimerik kapak ambalaj filminin, serbest yağ asitliği, peroksit sayısı, uçucu yağ bileşenleri ve renk analiz sonuçları açısından plastik kapak kadar koruyucu etkisi olduğu belirlenirken kırılma indisi ve viskozite analiz sonuçları açısından geliştirilebilir olduğu tespit edilmiştir.

2024, xiii + 63 sayfa

Anahtar Kelimeler: Biyobozunur Film, Depolama, Fiziko-Kimyasal, *Lavandula Angustifolia* (lavanta uçucu yağı), Nanokil, Nanoteknoloji

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

THE EFFECT OF NANOCLAY-CONTAINING POLYMERIC FILM PACKAGING ON THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF LAVENDER (*LAVANDULA ANGUSTIFOLIA*) ESSENTIAL OIL DURING STORAGE

Merve Şeyma PAMUKÇU

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Nanoscience and Nanotechnology

Supervisor: Assoc. Doc. Dr. Erman DUMAN

In this study, in order to examine the effect of lavender oil on the shelf life, an environmentally friendly nanoclay-containing polymeric film (NPF) that can be used instead of environmentally harmful plastic lids used in food packaging was produced. The produced NPF was covered with a lid packaging over the lavender essential oils during storage. Scanning electron microscopy (SEM) analysis was applied to the nanoclay used in this research, and biodegradability, haze and Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) analyzes were applied to the NPF packaging material produced. Then, acidity, peroxide, color, refractive index, viscosity and essential oil components analyzes were applied to the lavender essential oil stored with the produced film, at specified intervals.

As a result of the applied SEM analysis, it was determined that the morphology of the nanoclay samples and the elements they contained showed similar results to the literature. In terms of biodegradability, it was observed that NPF packaging showed a 31,53% deterioration in nature in a 6-month period, and the haze analysis result was determined as 87,17%. As a result of FT-IR analysis, it was determined that nanoclay, starch and chitosan were present.

During the 6-month storage period of lavender essential oil stored with NPF cap packaging material, free fatty acidity (0,38%-0,68%), peroxide number (3,46-9,06 meqO₂/kg), color results *L (40,63-67,86), *a (-1,56/ -0,89), *b (3,92-5,23), refractive index results (1,4578-1,4632), viscosity results (2,78-6,87 mPa) and the dominant essential oil components are linalyl acetate (27,04%-31,74%) and linalool (42,80%-46,6%), lavandulyl acetate (1,25%-1,35%), it was determined in the ranges of 1-8 cineole (3,44%-4,29%), camphor (4,07%-5,26%) and borneol (2,18%-2,89%).

In line with these results; It was determined that the nanoclay-containing polymeric lid packaging film produced and used had a protective effect as much as the plastic lid in terms of free fatty acidity, peroxide number, essential oil components and color analysis results, and that it could be improved in terms of refractive index and viscosity analysis results.

2024, xiii + 63 pages

Keywords: Biodegradable Film, *Lavandula Angustifolia* (lavender essential oil), Nanoclay, Nanotechnology, Physico-Chemical, Storage

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın konusu, sonuçlarımın değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında engin bilgi birikimi ile yoluma ışık olduğu ve bana sağladığı imkanlar sayesinde edindiğim tecrübelerim ve destekleri için tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Erman DUMAN, araştırma sürecinde çalışmam adına laboratuvar imkanı sunan Sayın Prof. Dr. Atilla EVCİN ve Dr. Öğr. Üyesi Hakan Çiftçi'ye, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyip her kararında arkamda duran ve ilham kaynağım olan, dünya üzerindeki en değerlim annem Arife PAMUKÇU, babam Bekir PAMUKÇU ve sevgilerini ve desteklerini her konuda hissettiğim kardeşlerim Zehra PAMUKÇU ve Fatıma Esra PAMUKÇU'ya, tez sürecim boyunca her zaman yanımda olan sevgili arkadaşım Didem ÇANKIR'a ve bana her konuda güç veren arkadaşım Melih YILDIRIM'a sonsuz teşekkür ederim.

Merve Şeyma PAMUKÇU

Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
RESİMLER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1 Nanobilim ve Nanoteknoloji	3
2.1.1 Nanoteknolojinin Tarihi, Dünyada ve Türkiye’deki Yeri	3
2.1.2 Nanoteknoloji ve Gıda Endüstrisi	5
2.1.3 Biyobozunur Ambalajlar ve Nanokompozitler	6
2.2 Killer	8
2.2.1 Nanokil	10
2.3 Nişasta	11
2.4 Kitosan	13
2.5 Gıda Sektöründe Nanoteknoloji ile İlgili Yapılan Çalışmalar	15
2.6 Lavanta (<i>Lavandula Angustifolia</i>)	18
2.6.1 Lavanta Uçucu Yağı ve Ambalajlanması	19
3. MATERYAL ve YÖNTEM	21
3.1 Nanokilin Hazırlanması	21

3.2 Biyofilmin hazırlanması	21
3.3 Numunelerin Hazırlanması	22
3.4 Nanokile Uygulanan Analizler	23
3.4.1 Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM)	23
3.5 Biyofilme Uygulanan Analizler	23
3.5.1 Biyobozunurluk	23
3.5.2 Haze (Pusluluk)	23
3.5.3 FT-IR (Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Analizi)	23
3.6 Lavanta Uçucu Yağına Uygulanan Analizler	24
3.6.1 Serbest Yağ Asitliği	24
3.6.2 Peroksit Sayısı	24
3.6.3 Kırılma İndisi	25
3.6.4 Renk	25
3.6.5 Viskozite	25
3.6.6 Uçucu Bileşenler Analizi	25
3.6.7 İstatiksel analiz	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	27
4.1 Nanokilin Taramalı Elektron Mikroskobu Sonucu (SEM)	27
4.2 Nanokil İçeren Polimerik Filmin Biyobozunurluk Sonucu	28
4.3 Nanokil İçeren Polimerik Filmin Haze (Pusluluk) Sonucu	29
4.4 Nanokil İçeren Polimerik Filmin FT-IR Analizi Sonucu	29
4.5 Lavanta Uçucu Yağının Serbest Yağ Asitliği	31
4.6 Lavanta Uçucu Yağının Peroksit Sayısı	32
4.7 Lavanta Uçucu Yağının Renk Analizi	33
4.8 Lavanta Uçucu Yağının Kırılma İndisi	34

4.9 Lavanta Uçucu Yağının Viskozite Sonucu	35
4.10 Lavantanın Uçucu Yağ Kompozisyonu Sonucu	36
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	40
6. KAYNAKLAR	49
7. ÖZGEÇMİŞ	63



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
°C	Santrigrat
µm	Mikrometre
Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
Ca	Kalsiyum
Cm	Santimetre
Cm ⁻¹	Alüminyum
CH ₄	Metan
Dk	Dakika
Fe	Demir
Gr	Gram
H	Hidrojen
H ₂ O	Su
Kg	Kilogram
KI	Potasyum İyodür
M	Molar
MEq	Mili Ekvale
Mg	Magnezyum
Mm	Milimetre
Mn	Manganez
MPa	Megapaskal
N	Normal
Na	Sodyum
O	Oksijen
Si	Silisyum
TiO ₂	Titanyum Dioksit

Kısaltmalar

AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
AOCS	Amerikan Yağ Kimyagerleri Birliği
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
DLS	Dinamik Işık Saçılması
DMSO	Dimetil Sülfoksit
Doç.	Doçent
Dr	Doktor
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
EDX	Enerji Dağılım X ışını Spektrometresi
ESCA	Kimyasal Analiz Elektron Mikroskobu
FDA	Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi
FID	Alev İyonlaşma Dedektörü
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GC-MS	Gaz kromatografisi- Kütle Spektrometresi
GRAS	Tüketimi Sakıncalı Olmayan Maddeler

ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilatı
İnt	İnternet
LDPE	Alçak Yoğunluklu Polietilen
m-HNT	Modifiye Halloysit Nanotüp
MMT	Montmorillonit
Na ⁺ MMT	Sodyum Montmorillonit
Nm	Nanometre
NPF	Nanokil İçerikli Polimerik Film
P(St-ko-MMA)	Poli(Stiren-Ko-Metil Metakrilat)
PBS	Polibütülen Süksinat
PCL	Polikaprolakton
PEG	Polietilen Glikol
PET	Polietilen Tereftalat
PHB	Polihidroksibütirat
PLA	Polilaktik Asit
PVA	Polivinil Alkol
PVC	Polivinil Klorür
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SYA	Serbest Yağ Asiti
TEM	Geçirimli Elektron Mikroskobu
TGA	Termogravimetrik Analiz
TGK	Türk Gıda Kodeksi
TOT	Tetrahedral-Oktahedral-Tetrahedral
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TUAM	Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
USDA	Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı
UV	Ultraviyole
Vb	Ve Benzeri
XRD	X-Işını Difraktometresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Nano materyal içeren kompozit filmin gaz ve su buharı geçiş şeması.	7
Şekil 2.2 Killerin yapısındaki tetrahedral ve oktahedral molekülleri.	8
Şekil 2.3 Killerin yapısındaki TOT (Tetrahedral-Oktahedral-Tetrahedral) molekülü.	9
Şekil 2.4 Nişastanın yapısındaki amiloz ve amilopektin polimerleri	11
Şekil 2.5 Kitosanın kimyasal yapısı	13
Şekil 2.6 Gliserol kullanıldığında kitosan/Na ⁺ MMT biyonanokompozitinin yapısı	14
Şekil 4.1 Nanokilin 10000X Değerinde SEM Görüntüsü	27
Şekil 4.2 Nanokil Element Kompozisyonu	28
Şekil 4.3 NPF'nin FT-IR Analiz Grafiği	30
Şekil 4.4 Plastik ambalajda depolanan lavanta uçucu yağının 6.ay kontrol grubu GC-MS kromatogram görünümü	36
Şekil 4.5 NPF kapak ambalaj filmi ile kaplı lavanta uçucu yağının 6.ay GC-MS kromatogram görünümü	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 NPF'nin Biyobozunurluk Analiz Sonucu	29
Çizelge 4.2 NPF'nin Haze (Pusluluk) Analizi Sonuçları	29
Çizelge 4.3 NPF ile Depolanan Lavanta Uçucu Yağı Serbest Yağ Asitliği Analiz Sonuçları	31
Çizelge 4.4 NPF ile Depolanan Lavanta Uçucu Yağı Peroksit Analizi Sonuçları	32
Çizelge 4.5 NPF ile Depolanan Lavanta Uçucu Yağının Renk Analizi Sonuçları	33
Çizelge 4.6 NPF ile Depolanan Lavanta Uçucu Yağında Kırılma İndisi Analizi Sonuçları	34
Çizelge 4.7 NPF ile Depolanan Lavanta Uçucu Yağının Viskozite Analizi Sonuçları	35
Çizelge 4.8 NPF ile Depolanan Lavanta Uçucu Yağının Uçucu Yağ Bileşenleri Sonuçları	38

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Nanokilin üretilmesi	21
Resim 3.2 Üretilen nanokil içerikli polimerik film	22
Resim 3.3 NPF kapak ambalajı ile kapatılmış lavanta uçucu yağı numuneleri	22



1. GİRİŞ

Ambalajlar, gıda ürünlerini kaplayarak tüketiciye bozulmadan, güvenilir ve ekonomik şekilde ulaştırılmasına olanak sağlayan, ürünü dış etkenlerden koruyan, yükleme, boşaltma ve stoklama kolaylığı sağlayan, ayrıca ürünün tanıtımını yapan materyallerdir (Üçüncü 2007). Geleneksel gıda ambalajlamada en fazla kullanılan ambalajlar petrol türevli malzemelerden üretilen plastiklerdir, ancak bu sentetik polimerler kullanımının ardından bakteriler tarafından bozunmaya uğramadıkları ve doğada çözünemedikleri için atık problemine neden olmaktadır. Son zamanlarda küresel ısınma ve çevre kirliliği nedeniyle biyobozunur polimerler üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Biyobozunur polimerlerin; mantar, alg ve bakteri gibi mikroorganizmaların enzimatik aktivitelerinden dolayı biyoaktif çevrede bozunmaya uğradıkları bildirilmiştir. Bu maddelere örnek olarak nişasta ve kitosan verilebilir. Nişasta, petrol türevli maddelere karşı alternatif bir seçenek olarak kullanılabilir. Bunun nedeninin doğada çözünebilir ve ucuz bir polimer olması olduğu belirtilmiştir (Liu vd. 2009). Diğer bir madde olan kitosan ise, doğada en fazla bulunan biyopolimerlerden biridir. Kitosanın, film oluşturma, çöktürme, nem absorpsiyonu, enzim inhibasyonu ve antimikrobiyal etki gibi birçok farklı fonksiyonları vardır (Bostan vd. 2007).

Gıda sanayisinde yeni bir teknoloji olan nanoteknoloji sayesinde yeni gıda ve ambalaj ürünleri üretilmektedir. Nanomalzemeler; sağlığın, gelişmiş ürünlerin ve kalitenin geliştirilmesinde katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, nano büyüklüğünde olduklarından dolayı çevreye olumsuz etkisinin az olduğu bildirilmiştir (Kuswandi vd. 2019). Biyobozunur plastiklere nanoparçacıkların eklenmesiyle farklı özelliklere sahip gelişmiş nanomalzemeler üretilmektedir (Sorrentino vd. 2007). Nanomalzemelerden olan nanokiller, termal, bariyer ve mekanik özellikleri ile düşük maliyetli olmaları sebebiyle gıda ambalajları için kullanılmaktadır (Gabr vd 2015).

Gıda ambalaj sektöründe, nanoteknoloji ve polimerlerin birleşimi ile üretilen nanokompozit filmler birçok gıdanın paketlenmesinde kullanılmakta olup, bu çalışma kapsamında, dünyada en çok üretimi yapılan uçucu yağlardan biri olan lavanta (*Lavandula angustifolia*) üzerine çalışılmıştır.

Lavanta, çalı formunda ve çok yıllık aromatik bir bitkidir. Lavanta bitkisinden elde edilen lavanta uçucu yağı, yüksek miktarda linalol ve linalil asetat bileşenlerini içermektedir, ayrıca düşük kafur içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir. Lavantanın bir türü olan *Lavandula angustifolia* diğer türlere göre daha yüksek bir uçucu yağ kalitesine sahiptir (Kara ve Baydar 2011).

Bitkilerden izole edilen uçucu yağların bileşimi, yağın işlenmesi ve depolanması sırasında ortamın ışık, sıcaklık ve oksijen mevcudiyeti gibi faktörlerine göre değişime uğramaktadır. Bunun sonucunda yağın renginde değişim, vizkozitede artış veya oksitlenmiş bileşiklerin çoğalmasıyla yağda hoş olmayan, keskin bir aroma ve kötü tat oluşabilmektedir. Uçucu yağlar, depolama süresi boyunca, uzun süreli ışık, hava ve ısıya maruz kalması sonucu oksidasyona, hidrolizasyona ve polimerizasyona uğramaktadır. Bu sebepten dolayı uçucu yağların hava geçirmez, koyu renkli camlar veya alüminyum kaplarda ağzı sıkı bir şekilde, soğuk ve karanlık ortamlarda depolanması gerekmektedir (Kaya ve Ergönül 2015).

Bu bilgiler doğrultusunda bu çalışmanın amacı, üretilen nanokil içerikli polimerik filmin (NPF) kapak ambalajı olarak 6 aylık depolama sonucunda lavanta uçucu yağının fizikokimyasal özellikleri üzerine etkilerini incelemek olmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Nanobilim ve Nanoteknoloji

Nanobilim kavramı, 1- 100 nm boyutundaki maddelerde meydana gelen özel olayları araştıran disiplinler arası bir bilim alanıdır (Ateş 2015). Nanoteknoloji ise, çok farklı özelliklere sahip yeni cihazlar ve malzemeler oluşturmak üzere farklı veya aynı atomların, moleküllerin veya moleküler kümelerin birleştirilmesi ya da farklı yapılara dönüştürülmesine dayanan bir bilim dalıdır (Joseph and Morrison 2006).

Nanomalzemeler, 2006 yılında Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından “benzersiz özellikler sergileyen mikro ölçeğinden daha küçük boyutlara sahip parçacıklar” olarak tanımlanmaktadır. Nanoteknolojinin önem kazanmasında, maddelerin nano ölçekte farklı özellikler göstermesinin büyük rol oynadığı belirtilmiştir. Makro büyüklükteki maddeler, nano boyutuna geçtiklerinde, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin farklılaşarak kuantum özellikleri netlik kazanmaktadır. Bu nedenle, maddelerin fiziksel özelliklerinde değişim meydana gelebilmektedir. Buna örnek olarak, altın elementinin makro boyutta sarı, nano boyuta geçtiğinde ise kırmızı renkte görülmesi verilebilir (Menceloğlu ve Kırca 2008).

2.1.1 Nanoteknolojinin Tarihi, Dünyada ve Türkiye’deki Yeri

Nanoteknolojiden, ilk olarak fizikçi Richard Feynman tarafından Amerikan Fizik Derneği, Kaliforniya Teknoloji Enstitüsünde 1959 yılında yaptığı “There's Plenty of Room at the Bottom” yani “Aşağıda Bir Sürü Yer Var” isimli bir konuşmasında söz edildiği bilinmektedir. Feynman atomlar ve moleküler ölçekteki malzemeleri manipüle etme konusunda araştırmalarda bulunmaktadır (Sahoo vd. 2007). Nanoteknoloji terimi ise ilk kez Tokyo üniversitesinde bir araştırmacı olan Norio Taniguchi tarafından 1974 yılında kullanılmıştır (Miyazaki 2007, Sahoo vd. 2007). 1991 yılında Saumio Iijima tarafından karbon nanotüplerin keşfedilmesinin, nanoteknoloji alanında yapılan araştırma ve geliştirme uygulamalarının yolunu açmıştır (Miyazaki 2007). 2006 yılında ise nano parçacık kullanılarak vücuda ilaç dağıtımının sağlandığı ve bu sayede kanser

tedavilerinde, tüm vücut yerine istenilen bölgeye müdahale edilebilme yönteminin keşfedildiği bildirilmiştir. Günümüze gelindiğinde, nanobilim ve nanoteknoloji; tıp, eğitim, endüstri, savunma sanayi, bilimsel araştırmalar, enerji, elektrik elektronik, tarım, tekstil, havacılık ve uzay, malzeme bilimi ve gıda gibi hayatın birçok alanında karşımıza çıkmaktadır (Özer 2008).

Dünya çapında pek çok büyük firmanın nanobilimin potansiyel avantajlarını araştırdığı bilinmektedir. 1999 yılında ilk nanoteknoloji laboratuvarını kuran Kraft gıda, 2000 yılında dünya çapında 15 üniversite ve ulusal araştırma laboratuvarının yer aldığı “Nanotek Konsorsiyumu” düzenlemiştir. Nestle ve Kraft firmalarının nanoteknoloji alanında yaptığı bir diğer çalışma ise, gıda maddelerinin renk, aroma ya da içeriğinin tüketicinin diyet ihtiyaçlarına, damak tatlarına veya alerjilerine göre değiştirebilme yeteneğine sahip ürünlerin geliştirilmesidir (Sangamithra ve Thirupathi 2009, Neethirajan ve Jayas 2011).

Türkiye, geleceğin teknolojisi olarak görülen nanoteknoloji dalında geri kalmamak adına çeşitli ulusal programlar ve yatırımlar gerçekleştirerek dünya çapında bu teknolojide rekabet edebilecek düzeye gelmek istemektedir. Bu teknolojinin geliştirilmesi adına devletin desteğiyle kamu ve özel sektör alanında birçok yatırım gerçekleştirmiştir. Türkiye’de nanoteknoloji şu an için genel olarak tekstil ve medikal alanında yapılan araştırmalara öncelik vermekte ve bu alanda ilerlemektedir. Ülkemizde yapılan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığının katkısıyla, Bilkent üniversitesi tarafından Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (UNAM) kurulmuştur. Bu merkez yaklaşık 9000 m² kapalı alan ve 62 adet araştırma laboratuvarını bünyesinde bulundurmaktadır. Nanoteknolojideki ortaya çıkan gelişmelere paralel olarak nanobiyoteknoloji, nanomalzeme ve kimya, enerji ve hidrojen ekonomisi, nanotriboloji, yüzey kaplama, katalizör tasarımı gibi güncel konularda araştırmalar yürütülmektedir. Bu iki çalışmaya ek olarak ülkemizde birçok üniversite nanoteknoloji alanında çalışmalar sürdürmektedir (Kahraman 2010).

2.1.2 Nanoteknoloji ve Gıda Endüstrisi

Tarım ve gıda endüstrilerinde nanoteknoloji ilk olarak Eylül 2003'te yayınlanan Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) yol haritasında ele alınmıştır. Gıdaların karakter özellikleri üzerinde daha fazla kontrol sağlamak, lezzet, doku, işleme hızı, ısı toleransı, raf ömrü, izlenebilirlik, güvenlik, besinlerin biyoyararlanımı gibi işleme işlevselliklerini geliştirmek amacıyla bir dizi nanoteknik ve malzeme geliştirilmektedir. Gıda nanoteknolojisi, genel anlamda, nanobilimin gıda sektöründeki uygulamalarını içermektedir. Daha özel anlamda ise gıdaların dokusu, yapısı ve kalitesinde yeni uygulamalar ve yapılan çalışmaların, nano bilim ve mühendislik ile geliştirilmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Joseph ve Morrison 2006, Saka ve Terzi 2015). Son dönemlerde, gıda nanoteknolojisindeki gelişmelerle beraber, yenilikçi ve daha sağlıklı gıdalar üretilebildiği belirtilmiştir (Saka ve Terzi 2015). Gıda bileşenleri içeren nanoparçacıklar, nanotüpler, nanolifler, nanoemülsiyonlar, nanosensörler ve nanokompozitlerin farklı amaçlarla gıda endüstrisinde kullanılabilme potansiyeli vardır (Ramsden 2014).

Gıda alanında nanoteknoloji uygulamaları dört ana başlıkta toplanmaktadır. Bunlar:

- 1- Gıdaların işlenmesi ve fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesi,
- 2- Biyoaktif maddelerin taşınması ve kontrollü salınımı,
- 3- Patojenlerin tespiti ve gıda güvenliğinin artırılması,
- 4- Paketleme sistemlerinin geliştirilmesidir.

Paketleme araçları, tedarik zinciri sürecinde ürünün hammadde çıkışından son tüketiciye kadar korunması, muhafa edilmesi, taşınması ve tanımlanması için kullanılmaktadır. Paketleme araçlarının, bu özellikleri göstermesinin yanında ambalajlanan ve korunan ürünlerin getirdiği farklılıklardan dolayı mekanik, termal ve bariyer özelliklerinde iyileştirilmeler yapılabilmektedir ve bu amaçla nanomalzemeler kullanılabilmektedir. Nanomalzemelerin kullanımındaki artışın nedeni ileri fonksiyonel özelliklerinin ambalajlara getirdiği yeniliklerdir. Nanoteknoloji, paketlenmiş gıdaların raf ömrünü arttırmak, antimikrobiyal, antioksidan, enzim, tat maddeleri, nutrasotik salınımı gibi özellikler için de kullanılabilir (Cha ve Chinnan 2004).

2.1.3 Biyobozunur Ambalajlar ve Nanokompozitler

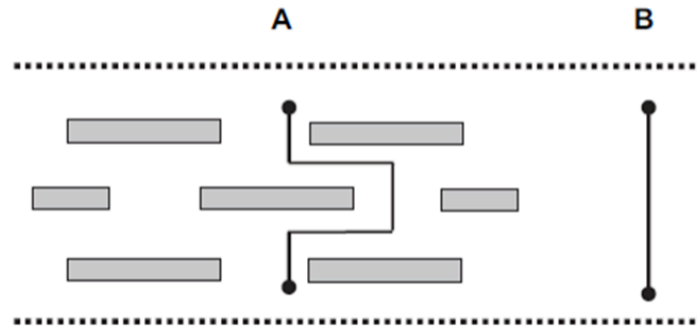
Polimerler, birden fazla molekülün kimyasal bağlarla bağlanarak düzenli bir şekilde oluşturdukları, yüksek molekül kütlesine sahip bileşiklerdir. Kompozit malzemeler ise, iki veya daha fazla sayıdaki polimer ya da farklı türdeki materyallerin en faydalı özelliklerini bir araya toplamak veya yeni bir özellik elde etmek amacıyla birleştirilmesiyle oluşan malzemelerdir. Nanoteknoloji alanında, polimer nanokompozitlerin üretimi ve uygulamalarının büyük öneme sahip olduğu bildirilmiştir (Memiş 2017).

Nanoteknoloji, paketleme sistemlerinin geliştirilmesinde, nanokompozit ambalaj malzemeleri, biyobozunur nanokompozit ambalaj malzemeleri, aktif ve akıllı nano ambalajlar olmak üzere üç ayrı kategoride kullanılmaktadır (Bente vd. 2000). Günümüzde gıda ambalajlama sistemlerinde kullanılan materyallerin büyük çoğunluğunun fosil yakıtlardan elde edilen ve biyobozunur olmayan ürünler olmasından dolayı ambalaj malzemelerinin ciddi çevresel problemlere yol açtığı bilinmektedir. Gıdaların kalitesini arttırmak, raf ömrünü uzatmak ve ambalaj atıklarının azaltılmasını sağlamak amacıyla sentetik ve yenilebilir ambalaj materyallerinin üretimi yönünde çalışmalar yapılmaktadır (Kirwan ve Strawbridge 2003). Nanokompozit ambalaj malzemeleri: içerisinde 100 nanometreden (nm) daha küçük boyutlarda, bir veya birden fazla nano-malzeme içeren polimerlerdir. Nano malzemelerin film veya plastik içerisinde yayılmasıyla oksijen, karbondioksit ve nemin gıdaya temasını engellenerek bariyer oluşturmaktadır. Nanokompozitler, şeffaf yapıda, düşük yoğunluklu, iyi yüzey özelliğine sahip, koku, oksijen ve su buharı geçirgenliği düşük ve geri dönüşümü mümkün olan ambalajların geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Nanokompozitlerde yer alan bütün bu özelliklerin geliştirilmesi için kullanılan nanopartikül oranı genellikle %5 olmaktadır (Joseph ve Morrison 2006, Arora ve Padua 2010).

Biyobozunur nanokompozit ambalaj malzemeleri: tarımsal hammaddeler, hayvansal kaynaklar, gıda sanayi atıkları, deniz veya mikrobiyal kaynaklardan elde edilmektedir. Bu ambalaj malzemelerinde yenilebilir hammaddelerin yanı sıra su, karbondioksit ve kaliteli gübre gibi çevre dostu ürünler de kullanılmaktadır (Rhim vd. 2006). Biyopolimerlerin gıda ambalajlanmasında kullanılması ile tarımsal kaynakların

değerlendirilmesi mümkün olurken plastik bazlı ambalajlamaya olan bağımlılık azalmaktadır. Biyopolimerden olarak polisakkaritler, proteinler ve lipidler ile üretilen yenilebilir filmlerin kullanımı zamanla gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır (Dawson vd. 2002). Doğada yer alan hayvansal ve bitkisel kaynakların yapısında (ağaçlar, yapraklar, meyveler, tohumlar, hayvan derisi ve kemikleri vb.) birçok çeşitli polimerler bulunmaktadır. Selüloz ve nişasta, biyobozunur ambalaj malzemesi üretiminde en çok kullanılan kaynaklardır (Gümüşderelioğlu 2012).

Gıda ambalajlamada en sık kullanılan polimerler arasında polietilen, polipropilen, polistiren, polivinil klorür ve PET yer almaktadır (Marsh ve Bugusu 2007). Son yıllarda ise PLA, PHB, PCL, PBS ve nişasta gibi alifatik polyesterler kullanılarak üretilen biyobozunur nanokompozitler geliştirilmektedir. Biyobozunur polimerler mantar, bakteri ve alg gibi mikroorganizmaların enzimatik aktiviteleri dolayısıyla çevrede bozunmaya uğramaktadır. Bu polimerlerin biyodegradasyonu sonucu, çevre problemine neden olmayan, CO₂, CH₄, biyokütle, su, humus ve diğer doğal materyaller ortaya çıkmaktadır (Gross ve Kalra 2002). Bu materyaller biyobozunur olmalarına ek olarak gıdaların tat, koku ve görünüş organoleptik karakteristiklerini geliştirmektedirler. Ambalajın ağırlığını ve hacmini azaltırlar ve gıdaların raf ömrünü uzatarak iç bileşenlerini kontrol altında tutarlar (Memiş 2017).



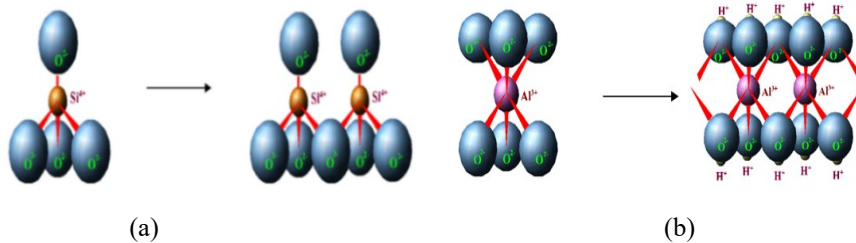
Şekil 2.1 Nano materyal içeren kompozit filmin gaz ve su buharı geçiş şeması, gaz ve su buharının, (A), polimer nanokompozit filminden geçen yol uzunluğu, (B), saf polimer filminden geçen yol uzunluğu (Memiş 2017).

Şekil 2.1’de gösterildiği üzere, saf polimere nano malzeme eklenmesiyle elde edilen nanokompozit filmlerde, gaz ve su buharı geçiş yolu daha kıvrımlı bir hal almaktadır. Bu sayede gaz ve su buharı geçişi zorlaşarak, polimer nanokompozit filmlerin bariyer

özellikleri gelişmektedir. Yapıya katkı maddesi eklenmesinin amacı; matrisin dayanımını arttırırken sertliğinin arttırılmamasını sağlamak, ısı özelliklerini geliştirmek, gaz geçirgenliğini düşürmek ve bunun yanında polimerlerin sertlik dereceleri, düşük sıcaklıklardaki esneklikleri ve oksidasyona karşı olan direçlerini arttırmaktır. Bu özellikler geleneksel katkı maddeleri ile elde edilememektedir. Gıda ambalajlama alanında yapılan çalışmalarda, polimer performansını arttırmak amacıyla ürünlere eklenen katkı materyali olarak birçok nanopartikül malzeme kullanılmasına karşın, bunlardan en yaygın olanı inorganik kildir. Kil, polimerik sistemlere eklendiğinde nanoboyutta ara fazlar halinde dağılabilmektedir. Smektit tipi killerden olan montmorillonit, saponit ve sentetik mika en fazla kullanılan tabaka yapılı killerden olup özellikle nanokompozit uygulamalarını içeren çalışmalarda sıkça rastlanmaktadır (Ray vd. 2003).

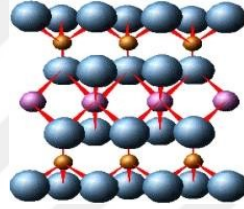
2.2 Killer

Killer; madenlerin ve kayaların zaman içerisinde aşınması ile oluşan, su içeren alüminyum silikatlardır. Killer, kristal olarak oluşumları birbirinden farklı olan birkaç mineralin bir araya gelmesiyle oluşan mineral karışımının genel adıdır. Doğada saf olarak yer almaları oldukça zordur. Killer yapısal özelliklerine göre koalin, smektit (montmorillonit), ilit, sepiyolit, paligorsit olmak üzere 5 ana grupta sınıflandırılmaktadırlar ve dünyanın en önemli ve kullanışlı mineralleridir. Bu önemli kil minerallerinin endüstrideki uygulama alanı fazlasıyla çoktur. Killerin yapısında mineraller dışında en çok kalker, mika, silis ve demiroksit bulunmaktadır (Yalçinkaya 2008).



Şekil 2.2 Killerin yapısındaki tetrahedral ve oktahedral molekülleri, (a), Tetrahedral yapı ve silikat tabakaları; (b), Oktahedral yapı ve alümina tabakaları (Yalçinkaya 2008).

Kil mineralleri, tetrahedron (düzgün dört yüzlü) ve oktahedron (düzgün sekiz yüzlü) olarak isimlendirilen kristal kafes şeklinde bir yapıdan oluşmaktadır. Şekil 2.2’te görüldüğü üzere, tetrahedral yapının, merkezinde silisyum atomu yer alan ve çevresi 4 adet oksijen atomuyla çevrilmiş, düzgün dörtyüzlü bir şekil olduğu bildirilmiştir. Oktahedral yapının ise merkezinde alüminyum atomu yer alan ve çevresi 4 ya da 6 adet oksijen atomuyla çevrilmiş, düzgün sekizyüzlü bir şekil olduğu bildirilmiştir. Yapıdaki yük dengesinin sağlanması için negatif yüklü oktahedral tabakada yer alan oksijenlerin, tetrahedral yapıdaki oksijenlerle birleştiği bildirilmiştir. Bunun sonucunda şekil 2.3’te yer alan Tetrahedral-Oktahedral-Tetrahedral (TOT) yapıları oluşmaktadır. Oluşan bu yapıların üst üste bir araya gelmesiyle kil taneciklerinin oluştuğu bildirilmiştir (Yalçinkaya 2008).



Şekil 2.3 Killerin yapısındaki TOT (Tetrahedral-Oktahedral-Tetrahedral) molekülü (Yalçinkaya 2008).

Kil, yapısının tabakalı olması ve uygun ortamda kolay disperse olmasından dolayı nanokompozit eldesinde en çok kullanılan mineral olmaktadır (Yalçinkaya 2008).

Montmorillonit, tabakalı killer arasında en yaygın olan türdür (Grim 1978, Eser 2010). İlk olarak 1847 yılında Fransa’nın Montmorillon bölgesinde bulunmuş ve adını bu bölgeden almıştır. Kimyasal formülü $(\text{Na,Ca})_{0.33}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ’dur. İki silisyum tetrahedralinin arasında bir alüminyum oktahedrali yer alan TOT yapısında bir kil mineralidir. İçerisinde yer alan birimler van der Waals bağları ile birbirine bağlıdır ve bunun sonucunda yumuşak bir yapıdadır. TOT tabakasının kalınlığı 1 nanometre olarak belirtilmiştir. Montmorillonit, koloidal yapı göstermesi, partiküllerinin elektrik yüklü olması, gelişmiş düzeyde sıvı emici özellikte olması, boyutunun küçük fakat spesifik yüzey alanının geniş olması, suda oldukça fazla şişebilmesi ve yüksek plastisite ile absorbe olabilme yeteneklerinden dolayı en fazla kullanılan kil çeşididir (Koroğlu 2004).

Montmorillonit mineralinin yüzey alanın yaklaşık olarak 800 m²/g olduğu bildirilmiştir. Bu sayede daha yüksek miktarlarda madde absorblayabilmektedir. MMT kilinin tabakaları arasında su bulunmaktadır ve bu sayede şişebilen bir kil özelliğine sahiptir. Ham montmorillonitin içeriğinde, montmorillonitin yanı sıra gang mineralleri de bulunmaktadır. Ham şekilde ilaç, gıda, kozmetik gibi sektörlerde kullanılmadığından dolayı saflaştırma yapılması gerektiği bildirilmiştir (Çiftçi 2021). MMT kil, yapısının tabakalı olması ve uygun ortamda kolay disperse olmasından dolayı nanokompozit eldesinde en çok kullanılan mineral olmaktadır. Yüzeylerinde yer alan –OH grupları nedeniyle hidrofilik yapıdadır, hidrofobik materyalleri ile kullanılması için modifiye edilmesi gerekmektedir. MMT kilin modifikasyonu ile elde edilen nanokil, nanokompozit hazırlanmasında kullanılmaktadır (Yalçınkaya 2008).

2.2.1 Nanokil

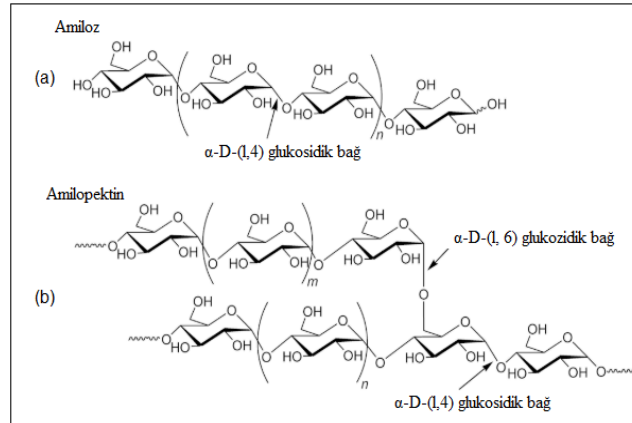
Nanokil, 1 nm kalınlığında ve yaklaşık olarak 100-500 nm tabaka uzunluğuna sahiptir. Nanokilin yapısı, 8-10 µm çapındaki yüzlerce tabakanın partikül ya da taktoid oluşturacak şekilde üst üste dizilmesi sonucu oluştuğu bildirilmiştir. Bu tabakaların arasındaki boşluklara ise galeri adı verilmektedir. Nanokilin tabaka yüzeyleri yer değiştirebilen Na⁺ ve Ca⁺² iyonları ile kaplı ve negatif yüklüdür (Tan vd. 2008). Tabaklar arasında Na⁺ iyonları bulunan killerin boşlukları daha geniş olmakta bu sayede polimer bağlama kapasitesi yükselmektedir. Kilde bulunan iyonlar, kilin modifikasyonu sonucu ortamda bulunan organik katyonlarla yer değiştirmektedir. Bunun sonucu tabakaların polaritesi değişerek araları genişlemektedir. Bu genişlemiş yapıdaki killer nanokompozit ürün sentezi için potansiyel ürünler olmaktadır. Polimer malzemelerden olan nanokil parçacıklarının, ambalaj dışına göç eden su ve oksijen gibi moleküllerin geçişini ve hızını olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Bu sayede ambalajların bariyer özelliğinin geliştiği bildirilmiştir (De Vlieger 2003, Ayhan 2012).

Kim ve Cha (2014), yaptıkları bir çalışmada nanokompozit filmlere sadece %3 (a/a) kil ilavesi ile su buharı bariyer özelliklerini (%90) ve oksijen geçirgenliğini (%59) nanokil eklenmemiş filme göre geliştiğini tespit etmişlerdir.

Othman vd. (2019), Saf PLA içeren filmler ile PLA/nanokil içeren filmlerin oksijen geçirgenliği özelliklerini incelemişlerdir. Saf PLA filmlerin oksijen bariyeri özellikleri orta seviyededir, fakat ağırlıkça %3 nanokil ilavesi ile üretilen PLA/nanokil filmlerin oksijen geçirgenliğinin saf PLA'ya göre %33 oranında azaldığını tespit etmişlerdir.

2.3 Nişasta

Nişasta, tüm polisakkaritlerin içerisinde, selülozun ardından, doğada en çok bulunan ikinci bileşiktir. Nişasta yapısal olarak, glikoz birimlerinin glikozit bağlarıyla birbirine bağlanması sonucu oluşmaktadır ve doğada kristal yapıda bulunmaktadır. Nişastanın kimyasal formülü $(C_6H_{10}O_6)_n$ 'dir. Amiloz ve amilopektin olarak iki tip glikoz biriminden oluşmaktadır. Nişastada yer alan amiloz ortalama olarak 6000 adet glikoz biriminin α -1.4 glikozidik bağla bağlanması sonucu oluşmaktadır. Amilo pektinin yapısında ise 10-60 adet glikoz birimi α -1.4 bağlarıyla bağlanmış ve kısa zincirlerinin yanında 10-45 adet glikoz birimi olan α -1.6 bağlı yan zincirleri bulunmaktadır (Maarel vd. 2002).



Şekil 2.4 Nişastanın yapısındaki amiloz ve amilopektin polimerleri olan (a): Amiloz ve (b): Amilopektin yapıları (Prabhu ve Prashantha 2016)

Kaynağına bağlı olarak nişastanın, ağırlıkça %75-80 amilopektin içerirken, %20-25 amilaz içerdiği belirtilmiştir. Bu durumun, botanik kökene ve genetik geçmişe bağlı olarak değişebildiği bildirilmiştir. İçeriğinde yer alan amilaz ve amilopektin yapıları nişasta kaynağı olan ürünlerde kümeler halinde bulunur ve ısı uygulaması sonucu bu yapı şişebilmektedir. Şişme sonucu yapışkan özellikte bir yapı meydana gelmektedir

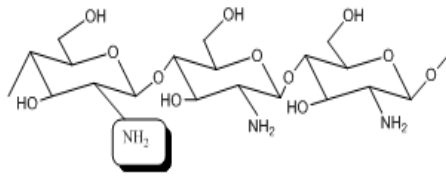
bunun nedeni olarak amilopektin verilebilir. Nişastada bulunan amilaz, içeriğindeki fosfolipidler ile sarmal bir yapı oluşturarak molekülün su bağlama kapasitesinin artmasına ve şişmesine olanak sağlamaktadır. Bunlara ek olarak, nişastanın içerisinde lipidler, fosfatlar, proteinler ve küller yer aldığı belirtilmiştir. İçeriğindeki protein ise nişasta içeren çözeltilere berrak ve sağlam bir yapı kazandırmaktadır (Maarel vd. 2002, Tayar ve Çıbık 2013).

Nişasta, mikro yapısı ve fizikokimyasal özellikleri dolayısıyla hem gıda hem de gıda dışı endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapısında yer alan amiloz miktarı, partikül özellikleri ve biyolojik kökenli mikro yapısı, nişastanın gıda endüstrisinde stabilizatör, koyulaştırıcı ya da jelleştirici ajan olarak kullanılma potansiyelini belirlemektedir. Nişasta, doğada çözünebilir yapıda olması ve ucuz olması sebebiyle petrol türevli malzemelerin yerine kullanılabilir (Xie vd. 2006, Liu vd. 2009). Nişastanın fazlasıyla kompleks bir yapıda olması, tek başına işlenmesini zorlaştırmaktadır. Bunun nedeninin, termal bozulma sıcaklığına göre erime noktasının daha yüksek olması olduğu belirtilmiştir. Nişasta yapısal olarak su emiş kapasitesinin yüksek olmasından dolayı çok kırılmalıdır, kimyasal yöntemler kullanılarak bu mekanik, kristalik ve su emilimi özellikleri iyileştirilebilir (Cyras vd. 2005). Nişastaya, erime noktasını düşürmek ve molekül zincirlerindeki hidrojen bağlarını zayıflatmak amacıyla, yardımcı plastikleştiriciler eklenmektedir. Plastikleştiriciler eklenerek üretilen termoplastik nişastanın, geleneksel yöntemler kullanılarak işlenebilir duruma getirildiği bildirilmiştir. Nişastanın kimyasal ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için kullanılan diğer bir yöntem ise biyopolimerler ile harmanlanmasıdır. Farklı bir biyopolimerin nişasta ile karıştırılması sonucu benzer kimyasal özelliklerinin etkileşime girmesiyle mekanik özellikleri iyileşmektedir. Buna örnek olarak kitosan verilebilir (Mitrus ve Mooecicki 2009).

Akter vd. (2014) kitosan ve nişasta bazlı kompozit filmler hazırlamışlardır. Nişasta bazlı kompozitlere kitosan eklenmesiyle filmlerin gerilme mukavemetinin önemli ölçüde iyileştiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, filmlerin su buharı geçirgenliği ve oksijen geçirgenliğine karşı daha iyi bariyer özellik gösterdiğini tespit etmişlerdir.

2.4 Kitosan

Kitosan, kitinin yapısından asetil grubunun çıkarılması ile elde edilen, β - 1,4 bağlarıyla birbirine bağlanmış 2-amino-2deoksi-D-glikoz (glikozamin) yapılarının tekrarlanmasıyla oluşmaktadır. Kitosan, mantarların hücre duvarları, yengeç ve karides gibi kabuklu canlıların dış iskeletleri, kelebeklerin kanatlarında bulunan doğal bir polisakkarittir (Çankaya ve Sökmen 2017).



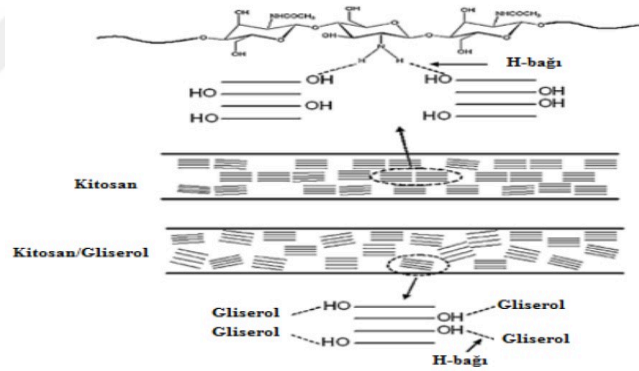
Şekil 2.5 Kitosanın kimyasal yapısı (Çankaya ve Sökmen 2017)

Kitosanın, kristal veya yarı kristal formda bulunabilen, polikasyonik özellikte lineer yapıya sahip bir polimer olduğu bildirilmiştir. Serbest amino gruplarına sahip olduğundan dolayı sulu asidik ortamda çözünme özelliğindedir (Anan vd. 2011). Kitosan, biyoyenilenebilir, biyobozunabilir ve biyofonksiyonel gibi mekaniksel ve biyolojik özellikleri dolayısıyla ilgi çekmektedir. Kitosan hermostatik, fungistatik, bakteriyostatik, antikansorejen, yara ve kemik iyileşmesinin hızlanmasında rol oynamak gibi biyoaktif özelliklere sahiptir (Duman vd. 2004, Şaşmazel 2010).

Biyobozunur polimerler ve nanoparçacıkların birleştirilerek modifiye edilmesi ve güçlendirilmesiyle içeriğindeki bazı maddelerin olumsuz özellikleri iyileştirilmekte ve farklı yeni ürünler elde edilebilmektedir. Jeon vd. (2002) yaptıkları bir çalışmada balık etinde lipid oksidasyonu ve mikrobiyal büyümede kitosan içerikli kaplamanın etkisini incelenmişlerdir. Sonuç olarak kitosanın oksijene karşı bir bariyer görevi gördüğü lipid oksidasyonunu ve mikrobiyal bozulmayı geciktirdiği sonucuna varmışlardır. Ferreira vd. (2018), ceviz yağının depolaması amacıyla ekzopolisakkarit ve kitosandan oluşan çift katmanlı filmler üretmişlerdir ve sentetik filmlere kıyasla depolama sonuçlarına bakmışlardır. Sonuç olarak, ceviz yağının depolanması sırasında oluşan peroksit değerlerinin her iki filmde de benzer sonuçları gösterdiğini tespit etmişlerdir.

ekzopolisakkarit/kitosan filmlerin koruyuculuğunun, biyolojik olarak parçalanamayan ticari filmlere eşdeğer olması dolayısıyla sürdürülebilir bir alternatif olabileceğini tespit etmişlerdir.

Nanokompozit filmlerin kırılgenliğini azaltmak amacıyla plastikleştiriciler kullanılmaktadır ve bu sayede esneklik kazandırılmaktadır. Özellikle nişastanın yapısında bulunan hidrojen bağlarından dolayı işlenebilirliği kısıtlanmaktadır. Plastikleştiriciler sayesinde hidrojen bağları parçalanarak daha kolay işlenebilir duruma getirilir. Bu plastikleştiricilere örnek olarak gliserol, polieter ve su verilmektedir (Yerlikaya vd. 2019). Gliserol, formülü $C_3H_8O_3$ olup üç hidroksil (-OH) grubunda polihidrik alkoldür, plastikleştiriciler içerisinde en fazla kullanılandır. Oda sıcaklığında sıvıdır, suda çözünebilir ve molekül ağırlığı 92,1 g/mol'dür. Kozmatik, ilaç, gıda ve plastik endüstrisinde kullanım alanları mevcuttur. Gliserolün katkı maddesi olduğu FDA tarafından onaylanmış ve GRAS arasında bulunmaktadır (Gönenç 2012).



Şekil 2.6 Gliserol kullanıldığında kitosan/ Na^+ MMT biyonanokompozitinin yapısı (Lavorgna 2010)

Şekil 2.4'te kitosan/ Na^+ MMT biyonanokompozitinin gliserol içeren ve içermeyen yapısı yer almaktadır. Plastikleştirici olarak, gliserol ilavesinin yapının mekanik özellikleri geliştirdiği tespit edilmiştir (Lavorgna 2010).

Leceta vd. (2013) yaptıkları bir çalışmada, kitosan esaslı filmlere plastikleştirici olarak gliserol eklemişlerdir. Esnek ve şeffaf filmler elde etmişlerdir. Ayrıca gliserol ilavesiyle kitosanın su buharı ve oksijene karşı bariyer özelliklerinin geliştiğini bildirmişlerdir.

2.5 Gıda Sektöründe Nanoteknoloji ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Depan vd. (2009), yaptıkları bir çalışmada, kitosan üzerine laktik asit ilave etmişlerdir. Ardından oluşan kitosan-g-laktik asit polimeri ve Na^+MMT ile kitosan-g-laktik asit/ Na^+MMT biyonanokompoziti sentezlemişlerdir. Bu biyonanokompozitin yapısını XRD, FT-IR, TGA, elementel analiz ile karakterize etmişlerdir. Bunun sonucunda, kitosan-g-laktik asit/ Na^+MMT biyonanokompozitinin termal ve fiziksel özelliklerinin poli(laktik asit) ve poli(kitosan-g-laktik asit) kopolimerinden daha iyi olduğu sonucuna ulaştıklarını bildirmişlerdir.

Wang vd. (2006), yaptıkları bir çalışmada, kitosan, Na^+MMT ve susuz asetik asit kullanarak kitosan/kil biyonanokompozitini sentezlemişler ve yapısını FT-IR, XRD, TEM, TGA analizleri ile karakterize etmişlerdir. Biyonanokompozitlere %2,5, %5 ve %10 oranında kil ilave etmişler ve kil miktarının artmasıyla beraber termal özellikler, sertlik ve elastik molekülde artış olduğunu bildirmişlerdir. Buna ek olarak, kitosan matrisinde yer alan asetik asit kalıntılarının, biyonanokompozitin kristal ve mekanik özelliklerini ve termal dayanıklılığını etkilediğini bildirmişlerdir.

Ogata vd. (1997), organik olarak modifiye ettikleri Na^+MMT ile PLA/kil biyonanokompozitlerini sentezlemişler, XRD ve DSC analizleri ile yapısını karakterize etmişlerdir. Bunun sonucunda, mekanik olarak PLA/MMT biyobozunur kompozitlerde olumlu sonuçlar aldıklarını bildirmişlerdir.

Pluta vd. (2002), eritme yöntemi kullanarak modifiye edilmiş %3 Na^+MMT içeren PLA/kil biyonanokompoziti hazırlamışlar ve yapısını XRD, TGA, DSC analizleri ile karakterize etmişlerdir. Morfolojileri ve termal özellikleri saf PLA ile karşılaştırılan biyonanokompozitlerin, yanmazlık özelliği kazandığını bildirmişlerdir. Biyonanokompozitin kazanmış olduğu yanmazlık özelliğinin, diğer yapılacak çalışmalara öncü olabileceğini bildirmişlerdir.

Yao vd. (2010), suyun buharlaştırılması ve/veya vakum yöntemi ile kitosan/MMT biyonanokompozit filmler hazırlamışlardır. Biyonanokompozitlerin yapısını, SEM, TEM, FT-IR, TGA ve AFM ile incelemişler ve mekanik özelliklerinde yüksek

performans sergilediğini tespit etmişlerdir. Yanmazlık ve ışık geçirgenliği özelliklerinde de iyileşmeler gördüklerini bildirmişlerdir.

Zenkiewicz vd. (2008), yaptıkları bir çalışmada, doğal ve organomodifiye kil ilavesiyle elde edilen polilaktit nanokompozit filmlerin su buharı, oksijen ve karbondioksit iletim hızlarına etkisini incelemişlerdir. Organomodifiye kil nanokompozitlerinin su buharı, oksijen ve karbondioksit iletim hızı oranlarını sırasıyla %43, %39 ve %82 oranlarında azalttığını; doğal kil nanokompozitinin ise sırasıyla %25, %4 ve %76 oranlarında indirgediğini tespit etmişlerdir. Kil içeriğindeki artışın, su buharı, oksijen ve karbondioksit iletim oranlarında düşüşe neden olduğunu bildirmişlerdir.

Gupta vd. (2018), yaptıkları bir çalışmada, %1, %2, %3 oranlarında modifiye kitosan içeren, yüksek molekül ağırlıklı poli (D-laktik asit)/poli (L-laktik asit) içeren biyonanokompozit filmler üretmişlerdir. Ardından üretilen biyonanokompozit filmlere oksijen geçirgenliği analizi yapmışlardır ve %3 oranında kitosan içeren filmin, saf PLA filmine göre oksijen geçirgenliğinde %84 oranında bir azalma görüldüğünü bildirmişlerdir.

Lin vd. (2005), yapmış oldukları bir çalışmada, potasyum persülfat ve Na⁺MMT kullanarak organokil elde etmişlerdir. Ardından organokili asetik asit içerisinde yer alan kitosana karıştırarak, kitosan/organokil biyonanokompoziti sentezlemişlerdir. Yapısını XRD, TEM, ESCA ve DLS ile karakterize etmişlerdir. biyonanokompozitin kitosana kıyasla mekanik özelliklerinde gelişme olduğunu ve biyodegradasyonunda gecikme olduğunu tespit ettiklerini bildirmişlerdir.

Han vd. (2010), bir çalışmada, kitosan oligomeri ile kitosan/Na⁺MMT biyonanokompoziti sentezlemişler ve yapısını FT-IR, TGA ve XRD ile karakterize etmişlerdir. Ham kitosana kıyasla, biyonanokompozitin *Escherichiacoli* ve *Staphylococcus aureus* bakterilerine karşı daha fazla antimikrobiyal etki gösterdiğini bildirmişlerdir.

Çabuk vd. (2011), yüzey aktif madde olarak sodyum dode sülfat kullanarak bentonit

kilini organokil haline dönüştürmüşlerdir. Ardından kitosan moleküllerini benzaldehit ile modifiye ederek, kitosan/bentonit biyonanokompoziti sentezlemişlerdir. Yapısını FTIR, XRD, TGA ve SEM ile karakterize etmişlerdir. Elde edilen biyonanokompozitin, antikanserojen ve biyouyumlu olduğu ayrıca çevre dostu olmasından dolayı çeşitli endüstriyel ve medikal alanda kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Sun vd. (2017) yaptıkları bir çalışmada elma polifenolleri ile birleştirilen kitosan filmlerin gıdaların raf ömrünü attırmak amacıyla paketlenme materyali olarak kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

Priya vd. (2014) selülozik lif ile güçlendirilmiş nişasta/PVA kompozit biyobozunur filmler üretmişler ve bunu gıdalar üzerinde araştırmışlardır. Bunun sonucunda üretilen filmlerin gıda paketlenme için uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Kumbunleu vd. (2020) yaptıkları bir çalışmada, %80 PLA %20 gliserol içeren filmler hazırlamışlardır. Ardından filmlerin, yüzeyini kitosan ile kaplamışlardır. Elde edilen filmler ile meyve ve sebzeleri paketlenmişler ve yüksek nemde bile küf veya mikroorganizma gelişimini engelleyici bir etki gösterdiğini bildirmişlerdir.

Büyüksakallı (2011), yaptığı bir çalışmada, ilk olarak LDPE nanokompozit filmler üretmiş ve daha sonra filmleri farklı yoğunluklarda nanokil ile karıştırarak hazırlamıştır. Elde edilen filmleri, çilek, maydanoz ve göbek marulu depolamak için kullanmıştır. Sırasıyla 10, 17 ve 22 gün boyunca depolanan gıdalar için, nanokil içeren LDPE nanokompozit ambalajların en iyi saklama materyali olduğunu bildirmiştir.

2.6 Lavanta (*Lavandula Angustifolia*)

Uçucu yağların, yüzyıllardır bilinen ve kullanılan güçlü duyusal etkilerinin yanında tıbbi olarak öneme sahip olduğuda bilinmektedir (Bakkali vd. 2008). Bu uçucu yağlardan biri de lavanta uçucu yağıdır. Lavanta bitkisinin, 39 farklı türü bulunan, dünyada en çok bilinen ve en çok üretimi yapılan uçucu yağ bitkilerinden biri olduğu bildirilmiştir. Ticari olarak değeri yüksek olan üç önemli türü bulunmaktadır. Bunlar, lavander (*L. Angustifolia* Mill. = *L. Officinalis* L. = *L. Vera* DC), spike lavander (*Lavandulaspica* = *L. Latifolia* Medik.) ve lavandin (*L. Intermedia* (Emericex Loisel.) = *L. Hybrida* L.)’dir. Bu üç önemli türden farklı olarak *L. Dentata* (Fransız lavantası), *L. Stoechas* L. (İspanya lavantası), *L. Latifolia* Medik (Geniş yapraklı lavanta), *L. Multifida* (Eğreltiotu yapraklı lavanta), *L. Canariensis* (Kanarya adaları lavantası), *L. Lanata* (Yünlü lavanta), *L. Heterophylla* ve *L.xallardii* (*L. dentata*x*L. Latifolia* Medik.) şeklinde türleri de bulunmaktadır. Başlıca olarak Avrupa, Asya, Orta Doğu ve Kuzey Afrika’da yetiştirilmektedir (Fiocco vd. 2011).

Lavanta, çalı formunda, çok yıllık, *Lamiaceae* familyasında yer alan aromatik bir bitkidir. Lavanta, genellikle 20-70 cm boylarında dallara ve 60 cm kadar derinlere inebilen kazık köklere sahiptir. Dalların üzerinde yer alan yaprakları grimsi yeşil renkte, 2-6 cm uzunluğundadır. Çiçek saplarının ucunda başak şeklinde çiçekler yer almaktadır. Her bir çiçek ucunda ortalama olarak 5-15 çiçek içeren 5 çiçek kümesi bulunmaktadır. Lavanta tohumu, 1,8-2,2 mm uzunluğunda, 0,5-0,7 mm kalınlığında, 0,9-1,2 mm genişliğindedir. Tohumların şekli oval ve uzunumsu olup kahverengiden siyaha kadar farklı renklerde olabilmektedir (Guenther 1952, Kara ve Baydar 2011).

Lavanta bitkisinin kullanımı günümüzden 2500 yıl öncesine kadar uzanmaktadır. İsmi Latince “yikanmak” anlamına gelen “Lavo” kelimesinden almıştır ve ilk olarak Finikeliler, Araplar ve Mısırlılar tarafından parfümeri ve mumyalama işlemleri için kullanılmıştır. Buna ek olarak, lavantayı süs bitkisi olarak park ve bahçelerden geleneksel ev bahçelerine kadar birçok alanda görmek mümkündür. Lavantanın tıtsüleme yöntemi ile nezle, grip, bronşitin ve anjin tedavilerinde hızlandırıcı etkisi olduğu ayrıca, gargara olarak kullanımı sonucu ağızdaki yaraları temizleyici etkisi olduğu, dil felcini geçirici ve kasılmış kasları gevşetici özellikleri de bulunduğu

belirtilmiştir. Lavanta bitkisinin esas kullanım amacı, yeşil aksam ve çiçeklerinde yer alan uçucu yağıdır. Lavanta uçucu yağı genellikle kozmetik, parfümeri, ilaç ve sabun sanayinde kullanılmaktadır (Ceylan 1996, Karık vd. 2017).

Lavanta türlerinden gerçek (hakiki) lavanta olarak isimlendirilen lavander (*L. Angustifolia Mill.*) iyi kalitede uçucu yağ içeriğinden ve mükemmel bir rosmarinik asit üreticisi olduğundan dolayı eskiden beri en kaliteli lavanta türü sayılmaktadır. Bunun nedeni *Lavandula* ve hibritlerine oranla uçucu yağında (%1-3) daha az kafur bulunması ve yüksek miktarda linalil asetat, linalol içermesidir (Pavlov ve ark. 2005).

2.6.1 Lavanta Uçucu Yağı ve Ambalajlanması

Tıbbi olarak kullanılan lavanta bitkisinden, lavanta uçucu yağı elde edilmektedir (Şimşek 2021). Lavanta çiçeklerinden elde edilen renksiz veya hafif sarı renkteki uçucu yağ, bitkinin en önemli etken maddesidir. Lavanta çiçeklerinin %1-3 oranında değişen uçucu yağ içerdiği bildirilmiştir. Lavanta uçucu yağında yer alan linalil asetat, linalol, sineol ve kafur bileşenleri, uçucu yağın en önemli bileşenleri olup, özellikle linalil asetat yağın kalitesini belirleyen en önemli bileşendir. Uçucu yağda yer alan linalil asetat bileşeninin yüksek olması, kozmetik ve parfümeri sektöründe kullanımı açısından yağa büyük bir değer katmaktadır. Kafur ve 1,8-sineol içeriği zengin olan lavanta yağları ise ilaç ve insektisit endüstrisi için değerlidir. Linalol oranı yüksek olan lavanta uçucu yağları, ilaç endüstrisi ve halk hekimliğinde sinirleri yatıştırıcı, yorgunluk, uykusuzluk giderici olarak kullanılabilmektedir (Sönmez ve ark. 2018).

Mamuk (2022) yaptığı bir çalışmada, lavanta bitkisini kurutmadan elde ettiği uçucu yağın majör bileşenlerini, linalol (%43,07), linalol asetat (%20,04), borneol (%6,48), kafur (%6,28), α -terpinol (%3,25), terpinen-4-ol (%3,09) olarak tespit etmiştir.

Uçucu yağların, sıcaklık, rüzgar, nem ve ışık gibi şartlara duyarlı olması sebebiyle oksidasyon tepkimeleriyle uçucu bileşenlerinde kayıp meydana gelebildiği bildirilmiştir (Bera vd. 2001). Uçucu yağların ambalajlanmasında genellikle ışık geçirmeyen renkli cam şişelerin, galvanize, kalaylı ve emaye kaplanmış demir, alüminyum, paslanmaz çelik kapların kullanıldığı, stabil ortam sıcaklığında serin ve karanlık yerlerde

saklanması gerektiği bildirilmiştir. ISO tarafından uçucu yağların paketlenmesi ve depolanması hakkında genel kurallar bir rapor halinde (ISO/TR 210) sunulmuştur. Bu rapora göre, uçucu yağların paketlenmesinde kullanılan materyaller ve özellikleri aşağıda yer aldığı üzere olmalıdır.

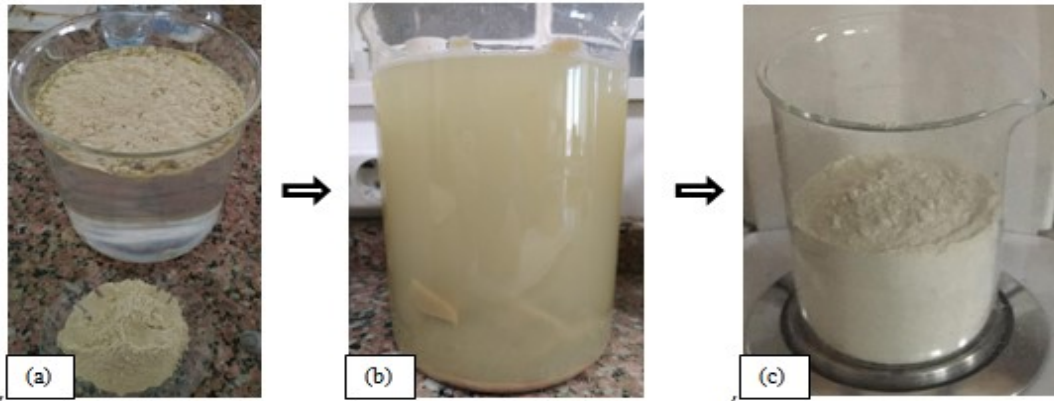
Metal malzemeler, varil, teneke, fıçı, bidon, kutu, mutlaka yeni, temiz ve kuru olmalıdır. Gıda olarak kullanılan uçucu yağlarda sadece kalaylı ve emaye kaplı metal kutular kullanılmalıdır. Diğer amaçla kullanılan yağlar, alüminyum, bakır, galavize, kalaylı, veya emaye boyalı demir kaplarda saklanabilmektedir. Cam şişeler, mutlaka kırılmaya dirençli ve ışık geçirmez olmalıdır. Renksiz, cam şişelerin dışı ise ahşap, plastik vb. koruyucu kılıflar ile kaplı olmalıdır. Plastik veya sadece iç yüzü plastik kaplanmış olan materyaller cam veya metal malzeme kadar kaliteli koruma sağlayabilmeli, uçucu yağ içindeki bileşenler ile kesinlikle reaksiyona girmemelidir. Kullanılan kapak veya tıplar cam veya alüminyum ile etkileşime girmeyecek kalitede olmalıdır. Kullanılan ambalaj tipi tüketiciye ilk kez açma garantisi sunmalıdır (Kurt 1019).

Bu literatür bilgileri ışığında; bu çalışmanın amacı, günümüzde halen kullanılmakta olan ve ekosistemde doğal olarak biyobozunmaya uğrayamayan, doğayı zehirleyen ve bir noktada yaşayan her türlü canlıya zararı olan petrol türevli plastik ambalaj materyallerinin yerine kullanılabilecek doğa dostu ambalajlar üreterek tıbbi ve aromatik uçucu yağların depolanmasında kullanılan araçlara nanoteknoloji sayesinde inovasyon kazandırmaktır. Bu amaçla, doğanın bünyesinde kendiliğinden yer alan ve hiçbir şekilde bir çevre problemine neden olmayan, nişasta, kitosan ve nanokil maddeleri kullanılarak nanokil içeren polimerik film (NPF) elde edilmiştir. Üretilen NPF kapak ambalajı, dünyada en çok üretimi yapılan tıbbi ve aromatik bitkilerden biri olan lavanta bitkisinin uçucu yağının depolamasında kapak filmi olarak kullanılmıştır. 6 aylık süreçte belirli aralıklarla, NPF kapak ambalajı ile kapatılan uçucu yağa fiziko-kimyasal analizler uygulanarak, üretilen NPF'nin lavanta uçucu yağı üzerinde yeterince koruyucu etkisi olup olmadığı araştırılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Nanokilin Hazırlanması

İlk olarak saflaştırma işlemi yapmak amacıyla 5 gram sodyum bentonit kili tartılmış ve 1000 ml saf suya eklenmiştir. Sodyum bentonit kili saf su ile homojen bir şekilde karıştırılıp safsızlıkların çökmesi için 24 saat dinlendirilmiştir. Dinlendirme işleminin ardından, altta kalan gang minerallerinden çözeltiyi ayırmak için süzme işlemi uygulanmış ve nanokil eldesi için süzöntü 1000 rpm’de santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonucu dibe çöken nanokil numunesi petri kaplarına alınmış ve 60°C derecede etüvde kurutulmuştur. Daha sonra elde edilen kuru nanokil, toz eldesi için öğütülmüştür (Çiftçi vd. 2020).



Resim 3.1 Nanokilin üretilmesi

3.2 Biyofilmin hazırlanması

Nanokil içerikli polimerik filmlerin hazırlanması aşamasında ilk olarak, 1,25 gr nanokil, 25 gr nişasta, 2,5 gr kitosan, 30 ml %1 M asetik asit, 20 ml gliserin ve 250 ml saf su 500 ml’lik bir behere aktarılmıştır. Ardından homojen bir karışım elde etmek amacıyla homojenizatörde bir buçuk saat karıştırılmıştır. Daha sonra homojen karışım kıvam alması için 100°C derecede karıştırılarak ısıl işleme maruz bırakılmıştır. Bu işlemin ardından elde edilen film çözeltisi, film aplikatörü yardımıyla 200 mikron kalınlığında düz bir zemine dökülerek bir gün bekletilmiştir. Zeminde kuruyan numuneler kaldırılarak analiz için kullanılabilecek nanokil içerikli polimerik filmler elde edilmiştir.

Akter ve ark. (2012)'nın çalışmasından revize edilmiştir.



Resim 3.2 Üretilen nanokil içerikli polimerik film

3.3 Numunelerin Hazırlanması

Ticari bir firmadan satın alınan ve distilasyon yöntemiyle üretilen lavanta uçucu yağları (*Lavandula angustifolia*) 50 ml'lik cam amber kaplara aktarılmıştır. Ardından kapların üzerleri 2 katlı olacak şekilde üretilen 200 mikronluk NPF ile kapatılmıştır. Lavanta uçucu yağı numuneleri, 0. ay kontrol grubu (NPF ambalajı ve plastik ambalaj) için plastik kapakla depolanmıştır. Hazırlanan NPF'nin lavanta uçucu yağın koruyucu etkisini incelemek amacıyla 0. ay (kontrol grubu), 2. ay, 4. ay, 6. ay olmak üzere fiziko-kimyasal analizleri yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra üretilen nanokil, NPF ve depolanan lavanta uçucu yağlarına aşağıda belirtilen analizler uygulanmıştır.



Resim 3.3 NPF kapak ambalajı ile kapatılmış lavanta uçucu yağları

3.4 Nanokile Uygulanan Analizler

3.4.1 Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM)

Bu çalışmada elde edilen nanokil numunelerinin SEM-EDX analizi ZEISS LEO 1430 VP model SEM cihazı ile yapılmıştır. SEM-EDX analizi Afyon Kocatepe Üniversitesi TUAM'da gerçekleştirilmiştir. Nanokil numunelerinin, ölçümü karbon kaplama yapılarak gerçekleştirilmiştir (Karayiğit ve Duman 2022).

3.5 Biyofilme Uygulanan Analizler

3.5.1 Biyobozunurluk

Bu çalışmada, üretilen NPF'nin biyobozunurluk analizi toprak altında gerçekleştirilmiştir. 2x2 boyutlarında kesilen NPF numuneleri toprağa gömülerek 6 ay boyunca bekletilmiştir ve ağırlık kayıpları hesaplanmıştır (Kocaman vd. 2018). % biyobozunurluk aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{\text{Kuru ağırlık kaybı}}{\text{Kuru ağırlık}} \times 100 = \text{\% biyobozunurluk}$$

3.5.2 Haze (Pusluluk)

Bu çalışmada, üretilen NPF'nin haze değerleri ISO 13468 standardı kapsamında gerçekleştirilmiştir. NPF numuneleri 50 mm kenar uzunluğunda kare olacak şekilde cihaza yerleştirilmiş ve ölçüm yapılmıştır. Analiz, BYK Garder- haze-gard dual, ışık geçirgenlik cihazı ile yapılmıştır (TS EN ISO 13468).

3.5.3 FT-IR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Analizi)

Bu çalışmada, üretilen NPF'nin FT-IR spektrumları yüksek hassasiyete sahip piroelektrik dedektör (döteryumlu L-alanin katkılı triglisin sülfat) ile donatılmış ve laboratuvar solüsyonları DBIR işletim sisteminin yazılımına bağlı bir spektrometreyle (IRAffinity-1S, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japonya) kaydedilmiştir. Ölçümler 400

ile 4000 cm⁻¹ aralığında kaydedilmiştir ve 22 °C’de gerçekleştirilmiştir (Grigora 2022).

3.6 Lavanta Uçucu Yağına Uygulanan Analizler

3.6.1 Serbest Yağ Asitliği

Lavanta uçucu yağının, aylara göre serbest yağ asitliği değeri AOCS’de belirtilen metot kullanılarak titrimetrik olarak hesaplanmıştır (Anonymous 1989a). Yağ örnekleri 5-10 gr arasında tartılmıştır. Ardından örnekler, 50-150 ml’lik dietil eter ve etil alkol karışımında çözülmüştür. Hazırlanan çözeltiye, 3-5 damla fenolftalein damlatılarak 0,1 N KOH çözeltisi ile titre edilmiştir. Sonuçlar % olarak, aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Nas 2001).

$$\frac{\% \text{NaOH} \times V \times 100}{m \times 1000}$$

V: Kullanılan NaOH'un hacmi

m: Analiz için kullanılan örnek miktarı (gram)

3.6.2 Peroksit Sayısı

Peroksit değerlerinin belirlenmesi için AOCS’nin Cd 8-53 standart metodu ve formülü kullanılmıştır. Analiz için 10 ml lavanta uçucu yağı örneği tartılarak üzerine 10 ml kloroform eklenmiş ve çözdürülmüştür. Ardından çözeltiye 15 ml asetik asit ve 0,5 ml doymuş KI eklenmiştir. Bir dakika boyunca karıştırma işlemi uygulandıktan sonra karışım oda sıcaklığında ve karanlık ortamda 5 dakika bekletilmiştir. Üzerine 1 ml nişasta çözeltisi, 75 ml su eklenmiş ve karışım berrak renge ulaşana kadar 0.01 N sodyum tiyosülfat ile titre edilmiştir. Sonuçlar meqO₂/kg değerinde, aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Anonymous 1989b).

$$\frac{\% \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times V_0 \times 100}{m \times 1000}$$

*V*₀: Şahit deneyimdeki sodyumthiosülfat sarfiyatı (ml)

V₁: Numune deneyinde görülen sodyumthiosülfat sarfıyatı (ml)

N: Sodyum tiyosülfat çözeltisi normalitesi (N)

m: Analiz için kullanılan numunenin miktarı (g)

3.6.3 Kırılma İndisi

Lavanta uçucu yağı numunelerinin, kırılma indisi ölçümleri Abbe refraktometresiyle gerçekleştirilmiştir. Analiz için pipet ile alınan lavanta yağı numuneleri, 20°C derecede refraktometrenin prizması üzerine damlatılmış ardından üç okuma yapılarak analiz gerçekleştirilmiştir (Anonim 1970).

3.6.4 Renk

Kapak kısmı NPF ile kaplı lavanta uçucu yağının renk ölçümleri, (L*, a* ve b* değerleri) 6 aylık sürede 2'şer aylık periyotlarla 2 gözlemciye sahip, D₆₅ aydınlatmalı Diffuse/O modundaki 8 mm'lik aydınlatma aralığındaki Kolorimetre (CR-400 model, Konica Minolta, Osaka, Japonya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. L* (parlaklık), a* (kırmızı, +60; Yeşil -60) ve b* (+60 sarı; -60 mavi) renk koordinatları CIE L*, a*, b* renk koordinat sistemine göre belirlenmiştir (Igdam vd. 2018)

3.6.5 Viskozite

Viskozite analizi için lavanta uçucu yağı örneklerinden 40 ml kadar alınarak kullanılan cihazın numune kabına dökülmüştür. Ardından Vibro (SV-190) viskozimetresiyle 22°C sıcaklıkta ölçümü yapılmıştır (Lazaridio 2004).

3.6.6 Uçucu Bileşenler Analizi

Depolama süresince yağların uçucu yağ bileşenleri analizi GC-MS (Gaz kromatografisi (Agilent 7890A)-kütle detektör (Agilent 5975C)) cihazı ile kapiler kolon (HP Innowax Capillary; 60,0 m x 0,25 mm x 0,25 µm) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler analiz edilme amacıyla 1:100 oranında hekzan ile seyreltilmiştir. Analizde taşıyıcı gaz

olarak 0,8 mL/dk akış hızında helyum kullanılmış, numuneler cihaza 1 µL olarak 40:1 split oranı ile enjekte edilmiştir. Enjektör sıcaklığı 250°C’de tutulmuş, kolon sıcaklık programı 60°C (10 dakika), 60°C’den 220°C’ye 4°C/dakika ve 220°C (10 dakika) olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu sıcaklık programı uygulanarak toplam analiz süresi 60 dakika sürmüştür. Kütle detektörü için tarama aralığı (m/z) 35-450 atomik kütle ünitesi ve elektron bombardımanı iyonizasyonu 70 eV kullanılmıştır, uçucu yağın bileşenlerinin teşhisinde ise WILEY ve OIL ADAMS kütüphanelerinin verileri esas alınmıştır. Sonuçların bileşen yüzdeleri FID dedektör kullanılarak, bileşenlerin teşhisi ise MS dedektör kullanılarak yapılmıştır (Özek vd. 2010).

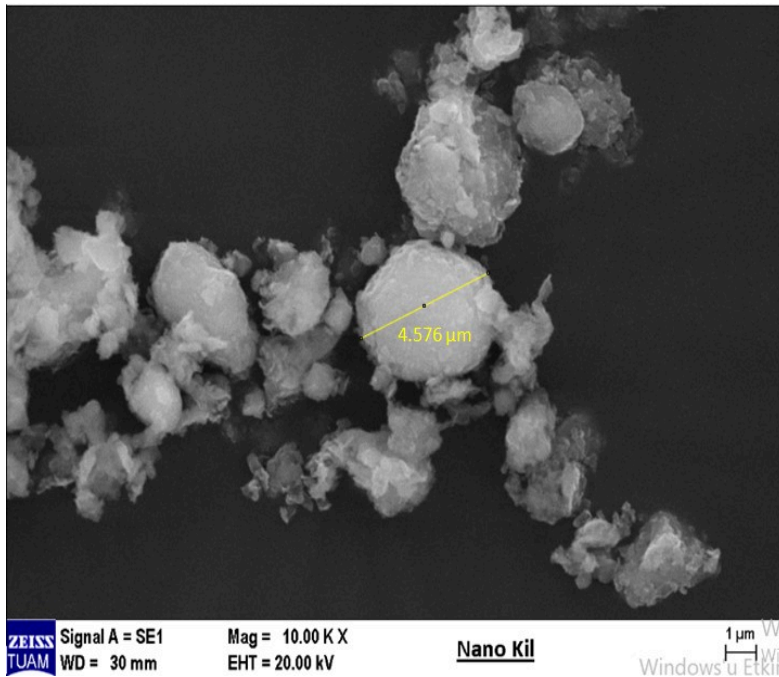
3.6.7 İstatiksel analiz

Yapılan araştırma sonuçlarının istatistiki sonuçları için Minitab programı kullanılmıştır. Tekli verilere standart sapma uygulanmamıştır. En az iki tekerrür ile çoklu elde edilen verilerin değerlendirilmesinde, ikiden çok bağımsız grup arasında sürekli verilerin karşılaştırılması için Tek Yönlü Anova testi kullanılmıştır (Püskülcü ve İkiz 1998).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

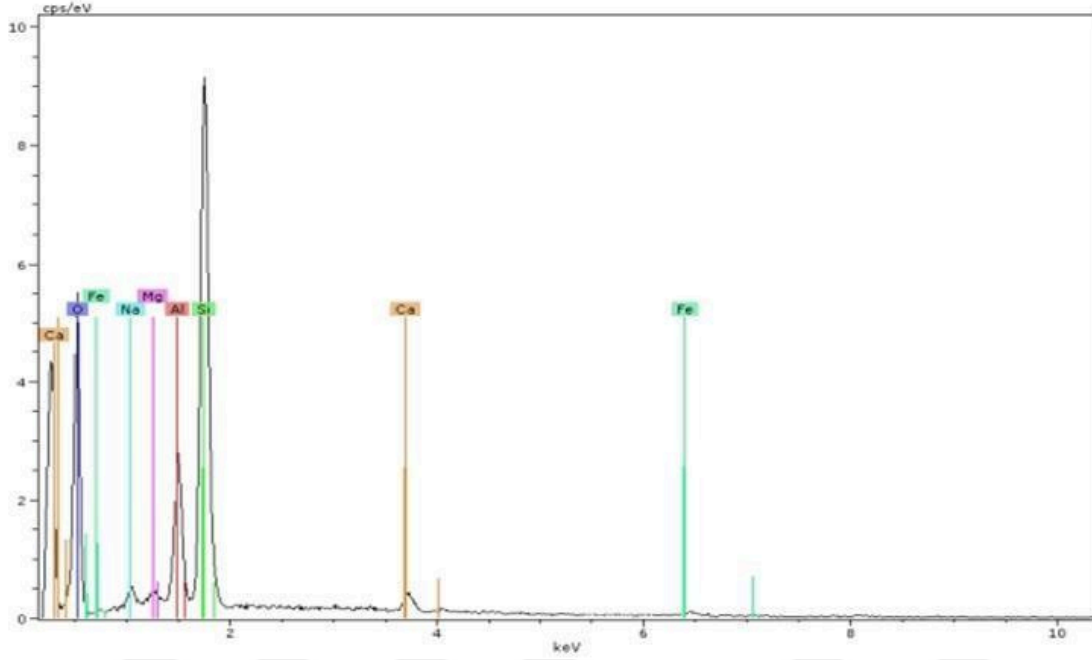
4.1 Nanokilin Taramalı Elektron Mikroskobu Sonucu (SEM)

SEM analizi, maddelerin yüzey karakterizasyonunda kullanılan güçlü ve yaygın yöntemlerden biridir (Yahşi 2021). Taramalı elektron mikroskobu, analiz edilecek numunelerin yüzeyinin elektron ışınları ile taranması sonucu yüzey görüntülerinin yüksek çözünürlüklü bir şekilde elde edilmesine olanak sağlayan bir tür elektron mikroskopudur. İncelenecek numunelerin elektiriği ileten bir yapıda olması, elde edilecek sonuçların yüksek kalitede olmasına olanak sağlayacağı belirtilmiştir. Bu sebepten dolayı iletken olmayan numunelerin yüzeyleri analizden önce iletken malzemeler (altın, karbon, paladyum, vb.) ile kaplanarak analiz gerçekleştirilmektedir (Karslı 2011, Tuna 2013). SEM analizinin, nanoteknolojik olarak kullanım amacı, sentezlenen nanomalzemenin boyutu ve morfolojik özelliklerini belirlemektir. Bu çalışmada, nanokilin yapısı, normal mikroskoplar ile görüntülenemeyecek kadar küçük olduğu için lif çapı ve morfolojilerini belirlemek için SEM analizi uygulanmıştır (Umamaheswari vd. 2018).



Şekil 4.1 Nanokilin 10000X Değerinde SEM Görüntüsü

Şekil 4.1’ de üretilen nanokil numunesinin 10000X oranlarında büyütme değerlerindeki morfolojik görüntüsü yer almaktadır. Şekilde gösterilen nanokil parçacığının çapının 4,576 μm olduğu tespit edilmiştir. Nanokillerin çaplarının genel olarak ortalama 1,835 mikron boyutlarında olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.2 Nanokil Element Kompozisyonu

Ek olarak; Şekil 4.2’ de görüldüğü üzere, nanokilin içerisinde bulunan elementlerin bileşenleri SEM-EDX analizi ile incelenmiş ve sodyum, magnezyum, alüminyum, silisyum ve oksijen elementleri tespit edilmiştir. Buna göre nanokilin kütlece %1,15 Na, %0,73 Mg, %3,33 Al, %10,13 Si, %0,42 Ca, %0,82 Fe, %83,81 O içerdiği belirlenmiştir.

4.2 Nanokil İçeren Polimerik Filmin Biyobozunurluk Sonucu

Biyobozunurluk, bir malzemenin veya maddenin karbondioksit, metana, suya, biyokütle, inorganik bileşiklere veya mikroorganizmaların enzimatik aktivitelerine maruz kalması sonucu parçalanması anlamına gelmektedir. (Bağış 2015).

Çizelge 4.1 NPF'nin Biyobozunurluk Analiz Sonucu

İlk tartım	Standart Sapma ($\pm$)	Son tartım	Standart Sapma ($\pm$)	Biyobozunurluk (%)
0,111	0,002	0,076	0,003	%31,53

Bu doğrultuda Çizelge 4.1'de yer aldığı üzere üretilen NPF'nin toprakta 6 ay sonunda %31,53 oranında bir bozunmaya uğradığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç doğrultusunda NPF'nin toplam bozunma süresinin yapılan hesaplamalara göre takriben 18 ay olacağı öngörülmektedir.

4.3 Nanokil İçeren Polimerik Filmin Haze (Pusluluk) Sonucu

Filmin, yüzeyinden veya içerisinden geçen ışık sebebiyle meydana gelen pusluluk veya bulanıklılık haze (pusluluk) olarak tanımlanmaktadır. Filmin şeffaflığı haze değeri ile ölçülmektedir. Değer ne kadar düşükse filmin o kadar şeffaf olduğu bildirilmiştir. Katkı maddesi fazla olan filmlerde pusluluk değerinin yükseldiği bildirilmiştir (Aydınlı 1997, Yahşi 2021).

Çizelge 4.2 NPF'nin Haze (Pusluluk) Analizi Sonuçları

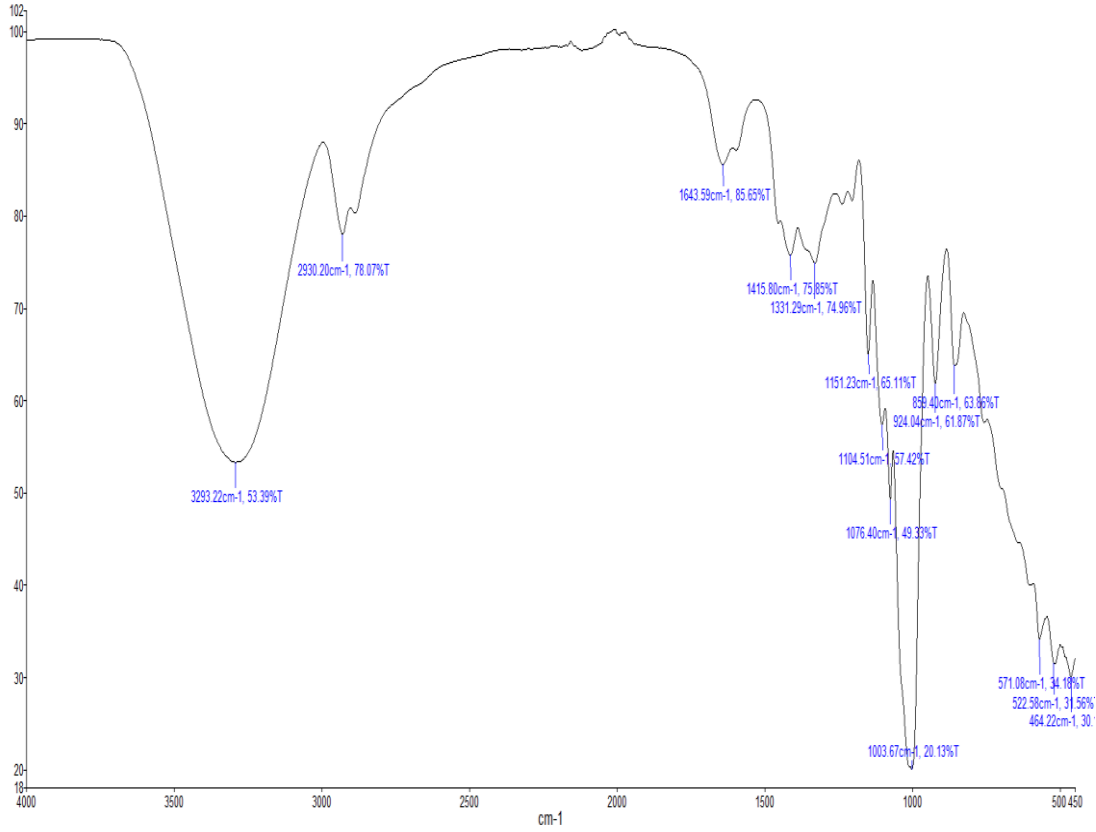
Numune	Haze (Pusluluk) Değeri (%)	Standart Sapma ($\pm$)
Nanokil İçeren Polimerik Film	87,17	0,81

Bu doğrultuda, çizelge 4.2'de yer alan sonuçlara göre NPF'nin haze (pusluluk) değeri sonucu %87,17 olarak tespit edilmiştir.

4.4 Nanokil İçeren Polimerik Filmin FT-IR Analizi Sonucu

FT-IR analizi maddelerde bulunan organik ve inorganik bileşenlerin tespit edilmesinde ve karakterize edilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bir örneğin içerisinde bulunan

atomlar arasındaki bağların frekanslarını ölçerek buna karşılık gelen pikleri tespit etmekte ve bu şekilde maddenin parmak izini oluşturmaktadır (Lin 2011, Ono 2011).



Şekil 4.3 NPF'nin FT-IR Analiz Grafiği

Bu doğrultuda, Şekil 4.3'te görüldüğü üzere NPF'nin FT-IR analizi sonucu, Balau vd. (2004) ve Edebalı (2016)'nın bildirdiklerine göre, piklerin 3293.22 cm^{-1} 'de yer alan hidrojen bağı yapmış olan O-H gruplarına ait gerilmeleri, 2930.26 cm^{-1} kitosanın CH_2 'nin asimetrik eğilmesini, 1543.56 cm^{-1} kitosandaki C=O bağlarındaki gerilmeleri, 1415.80 cm^{-1} kitosanın yapısında yer alan N-H bağlarını, 1331.29 cm^{-1} , 1151.23 cm^{-1} ve 1104.51 cm^{-1} pikleri sırasıyla nişastanın yapısında yer alan N – H gerilmesi ve OH gerilmesi (alkol) piklerine aittir, 1076.40 cm^{-1} nanokilin yapısında yer alan Si-O gerilmesini, 924.04 cm^{-1} Al-OH gerilmesini, 859.40 cm^{-1} Al, Mg-O gerilmesini, 571.08 cm^{-1} ve $522,58\text{ cm}^{-1}$ nanokilinohtahedral tabakasında yer alan alüminyuma ait Si-O-Al bükülmelerini, 464.22 cm^{-1} nanokilde bulunan Si-O-Si tetrahedral eğilmesini temsil eden alanlarda pik verdiği belirlenmiştir.

4.5 Lavanta Uçucu Yağının Serbest Yağ Asitliği

Serbest yağ asitliği, yağlara etki eden ısı, su, enzim aktivitesi gibi etkenler sonucu yağda bulunan yağ asitlerinin ester bağlarının hidrolize olmasıyla serbest hale geçen yağ asitleridir. Serbest yağ asitliği özellikle acılaşıma ve oksidasyon parametrelerindendir (Ganduly 1994, Gökalp vd. 2001).

Çizelge 4.3 NPF ile Depolanan Lavanta Uçucu Yağı Serbest Yağ Asitliği Analiz Sonuçları

Numune	Serbest Yağ Asitliği (%)	Standart Sapma (±)
0. Ay Kontrol Grubu (Plastik Ambalajlı ve NPF Ambalajlı Lavanta Yağı)	0,38 ^c	0,01
2. Ay	0,47 ^b	0,03
4. Ay	0,47 ^b	0,00
6. Ay	0,49 ^b	0,01
6. Ay Kontrol Grubu	0,68 ^a	0,02

^{a-c}Farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak ($p<0,05$) biri birinden farklıdır.

Bu doğrultuda, Çizelge 4.3’de NPF ile kaplanmış lavanta uçucu yağının depolama süresi boyunca farklı periyotlardaki serbest yağ asitliği değişim sonucu verilmiştir. Lavanta uçucu yağının 0-6. ay analiz sonuçlarının ortalamaları sırasıyla % 0,38- 0,47- 0,47- 0,49 ve 6. ay kontrol grubu sonucu ise %0,68 olarak tespit edilmiştir.

NPF kapak ambalaj filmi ile 6 ay boyunca depolanan lavanta uçucu yağı ve 6. ay kontrol grubu lavanta uçucu yağında, depolama süresince, serbest yağ asitliği açısından istatistiki olarak $p<0.05$ düzeyinde farklılıklar tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre NPF kapak ambalajı ile 6 ay boyunca depolanan lavanta uçucu yağının serbest yağ asitliği değerinde kontrol grubundan 2. aya geçişte bir artış görülmüş ardından diğer aylarda büyük bir değişim gözlenmemiştir, plastik ambalaj ile depolanan lavanta uçucu yağının serbest yağ asitliği değerinin, NPF ile depolanan lavanta uçucu yağına göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

4.6 Lavanta Uçucu Yağının Peroksit Sayısı

Peroksit değeri, bir kg yağda bulunan mili ekivalent oksijen miktarı olarak tanımlanmaktadır. Yağların içerisindeki doymamış bağlara oksijen temas etmesi sonucu peroksitler oluşmaktadır ve peroksit değeri, yağlardaki oksidasyon derecesini göstermektedir (Anonymous 1989b).

Çizelge 4.4 NPF ile Depolanan Lavanta Uçucu Yağı Peroksit Analizi Sonuçları

Numune	Peroksit Değeri (MeqO ₂ /Kg)	Standart Sapma (±)
0. Ay Kontrol Grubu (Plastik Ambalajlı ve NPF Ambalajlı Lavanta Yağı)	3,46 ^c	0,22
2. Ay	5,02 ^d	0,24
4. Ay	6,10 ^c	0,09
6. Ay	8,24 ^b	0,12
6. Ay Kontrol Grubu	9,06 ^a	0,17

^{a-c}Farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak ($p<0,05$) biri birinden farklıdır.

Çizelge 4.4’de görüldüğü üzere lavanta uçucu yağının depolanması sırasında farklı periyotlardaki peroksit değerleri ölçülmüştür. Lavanta uçucu yağının 0-6. ay analiz sonuçlarının ortalamaları sırasıyla 3,46-5,02-6,10-8,24 ve 6. ay kontrol grubu sonucu ise 9,06 meqO₂/kg olarak tespit edilmiştir.

NPF kapak ambalaj filmi ile 6 ay boyunca depolanan lavanta uçucu yağı ve 6. ay kontrol grubu lavanta uçucu yağında, depolama süresince, peroksit sayısı açısından istatistiki olarak $p<0.05$ düzeyinde farklılıklar tespit edilmiştir.

Yapılan analiz sonuçlarına göre, nanokil içerikli polimerik film ile depolanan lavanta uçucu yağlarının peroksit değerlerinde 6 aylık süreçte artış olduğu belirlenmiştir. Plastik kapak ile depolanan lavanta uçucu yağında ise NPF ile depolanan lavanta uçucu yağına göre daha fazla artış olduğu tespit edilmiştir.

4.7 Lavanta Uçucu Yağının Renk Analizi

Renk, ürünlerin görünümünü ve tüketiciler tarafından satın alma kararını etkileyen önemli bir kalite parametresidir. Renk analizinde L*, a* ve b* olarak belirtilen renk parametreleri yer almaktadır. Burada L* değeri, yağın parlaklık derecesini tespit eder; a* değeri, kırmızıdan sarıya değişen renk skalasını ve b* değeri ise sarıdan mavi renge değişen renk skalasını tespit etmektedir (Uçar 2020).

Çizelge 4.5 NPF ile Depolanan Lavanta Uçucu Yağının Renk Analizi Sonuçları

Renk	L*	Standart	a*	Standart	b*	Standart
		Sapma (±)		Sapma (±)		Sapma (±)
0. Ay Kontrol Grubu (Plastik Ambalajlı ve NPF Ambalajlı Lavanta Yağı)	45,23 ^{bc}	1,096	-0,89 ^b	0,06	4,18 ^a	1,31
2. ay	40,63 ^c	0,3	-1,56 ^a	0,05	3,92 ^a	0,00
4. ay	56,92 ^{ab}	4,18	-0,90 ^b	0,06	5,14 ^a	0,03
6. ay	67,86 ^a	9,12	-1,27 ^{ab}	0,29	4,97 ^a	0,01
6. ay kontrol grubu	63,51 ^a	3,49	-1,21 ^{ab}	0,20	5,23 ^a	0,42

^{a-c} Farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak ($p < 0,05$) biri birinden farklıdır.

NPF kapak ambalajı ile 6 ay boyunca depolanan lavanta uçucu yağı istatistik $p < 0,05$ olarak incelendiğinde; renk değerleri açısından depolama süresi arttıkça L* (parlaklık) ve a* (kırmızılık) değerlerinde farklılıklar tespit edilirken, b* (sarılık) değerlerinin ise her depolama süresinde benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Bu sonuçlara göre lavanta uçucu yağının parlaklık derecesini belirten L* değerlerinde kontrol grubundan 2. aya geçişte düşüş ardından artış gözlemlenmiştir. Yağın kırmızılık değerini belirten a* değerinde, kontrol grubundan 2. aya geçişte ve 4. aydan 6. aya geçişte artış görülmüştür, sarılığı belirten b* değerinde değişim gözlenmemiştir. Elde edilen sonuçlara göre NPF kapak ambalajı ile 6 ay boyunca depolanan lavanta uçucu

yağının, plastik kapak ile depolanan uçucu yağa göre renk analizinin L*, a* ve b* değerinde büyük bir fark gözlenmemiştir.

4.8 Lavanta Uçucu Yağının Kırılma İndisi

Kırılma indisi, Türk standartları ve Avrupa standartlarına göre yağlarda fiziksel kalite kriteri olarak belirtilmiştir (Çınar vd. 2022).

Çizelge 4.6 NPF ile Depolanan Lavanta Uçucu Yağında Kırılma İndisi Analizi Sonuçları

Numune	Kırılma İndisi (Nd 20)	Standart Sapma (±)
0. Ay Kontrol Grubu (Plastik Ambalajlı ve NPF Ambalajlı Lavanta Yağı)	1,4578 ^d	0,0002
2. Ay	1,4624 ^b	0,0001
4. Ay	1,4632 ^a	0,0001
6. Ay	1,4624 ^b	0,0002
6. Ay Kontrol Grubu	1,4600 ^c	0,0002

^{a-d} Farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak ($p<0,05$) biri birinden farklıdır.

Bu çalışmada lavanta uçucu yağının depolanması sırasında kırılma indisi değerlerinin değişimi Çizelge 4.6'da yer almaktadır. Lavanta uçucu yağının kırılma indisi değerlerinin 0-6 ay sonuçlarının ortalamaları sırasıyla 1,4578; 1,4624; 1,4632; 1,4624 ve 6. ay kontrol grubu ise 1,4600 olarak tespit edilmiştir.

NPF kapak ambalaj filmi ile 6 ay boyunca depolanan lavanta uçucu yağı ve 6. ay kontrol grubu lavanta uçucu yağında, depolama süresince kırılma indisi değerleri açısından istatistiki olarak $p<0.05$ düzeyinde farklılıklar tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre lavanta uçucu yağının kırılma indisi sonuçlarda 6 aylık süre boyunca kontrol grubundan 2. aya geçişte artış görülürken 4. ayda düşüş gözlemlenmiştir. Ayrıca 2. ve 6. aylarda benzer sonuçlar elde edilmiştir. NPF ile saklanan lavanta uçucu yağının 6. ay kırılma indisi sonuçlarının, plastik kapak ile

saklanan lavanta uçucu yağının 6. ay kontrol grubu sonuçlarına göre daha çok artış gösterdiği tespit edilmiştir.

4.9 Lavanta Uçucu Yağının Viskozite Sonucu

Viskozite, akışkanın iç direnci dolayısıyla akışa karşı koyması olarak tanımlanmaktadır. Yağlarda önemli fiziksel kalite standartlarından biri de viskozitedir (Swern 1982, Yılmaz 2008).

Çizelge 4.7 NPF ile Depolanan Lavanta Uçucu Yağının Viskozite Analizi Sonuçları

Numune	Viskozite (Mpa)	Standart Sapma ($\pm$)
0. Ay Kontrol Grubu (Plastik Ambalajlı ve NPF Ambalajlı Lavanta Yağı)	2,78 ^c	0,02
2. Ay	3,38 ^d	0,01
4. Ay	4,16 ^c	0,11
6. Ay	6,87 ^a	0,07
6. Ay Kontrol Grubu	5,67 ^b	0,08

^{a-c}Farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak ($p<0,05$) biri birinden farklıdır.

Çizelge 4.7’de belirtildiği üzere lavanta uçucu yağının depolama sırasında farklı aylardaki viskozite değerlerinde değişimi görülmektedir. Lavanta uçucu yağın 0-6. aylardaki ortalama viskozite değerleri sırasıyla 2,78; 3,38; 4,16; 6,87 Mpa ve 6. ay kontrol grubu 5,67 mPa olarak tespit edilmiştir.

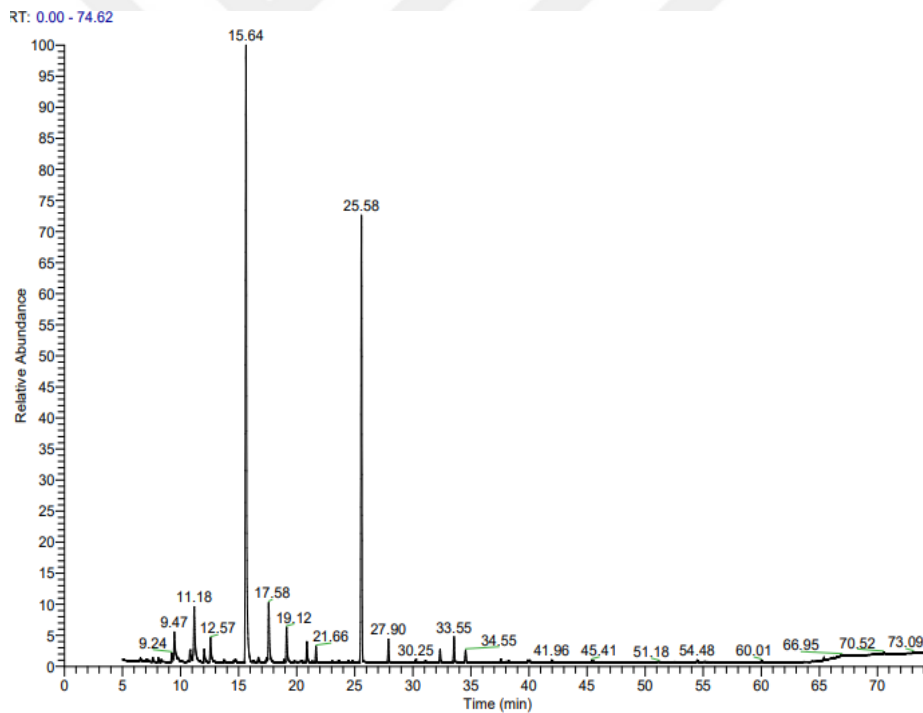
NPF kapak ambalaj filmi ile 6 ay boyunca depolanan lavanta uçucu yağı ve 6. ay kontrol grubu lavanta uçucu yağında, depolama süresince viskozite değerleri açısından istatistiki olarak $p<0.05$ düzeyinde farklılıklar tespit edilmiştir.

Yapılan analiz sonuçlarına göre lavanta uçucu yağının viskozite analizi sonuçlarının 6 aylık süre boyunca artış gösterdiği tespit edilmiştir. NPF ile saklanan lavanta uçucu yağının 6. ay viskozite sonuçlarının, plastik kapak ile saklanan lavanta uçucu yağının 6.

ay kontrol grubu viskozite sonuçlarına göre daha çok artış gösterdiği tespit edilmiştir.

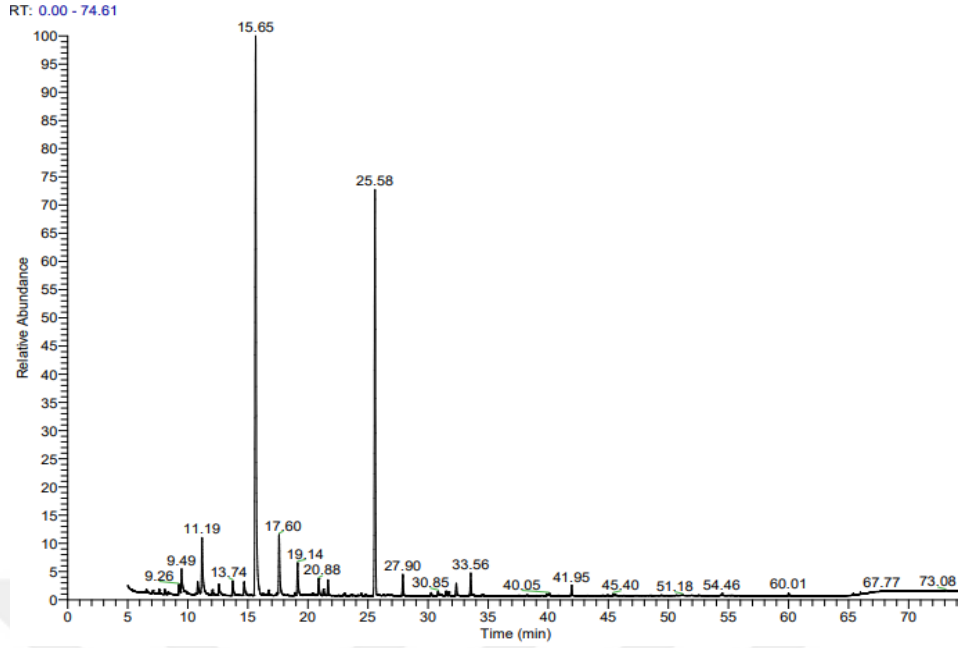
4.10 Lavantanın Uçucu Yağ Kompozisyonu Sonucu

Tıbbi ve aromatik bitkilerde ürünün kalitesini belirleyen en önemli etken, bitkide bulunan uçucu yağ bileşenlerinin oranıdır (Baydar 2013, Dudas vd. 2013). Bitkiden elde edilen uçucu yağın, kullanım amacıyla ve ekonomik olarak değerinin belirlenmesinde içerdiği uçucu yağ bileşenleri önemli bir faktördür (Mammadov 2004, Karık vd. 2017). Bundan dolayı tıbbi ve aromatik bitkilerin içerdiği uçucu yağ oranlarında değişikliğe neden olan faktörlerin çok iyi bir şekilde bilinmesi ve bu faktörlerin pozitif şekilde yönetilmesinin büyük bir öneme sahip olduğu bildirilmiştir (Katar vd. 2018, Tursun ve Telci 2020).



Şekil 4.4 Plastik ambalajda depolanan lavanta uçucu yağının 6.ay kontrol grubu GC-MS kromatogram görünümü

Bu doğrultuda araştırmamız ile ilgili olarak Şekil 4.4 ve 4.5 de sırasıyla örnek olarak, plastik ambalajda depolanan 6. ay kontrol grubu ve NPF kapak ambalaj filmi ile kaplı lavanta uçucu yağının 6.ay GC-MS kromatogram şekilleri verilmiştir.



Şekil 4.5 NPF kapak ambalaj filmi ile kaplı lavanta uçucu yağının 6.ay GC-MS kromatogram görünümü

Çizelge 4.8’de NPF kapak ambalajı ile depolanan lavanta uçucu yağının depolanması sırasında uçucu yağ bileşenlerinin değişimi gösterilmiştir. Buna göre lavanta uçucu yağının kontrol grubunda yer alan majör bileşenleri, linalool (%46,6), linalil asetat (%31,74), lavandulil asetat (%1,27), borneol (%2,89), kafur (%5,26), 1-8 sineol (%4,06), 3-oktanon (%1,11), alfa terpineol (%1,46) olarak belirlenmiştir. Minör bileşenleri ise, geranil asetat (%0,93), limonen (%0,99), cis-linalool oksit (%0,45), heksil butirat (%0,89), heksil asetat (%0,92), neril asetat (%0,37) olarak belirlenmiştir.

2, 4 ve 6. ay analiz sonuçlarında ise majör bileşenler sırasıyla, linalool (%45,78), (%45,12), (%42,80); linalil asetat (%31,18), (%30,39), (%27,13); lavandulil asetat (%1,27), (%1,25), (%1,35); borneol (%2,83), (%2,77), (%2,22); kafur (%5,16), (%4,71), (%4,49); 1-8 sineol (%4,06), (%3,89), (%4,29); 3- oktanon (%1,12), (%0,96), (%0,57); alfa terpineol (%1,41), (%1,49), (%1,18) olarak belirlenmiştir. Minör bileşenleri ise, geranil asetat (%0,92), (%0,94), (%1,43); limonen (%1,01), (%0,89), (%0,28); cis-linalool oksit (%0,47), (%0,25), (%1,11); heksil butirat (%0,88), (%0,90), (%0,17); heksil asetat (%0,92), (%0,80), (%0,87); neril asetat (%0,49), (%0,38), (%0,80) olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.8 NPF ile Depolanan Lavanta Uçucu Yağının Uçucu Yağ Bileşenleri Sonuçları

Bileşen	0. Ay Kontrol Grubu (Plastik Ambalajlı ve NPF Ambalajlı Lavanta Yağı) (%) (±)Standart Sapma	2. Ay (%) (±)Standart Sapma	4. Ay (%) (±) Standart Sapma	6. Ay (%) (±) Standart Sapma	6. Ay Kontrol Grubu (%) ve (±) Standart Sapma
Limonen	0,99 ^a ±0,06	1,01 ^a ±0,04	0,89 ^a ± 0,09	0,28 ^b ± 0,02	0,45 ^b ± 0,07
1,8-Sineol	4,06 ^{ab} ±0,01	4,06 ^{ab} ±0,23	3,89 ^b ± 0,09	4,29 ^a ± 0,18	3,44 ^c ± 0,15
3-Oktanon	1,11 ^a ±0,02	1,12 ^a ±0,02	0,96 ^a ± 0,05	0,57 ^b ± 0,15	0,46 ^b ± 0,20
Cis- Linalool Oksit	0,45 ^b ±0,05	0,47 ^b ±0,06	0,25 ^c ± 0,03	1,11 ^a ± 0,15	0,18 ^c ± 0,01
Heksil Butirat	0,89 ^a ±0,07	0,88 ^a ±0,05	0,90 ^a ± 0,03	0,17 ^b ± 0,03	0,16 ^b ± 0,05
Heksil Asetat	0,92 ^a ±0,11	0,92 ^a ±0,06	0,80 ^a ± 0,05	0,87 ^a ± 0,14	0,94 ^a ± 0,17
Kafur	5,26 ^a ±0,20	5,16 ^a ±0,14	4,71 ^a ± 0,13	4,49 ^a ± 0,36	4,07 ^a ± 0,22
Linalool	46,6 ^a ±0,05	45,78 ^{ab} ±0,58	45,12 ^{bc} ± 0,07	42,80 ^d ± 0,52	43,90 ^{cd} ± 0,23
Linalil Asetat	31,74 ^a ±0,13	31,18 ^a ±0,58	30,39 ^a ± 0,65	27,13 ^b ± 0,29	27,04 ^b ± 0,12
Lavandulil Asetat	1,27 ^a ±0,18	1,27 ^a ±0,01	1,25 ^a ± 0,02	1,35 ^a ± 0,16	1,33 ^a ± 0,12
Alfa- Terpineol	1,46 ^a ±0,09	1,41 ^{ab} ±0,01	1,49 ^a ± 0,04	1,18 ^c ± 0,05	1,32 ^b ± 0,11
Borneol	2,89 ^a ±0,02	2,83 ^a ±0,07	2,77 ^a ± 0,65	2,22 ^b ± 0,08	2,18 ^b ± 0,10
Neril Asetat	0,37 ^b ±0,02	0,40 ^{ab} ±0,07	0,38 ^{ab} ± 0,33	0,80 ^a ± 0,09	0,76 ^{ab} ± 0,06
Geranil Asetat	0,93 ^a ±0,10	0,92 ^a ±0,06	0,94 ^a ± 0,08	1,43 ^a ± 0,10	1,48 ^a ± 0,04

^{a-d}Farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak ($p<0,05$) biri birinden farklıdır. Uçucu yağ bileşenlerinin değerlendirilmesinde %0,2 altındaki düzeyler dikkate alınmamıştır.

Plastik kapak materyali ile depolanan 6.ay kontrol grubu lavanta uçucu yağlarının GC-MS sonucu tespit edilen bileşenler ise, linalool (%43,90), linalil asetat (%27,04),

lavandulil asetat (%1,33), borneol (%2,18), kafur (%4,07), 1-8 sineol (%3,44), 3-oktanon (%0,46), alfa terpineol (%1,32) olarak belirlenmiştir. Minör bileşenleri ise, geranil asetat (%1,48), limonen (%0,45), cis-linalool oksit (%0,18), heksil butirat (%0,16), heksil asetat (%0,94), neril asetat (%0,76) olarak belirlenmiştir.

Ayrıca, NPF kapak ambalajı filmi ile 6 ay boyunca depolanan lavanta uçucu yağı uçucu yağ bileşenleri istatistiksel olarak incelendiğinde ($p<0.05$); depolama süresi boyunca heksil asetat, kafur, lavandulil asetat ve geranil asetat bileşenlerinin düzeylerinde (%) benzerlik tespit edilirken; diğer uçucu yağ bileşenlerinin düzeylerinde (%) istatistiki olarak değişim meydana geldiği tespit edilmiştir. Plastik kapak materyali ile depolanan lavanta uçucu yağının bileşenlerinin düzeylerinde de, kontrol grubuna göre istatistiki olarak ($p<0.05$) düzeyin de yukarıda belirtilen aynı bileşenlerde benzerlik ve farklılıklar belirlenmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, nanokil üretilmiş ve üretilen nanokil ile polimerik film kapak ambalaj filmi üretilmiştir. Ardından nanokilin yapısının tespiti için SEM analizi, nanokil içerikli polimerik filmin özelliklerinin tespiti için ise biyobozunurluk, haze (pusluluk) ve FT-IR analizleri uygulanmıştır. Ardından ticari olarak temin edilen lavanta uçucu yağı, üretilen nanokil içerikli polimerik filmler ile kapatılarak depolanmış ve lavanta uçucu yağının fizikokimyasal değişimlerinin tespiti için belirlenen aralıklarla, asitlik, peroksit, renk, kırılma indisi, viskozite ve uçucu yağ bileşenleri analizleri uygulanmış ve bulgular kısmında belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

Bu doğrultuda, Echegoyen vd. (2016), yapmış oldukları çalışmada, SEM analizi ile nanokil numunelerinin morfolojik görüntüsünü incelemişlerdir. Bunun sonucunda, nanokil numunelerinin boyutlarını, 1 mikronun altında, 1-10 mikron aralarında ve 1 mikronun üzerinde olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Mahvi ve Dalvand (2019)'ın, yaptıkları bir çalışmada, nanokile SEM analizi uygulamışlardır ve sonuç olarak nanokilin katmanlı ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Karadilek vd. (2022), düşük yoğunluklu polietilen içerisine, polistiren/stirenbütadienstiren ve nanokil içerikli montmorillonit ilave ettikleri nanokompozitler üretmişlerdir. Elde edilen nanokompozitlerin yapısını incelemek amacıyla SEM analizi yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda, nanokilin matris içerisinde homojen olarak dağıldığını ve kilin dolgu maddesi olarak kullanılmasının sonucunda daha az polimer madde tüketimi gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Çiftçi vd. (2015), nanokil katkılı PVA/Kitosan nanolif yüzeyler elde etmişlerdir. Bu nanoliflerin lif morfolojisini incelemek amacıyla SEM analizi gerçekleştirmişlerdir. Nanokilin lifin yüzeyinde homojen bir dağılım gösterdiğini ve çözeltiye bağlayıcı olarak gluteraldehit (GA) eklenmesi sonucunda 130 nm çapında nanolif elde edildiği bildirilmiştir. Bu sonuçlara göre yaptığımız çalışmada üretilen nanokil numunesinin SEM analizinde tespit edilen yapısı ve morfolojik görüntüsünün yapılan çalışmalarla paralel sonuç gösterdiği belirlenmiştir.

Echegoyen vd. (2016), yaptıkları çalışmada, nanokil numunesinin element kompozisyonunu araştırmışlardır. Bunun sonucunda, nanokilin yapısında belirgin olarak

silikon, magnezyum ve alüminyum yer aldığını, ayrıca oksijen ve karbon elementinin de bulunduğunu bildirmişlerdir. Mahvi ve Dalvand (2019)'ın, yaptıkları bir çalışmada nanokile uyguladıkları EDX analizi sonucu, %47,08 O, %32,78 Si, %10,44 Al, %5,53 Fe, %1,56 Ca, %1,32 Mg, %0,79 Na ve %0,5 K oranlarında elementler bulunduğunu tespit etmişlerdir. Koç (2019), gerçekleştirdiği çalışmada nanokil katkılı PVA nanolifler üretmiştir. Üretilen liflere EDX analizi uygulamıştır. Sonuç olarak yapıda C ve O atomları ile birlikte Ag, Fe ve Mn atomlarının da yer aldığını tespit etmiştir. Çalışmamızda üretilen nanokil numunesinde ise kütlece %1.15 Na, %0.73 Mg, %3.33 Al, %10.13 Si, %0.42 Ca, %0.82 Fe, %83.81 O içerdiği belirlenmiştir. Literatür bilgilerinde yer alan nanokilin içerdiği elementler ve oranları yaptığımız çalışmada üretilen nanokil numunesi ile karşılaştırma yapıldığında, oksijen ve sodyum miktarının literatüre göre daha fazla olduğu, yer alan diğer elementlerin ise literatüre göre daha az olduğu tespit edilmiştir.

Ray vd. (2003), yaptıkları bir çalışmada saf PLA'nın ve PLA/nanokil içeren nanokompozitlerin 2 ay boyunca biyobozunmasını incelemişlerdir. PLA'nın ağırlığının 2 ayda %40 oranında azaldığını, PLA/nanokil nanokompozitinin ise 2 ayda tamamen yok olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca PLA'nın biyobozunurluk oranının, nanokil eklenmesiyle artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Akbana (2021), yapmış olduğu bir çalışmada plastik ambalajların 1000 yılda yok olduğunu belirtmiştir. Bir başka çalışmada, Dean vd. (2013) tarafından farklı oranlarda gliserol ve Na⁺MMT içeren kitosan bazlı filmler üretilmiştir. Bunun sonucunda, kitosan içeren filmler hariç diğerler filmlerin kompost ortamında ikinci haftayı takiben küçük parçalara ayrıldığı bildirilmiştir. Kitosan içermeyen filmler için iki hafta içerisinde %50 oranında bozulma görülürken, kitosanlı filmler için bu değerin %18 olduğu belirtilmiştir. 180 gün sonunda ise kitosan içermeyen filmlerin bozulma oranı %85 olarak tespit edilirken sadece kitosan içeren filmler için ancak %65'e ulaştığı bildirilmiştir. Bunun sonucunda, kitosan ve gliserol miktarının filmlerin bozunma oranında etkili olduğunu bildirmişlerdir. İskender ve Altınten (2023)'in yaptıkları çalışmada (P(St-ko-MMA)) sentezlemişlerdir. İçerisinde farklı oranlarda, termal özelliklerin gelişmesi için DMSO, nano takviye malzemesi amacıyla m-HNT ve biyobozunur özellik için PLA eklemişlerdir. Elde edilen nanokompozitin toprak içerisindeki bozunma oranlarını incelemişlerdir. Sonuç

olarak 6 ayın sonunda en yüksek %24,81 oranında bozunma olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca bozunma oranının PLA'nın artışıyla doğru orantılı olduğunu belirtmişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışmada, üretilen NPF'nin biyobozunma oranı %31,74 olarak tespit edilmiştir. Literatür ile karşılaştırıldığında NPF'nin bozunma süresinin plastik ambalaja göre çok daha kısa sürdüğü belirlenmiştir.

Aydınlı (1997), yaptığı bir çalışmada keçiyoynuzu çekirdeği polimeri ile yapılan ve PEG içeren yenilenilir filmlere uyguladığı pusluluk analizi sonucunu %41,5 olarak bildirmiştir. Jiménez vd. (2012)'nin yaptıkları bir çalışmada mısır nişastası içeren biyopolimer filmlerin pusluluk oranını %71,1 olarak tespit etmişlerdir. Arıcan (2019) yaptığı bir tez çalışmasında, nişasta çeşitleri, PLA, PCL, metal organik kafes (MOF) yapıları nanokristallerden Cu-MOF içeren nanokompozitler hazırlamışlar ve pusluluk analizi uygulamışlardır. Bunun sonucunda nanokompozit filmlerin pusluluk değerinin ortalama olarak %80'in üzerinde olduğunu bildirmişlerdir. Buna ek olarak kompozit filmde yer alan PLA'nın filmin pusluluk değerini düşürürken, nişastanın arttırdığını bildirmişlerdir. Tarafımızdan yapılan çalışmada üretilen NPF'nin pusluluk oranı %87,7 olarak tespit edilmiştir. Literatür ile karşılaştırma yapıldığında ürettiğimiz NPF'nin pusluluk değerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

FT-IR grafiğinde nanokilin parmak izi değerinde görülen absorpsiyon değerlerinin 1638 cm^{-1} , 1463 cm^{-1} , 1048 cm^{-1} , 1010 cm^{-1} ve 525 cm^{-1} , 450 cm^{-1} olduğu bildirilmiştir (Chieng 2014). Kitosan için karakteristik pik değerleri ise 3450-3448 cm^{-1} , 3295-3295 cm^{-1} , 2926-2626 cm^{-1} , 2870-2874 cm^{-1} , 1660-1661 cm^{-1} olduğu bildirilmiştir (Çiftçi vd. 2015). Bu doğrultuda, yaptığımız çalışmada NPF'nin FT-IR analizi grafiği incelenmiştir. Bunun sonucunda yapıda nanokile ait FT-IR spektrumuna bakıldığında 1638 cm^{-1} , 1415 cm^{-1} , 1003 cm^{-1} , 571 cm^{-1} , 522 cm^{-1} ve 464 cm^{-1} pikler tespit edilmiştir. Görülen pikler sırasıyla Si-O gerilmesi, Si-O-Al bağının tetrahedral eğilme ve Si-O-Si tetrahedral eğilme piklerine aittir. PLA için karakteristik FTIR spektrumları incelendiğinde 1151 cm^{-1} , 1104 cm^{-1} ve 1076 cm^{-1} alanlarında, ester CO gerilme titreşimini temsil eden pikler tespit edilmiştir. Son olarak kitosanın parmak izi olarak görülen 3293 cm^{-1} ve 2930 cm^{-1} değerinde iki pik tespit edilmiştir. Tutarve Edebali (2016), yaptıkları bir çalışmada, nanokil numunelerinin mikro-yapısal karakterizasyonu

için FT-IR spektrumunu incelemişlerdir. Bunun sonucunda, yapıda nanokile ait karakteristik titreşim bantlarını (3635 cm^{-1}), hidrojen bağı yapmış olan O-H gruplarına ait gerilmeleri (3394 cm^{-1}), yüzeyde yer alan suya ait H-O-H yapılarının 1635 cm^{-1} 'deki piklerini, 1047 cm^{-1} 'de Si-O gerilmesini, 914 cm^{-1} Al-OH gerilmesini, 843 cm^{-1} ve 798 cm^{-1} de Al, Mg-O gerilmesini, 624 cm^{-1} Al-OH eğilmesini ve oktahedral tabakada yer alan alüminyuma ait Si-O-Al bükülmesine ait 524 cm^{-1} dalga boyundaki abrobsiyon pikini tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Kitosanın FT-IR analizi sonucu yapısında yer alan N-H bağlarının 1474 cm^{-1} yakınlarında pik verirken, 1520 cm^{-1} yakınlarındaki pikin ise kitosandaki C=O bağlarındaki gerilme sonucu olduğu bildirilmiştir (Balau vd. 2004). PLA'nın FT-IR spektumu incelendiğinde, yapıdaki doymuş C-H gruplarına (CH₃, CH₂, CH) ait 1452 cm^{-1} pik, karboksil grubuna (C=O) ait 1751 cm^{-1} 'de pik, ester gruplarına (C-O-C) ait $1065\text{-}1182\text{ cm}^{-1}$ 'de ve C-H gruplarına ait $2946\text{-}2994\text{ cm}^{-1}$ dalga boyunda pikler tespit edildiği bildirilmiştir (Zhao ve ark. 2007). FT-IR analizi sonucu nişasta için karakteristik piklerin 1152 , 1079 ve 998 cm^{-1} dalga boylarında yer alan pikler olduğu bildirilmiştir. Nişasta molekülünde yer alan -C-O-H yapısındaki -C-O- bağının karakteristik pikinin 1152 , 1079 cm^{-1} dalga boylarındaki pikler olduğu bildirilmiştir. Bunlar sırasıyla N - H gerilmesi ve OH gerilmesi (Alkol) piklerine aittir. Bu sonuçlar doğrultusunda, çalışmadan üretilen NPF'nin içerisinde, nişasta, nanokil ve kitosanın yer aldığı kanıtlanmıştır.

Yapmış olduğumuz çalışmada lavanta yağının 0-6. ay ortalama analiz sonuçları sırasıyla %0,38- 0,47- 0,47- 0,49 olarak tespit edilmiştir. Ergene vd. (2023)'nin yaptıkları bir çalışmada farmakopede lavanta uçucu yağ numunesinin asitlik değerinin en fazla %1,0 olması gerektiği bildirilmişlerdir. Yaptıkları çalışmada lavanta yağlarının 2 tanesinin asitlik değerlerini %2,12 ve %1.60 olarak tespit ettiklerini ve diğer numunelerin %1 değerinin altında olduğunu tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Pop vd. (2016)'nin yaptıkları bir çalışmada adaçayı uçucu yağının serbest yağ asitliği sonucunu %1.11 olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Literatürde lavanta uçucu yağının serbest yağ asitliği değerleriyle ilgili yeterli çalışma yer almadığı için adaçayı uçucu yağında serbest yağ asitliği değerlerine yer verilmiştir. Songkro vd. (2010)'nin yaptıkları bir çalışmada işlenmemiş hindistan cevizi yağının içerisinde farklı oranında lavanta uçucu yağı eklemişlerdir. Ardından yağlara serbest yağ asitliği analizi uygulamışlardır.

İşlenmemiş hindistan cevizi yağının asitlik değeri 0.118 iken %3 oranında lavanta yağı eklenmesiyle bu değerin 0,095 oranına düştüğünü tespit etmişlerdir. Bunun sonucunda belli orandaki lavanta uçucu yağının serbest yağ asitliğini azaltıcı etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak lavanta uçucu yağının hindistan cevizi yağındaki serbest yağ asitliği değerlerindeki artış oranını düşürdüğünü bildirmişlerdir. Adaçayı uçucu yağı ile karşılaştırma yapıldığında lavanta uçucu yağının adaçayı uçucu yağına göre daha az serbest yağ asidi içerdiği tespit edilmiştir. Literatür ile kıyaslama yapıldığında sonuçların uygun olduğu tespit edilmiştir.

Turek ve Stintzing (2011)'in yaptıkları bir çalışmada lavanta uçucu yağının 12 aylık cam ambalajda depolanması sonucunda peroksit değerinin 1-3,5 meqO₂/kg aralığında değiştiğini bildirmişlerdir. Sonuç olarak depolamanın ilk aylarında peroksit değerlerinde büyük artışlar görüldüğünü bildirmişlerdir. Depolamanın ileriki zamanlarında değerlerde çok fazla değişiklik görülmediğini tespit etmişlerdir. Pop vd. (2016), adaçayı uçucu yağında yaptıkları peroksit analizi sonucunu 0,15 MeqO₂/Kg olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Songkro vd. (2010)'nin yaptıkları bir çalışmada işlenmemiş hindistan cevizi yağının içerisinde farklı oranlarda lavanta uçucu yağı eklemişlerdir. Ardından yağlara peroksit analizi uygulamışlardır. İşlenmemiş hindistan cevizi yağının peroksit değeri 0,160 iken %5 oranında lavanta yağı eklenmesiyle bu değerin 0,698'e yükseldiğini tespit etmişlerdir. Bunun sonucunda lavanta uçucu yağının peroksit değeri üzerine azaltıcı etkisi olmadığını tespit etmişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışmada Lavanta uçucu yağının 0-6. ay analiz sonuçları sırasıyla 3,46-5,02-6,10-8,24 olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerin Turek ve Stintzing (2011)'in yaptıkları çalışmada göre daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Adaçayı uçucu yağının değerine göre ise daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde depolama süresinin uzaması sonucu peroksit değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

Šoji' vd. (2021), adaçayı uçucu yağında renk analizi gerçekleştirmişlerdir. Bunun sonucunda L* değerini 51,2, a* değerini 13,3 ve b* değerini 7,80 olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Dedebaş (2018), portakal, limon ve defne uçucu yağlarının renk değerlerini ölçmüştür. Bunun sonucunda portakalın L*, a* ve b* değerlerini sırasıyla 55,97±0,01, 55,73±0,00, 96,50±0,01 şeklinde tespit ettiğini belirtmiştir. Limon kabuğu

uçucu yağının L*, a* ve b* değerlerini sırasıyla 95,24±0,01, -4,38±0,01, 23,69±0,01 olarak; defne yaprağı uçucu yağının ise sırasıyla 94,35±0,00, -4,76±0,00, 19,85±0,00 olarak tespit ettiğini bildirmiştir. Turek ve Stintzing (2011) yaptıkları bir çalışmada lavanta uçucu yağının depolanması sırasındaki toplam renk farklılıklarını incelemişlerdir. Lavantanın soluk sarı bir renkte olduğunu ve depolama süresi ile toplam renk farklılıkları değerinin doğru orantılı bir şekilde arttığını bildirmişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışmada lavanta uçucu yağının 0-6 aylık renk analizi sonucu sırasıyla L* değerlerinde 45,23; 40,63; 56,92; 67,86, a* değerlerinde -0,89; -1,56; -0,90; -1,27, b* değerleri ise 4,18; 3,92; 5,14; 4,97 olarak tespit edilmiştir. Literatür bilgileri ile karşılaştırıldığında lavanta uçucu yağının sarılığı ifade eden b* değerinin adaçayı, portakal, limon ve defne yaprağı uçucu yağına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Lavanta uçucu yağlarının ortalama kırılma indisi değerleri 0-6 ayda sırasıyla 1,4578; 1,4624; 1,4632; 1,4624 olarak bulunmuştur. Daha önce yapılan çalışmada, Alatrache vd. (2007) lavanta uçucu yağının kırılma indisi değerini 1,4600 olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Turek ve Stintzing (2011)'ın yaptıkları çalışma sonucunda lavanta uçucu yağının depolama sırasındaki kırılma indisi değerini 1,4985 olarak tespit ettiklerini ve depolama sırasında kırılma indisinde kayda değer bir değişim gözlemlenmediği bildirilmişlerdir. Mamuk (2022) yaptığı bir tez çalışmasında nötr ortamda elde ettiği lavanta uçucu yağına kırılma indisi analizi uygulamıştır. Bunun sonucunda lavanta uçucu yağının kırılma indisi değerini 1,4580 olarak tespit ettiğini bildirmiştir. Tanker ve Şarer (1975), yaptıkları çalışmada *Lavandula cariensis* türünün kırılma indisi değerini 1,4725 olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Bunlara ek olarak, Memikoğlu (2009) yaptığı çalışmada, adaçayı uçucu yağının kırılma indisi değerini 1,4741 olarak tespit ettiğini bildirmiştir. Dedebaş (2018), portakal, limon ve defne uçucu yağlarına kırılma indisi analizi yapmıştır. Sonuçları sırasıyla 1,4745, 1,4732 ve 1,4669 şeklinde tespit ettiğini bildirmiştir. Songkro vd. (2009)'nin yaptıkları bir çalışmada işlenmemiş hindistan cevizi yağının içerisinde %5 oranında lavanta uçucu yağı eklemişlerdir. Daha sonra bu yağa 0 ve 6. aylarında kırılma indisi analizi uygulamışlardır. Sonuç olarak lavanta uçucu yağının hindistan cevizi yağındaki kırılma indisi değerlerindeki artış oranını düşürdüğünü bildirmişlerdir. Tarafımızdan yapılan çalışmadaki kırılma indisi değerleri, Alatrache vd. (2007) ve Mamuk (2022)'un

sonuçlarına paralel sonuçlar elde edilirken, Turek ve Stintzing (2011) ve Tanker ve Şarer (1975)'in sonuçlarından daha düşük kırılma indisi değeri tespit edilmiştir. Depolama süresince nanokil içerikli polimerik film kapak ambalajı ile depolanan lavanta uçucu yağının kırılma indisinde dikkate değer bir değişim olmamıştır.

Badr vd. (2021)'nin yaptıkları bir çalışmada lavanta uçucu yağının viskozite analiz sonucu değerini 5,67 mPa olarak tespit ettiği bildirilmiştir. Duman vd. (2017)'nin yaptığı bir çalışmada adaçayı uçucu yağının viskozite değerini 4,73; biberiye uçucu yağının viskozite değerini ise 6,87 olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Songkro vd. (2010)'nin yaptıkları bir çalışmada işlenmemiş hindistan cevizi yağının içerisinde %5 oranında lavanta uçucu yağı eklemişlerdir. Daha sonra bu yağa 0 ve 6. aylarında viskozite analizi uygulamışlardır. Sonuç olarak lavanta uçucu yağının hindistan cevizi yağındaki viskozite artış oranını düşürdüğünü bildirmişlerdir. Tarafımızda yapılan çalışmada, Lavanta uçucu yağın 0-6. aylardaki viskozite değerleri sırasıyla 2,78; 3,38; 4,16; 6,87 Mpa olarak bulunmuştur. 6 aylık süre sonunda nanokil içerikli polimerik film ile depolanan lavanta uçucu yağının viskozite analiz sonucu literatürdeki çalışmalarla karşılaştırıldığında sonucun Badr vd. (2021)'nin yaptıkları bir çalışmaya göre 0, 2 ve 4. aylarda düşük 6. ayda daha yüksek sonuç elde edilmiştir. Lavanta uçucu yağının viskozitesinin, adaçayı uçucu yağına göre yüksek ve biberiye uçucu yağı ile aynı sonuç elde edildiği ve depolama süresince viskozitenin değiştiği belirlenmiştir.

Lavanta uçucu yağının bileşenleri hakkında Smigielski vd. (2009) tarafından yapılan bir çalışmaya göre lavanta uçucu yağının ana bileşen değerlerini linalol (%30,6), linalil asetat (%14,2), geraniol (%5,3), β -karyofilen (%4,7) ve lavandulil asetat (%4,4) olarak bildirmişlerdir. Minör bileşenlerini ise, limonen (%0,5), kafur (%0,5), 1,8-sineol (%2), lavandulol (%1,6) ve α -terpineol (%2,7) olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Verma vd. (2010)'nin yaptıkları bir çalışmada lavanta (*Lavandula angustifolia* Mill.) uçucu yağının bileşenlerini tespit etmek için GC-MS analizi yapmışlardır. Bunun sonucunda lavanta uçucu yağının major bileşenlerini, linalil asetat (%47,56), linalol (%28,06), lavandulil asetat (%4,34), α -terpineol (%3,75) geraniol asetat (%1,94), karyofililen oksit (%1,38) ve 1,8-sineol (%1,14) olarak bildirmişlerdir. Yağda yer alan diğer minör bileşenler ise β -karyofilen (%0,93), borneol (%0,85), epi- α -kadinol (%0,70), nerol

(%0,59), terpinen-4-ol (%0,56), β -mirsen (%0,55), limonen (%0,55) and 1-okten-3-ol (%0,53) şeklinde tespit ettiğini bildirmişlerdir. Najibullah vd. (2021)'e göre Lavanta uçucu yağının içerisinde 41 adet kimyasal bileşen tespit etmiş ve ana kimyasal bileşenleri ise linalil asetat (%39,28), linalool (%26,76), trans- β -karyofilen (%4,77), lavandulil asetat (%3,04) ve 1,8-sineol (%2,15) şeklinde bulmuştur.

ISO Standardı 3515:2002' e göre *L. angustifolia* uçucu yağının ana bileşenleri için kabul edilebilir aralıklar linalil asetat (%25,0 -%47,0), linalool (%20,0- %40,0), trans- β -simen (%1,0 - %6,0), cis- β -simen (% 1,0- %10,0), Oktanon-3 (0- %2), 1,8 sineol (%0,5 - %3,0), Limonen (%0.3-%1.0), Kafur (0- %1.2), Terpinen-4-ol(0- %8.0), Lavandulol (0-%3.0), Lavandulil asetat (0-% 8.0) ve α -terpinol (0-%2,0)'dir (ISO 2002).

Lavanta uçucu yağının NPF ambalaj kapağı ile 6 ay depolanması sonucu içerisinde yer alan uçucu bileşen oranları literatürde yer alan çalışmalarla karşılaştırıldığında, bizim çalışmamızda yer alan lavanta uçucu yağının Smigielski vd. (2009) tarafından yapılan çalışmaya göre linalol, linalil asetat ve 1-8 sineol, değerlerinin yüksek, lavandulil asetat ve α -terpineol değerlerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Verma vd. (2010)'nin yaptıkları çalışmaya göre linalol ve 1,8-sineol değerinin yüksek, linalil asetat, α -terpineol, geranil asetat, limonen değerlerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Najibullah vd. (2021)'e göre ise linalool, 1,8-sineol değerlerini yüksek, linalil asetat ve lavandulil asetat değerlerinin düşük olduğu tespit edilmiştir.

Buna göre, NPF ambalaj kapağı ile 6 ay bekletilmesi sonunda lavanta uçucu yağında yer alan uçucu bileşenlerin oranlarının ISO Standardı 3515:2002 ile kıyaslanması sonucu, limonen değerinin az olduğu ve linalool ile 1-8 sineol değerinin fazla olduğu diğer uçucu bileşenlerin ise uygun aralıklarda olduğu tespit edilmiştir. NPF ile kaplanmış numunelerin 6 ay sonunda uçucu yağ analizi sonuçları, plastik kapaklı ambalajda depolanmış 6. ay kontrol grubu lavanta uçucu yağının sonuçları ile kıyaslandığında sonuçların yakın olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; çalışmada yapmış olduğumuz NPF kapak ambalajı ile kapatılmış lavanta uçucu yağının depolanması süreci boyunca yapılan fizikokimyasal analiz sonuçları

incelendiğinde elde edilen sonuçlara göre; üretilen biyobozunur filmin toprak ortamında 18 aylık bir sürede tamamen çözünebilir olduğu öngörülmektedir. NPF'nin, lavanta uçucu yağını, kontrol grubuna göre (plastik kapak ambalajlı), serbest yağ asitliği, peroksit sayısı, uçucu yağ bileşenleri ve renk yönünden yeterli düzeyde bir koruduğu belirlenmiştir. Kırılma indisi ve viskozite analiz sonuçları açısından değişkenlik olduğu tespit edilmiştir. NPF kapak ambalajının, lavanta uçucu yağı ambalajlanmasında, plastik kapak ambalajı yerine kullanılabileceği öngörülmüştür. Gelecek çalışmalarda, nanokil içerikli polimerik film malzemesinin (NPF), kapak ambalajı yerine tek parça ambalaj malzemesi şeklinde yapılarak, lavanta uçucu yağının ambalajlanması yönünden de ileri analizler ile araştırılması önerilmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Akbana, A, Yurtcan, M, 2021, Bingöl Üniversitesi Öğrencilerinin Atık Yönetimi – Geri Dönüşüm Ve Çevre Konusundaki Bilinç Ve Uygulama Düzeyleri Üzerine Bir Araştırma, Türk Doğa Ve Fen Dergisi, Cilt 10, Sayı 2, Sayfa 132-140.
- Akter N, Ruhul A, Khan R A, Tuhin M O, Haque M E, Nurnabi M, Parvin F, ve Islam R, 2014, Thermomechanical, Barrier, and Morphological Properties of Chitosan-Reinforced Starch-Based Biodegradable Composite Films, Journal of Thermoplastic Composite Materials 2014, Vol. 27(7) 933–948.
- Alatrache B, Jamoussi R, Tarhouni & M. Abdrabba, 2007, Analysis of the Essential Oil of *Lavandula latifolia* from Tunisia, Journal of Essential Oil Bearing Plants, 10:6, 446-452.
- Anan N A, Hassan S M, Saad E M, Butler I S, Mostafa S I, 2011, Preparation, Characterization and Ph- Metric Measurements Of 4-Hydroxy Salicylidene Chitosan Schiff Base Complexes of Fe(III), Co(II), Ni(II), Cu(II), Zn(II), Ru(III), Rh(III), Pd(II) And Au(III) *Carbohydrate Research*, 346:775-793.
- Anonim, 1970, Türk Standartları Enstitüsü, Refraktif İndeks Analizi Standardı-894.
- Anonymous, 1989a, American Oil Chemists' Society Free Fatty Acids, Official Method
- Anonymous, 1989b, American Oil Chemists' Society Peroxide Value, Official Method
- Arıcan S, 2019, Biyouyumlu Polimer Filmlerin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Kimya Mühendisliği Programı Danışman Dr. Öğr. Üyesi Sennur Deniz Mayıs, İstanbul.
- Arora A, Padua G W, 2010, Review: Nanocomposites In Food Packaging. J FoodSci. 75(1), 43-49.
- Ateş İ, 2015, Ortaöğretim Kimya Eğitiminde Nanobilim Ve Nanoteknolojinin Yeri Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Aydınlı M, 1997, Keçiboynuzu Çekirdeği Polimerinin Karakterizasyonu Ve Yenilebilir Film Özelliklerinin İncelenmesi, Akdeniz Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı.
- Ayhan Z, 2012, Gıda Mühendisliğinde Isıl Olmayan Teknolojiler. Ed. Baysal T, İçier F, Nobel Yayınları, 43-77.

- Badr M M, Badawy M E I, Taktak N E M, 2021, Characterization, Antimicrobialactivity, Andantioxidant Activity of The Nanoemulsions of Lavandula Spica Essential Oil and İts Main Monoterpenes, Journal of Drug Delivery Scienceand Technology 65, 102732.
- Bağış C, 2015, Tio2 Kullanımının Pva Esaslı Biyobozunur Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi. Selçuk-Tek Derg, 14(2), 997-1004.
- Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, & Idaomar M, 2008, Biological Effects Of Essential Oils–A Review. Food and Chemical Toxicology, 46(2), 446-475.
- Balau L, Lisa G, Popa M I, Tura V ve Melnig V, 2004, “Physico-Chemica Properties of Chitosa Films”, Central European Journal of Chemistry, (4): 638.
- Baydar H, 2013, Tıbbi, Aromatik ve Keyf Bitkileri Bilimi Ve Teknolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, Yayın No:51, Isparta.
- Bente F, Hellstorm T, Henrysdotter G, Hjulmand-Lassen M, Rüdinger J, SipilainenMalm T, Solli E, Svensson K, TharkelssonEa, Tuomaala V, 2000, Active and İntelli Gent Food Packaging, A Nordic Report On Legislative Aspects. NordicConcil Of Ministers, Copenhagen. 13-21.
- Bera M B, Shrivastava D C, Singh C J, Kumar K S, Sharma Y K, 2001, Development of Cold Grinding Process, Packaging and Storage of Cumin Powder, J. Food Sci Technology 38 (3): 257–259.
- Bostan K, Aldemir T And Aydın A, 2007, KitosanVeAntimikrobiyal Aktivitesi, Türk Mikrobiyal Cem Dergisi, 37(2): 118-127.
- Britannica, 1994, Encyclopaedia Britannica, Inc. (Uk) Ltd 2nd Flor, UnityWharf, Mill Street, London Se1 2bh, United Kingdom.
- Büyüksakallı B, 2011, Comparison Of Shelf Life Of Packed Foodstuffs In Use Of Polyethylene and Polyethylene Nanocomposites, 2011, Yüksek Lisans Tezi, Polymer Science And Technology, Institute Of Science And Technology, Istanbul Technical University.
- Ceylan A, 1996, Tıbbi Bitkiler-II (Uçucu Yağ Bitkileri). Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 481, İzmir.

- Cha D S and Chinnan M S, 2004, Biopolymer-Based Antimicrobial Packaging: A Review. *Critical Reviews In Food Science and Nutrition*, 44(4): 223-237.
- Chen H, Weissand J, Shahidi F, 2006, Nanotechnology In Nutraceuticals and functional foods. *Food technol.* 03:30-36.
- Chieng B W, Azowa I N, Yunus W, vd., 2014, Effects of graphenenanoplatelets on poly (lactic acid)/ poly (ethyleneglycol) polymer nanocomposites, In: *Advanced Materials Research. Trans Tech Publ*, 136-139.
- Cyras V P, Tolosa Zenklusen M C, Vazquez A, 2005, Relationship Between Structure And Properties of Modified Potato Starch Biodegradable Films, *Journal of Applied Polymer Science*, 101(6):4313-4319.
- Çabuk M, Yavuz M, Hlavá J, 2011, “Biyobozunur ve antikanserojen kitosan/benzaldehit modifikasyonu ve nanokompozitin hazırlanması”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27:247-251.
- Çankaya N, Sökmen Ö, 2017, Kitosan-Kil Biyonanokompozitleri, *Journal of Polytechnic*, 2016; 19 (3) : 283-295.
- Çınar O, Tokgöz H, Gölükcü M, Uysal Bayar F, 2022. Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) Uçucu Yağ Kalite Parametrelerinin Hasat Zamanı ve Lokasyona Göre Değişimi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2): 1114-1123
- Çiftçi H, 2021, An Introduction to Montmorillonite Purification, Inbook: *Montmorillonite* (pp.17)
- Çiftçi H, Ersoy B, & Evcin A, 2020, Purification of Turkish Bentonites and Investigation of The Contactangle, Surface Free Energy and Zetapotential Profiles of Organo-Bentonites as A Function of CTAB Concentration. *Clays and Clay Minerals*, 68, 250-261.
- Çiftçi Ş, Özek S, Alay Aksoy S, Aksoy K, Göde F, 2015, Nanokil Katkılı PVA/Kitosan Nanolif Sentezi ve Karakterizasyonu, *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 2015, 10 (1): 118-128.
- Dawson Lp, Acton Jc, Ogale Aa, 2002, Biopolymer Films and Potential Applications to Meat and Poultry Prod Ucts. *Fresh Meat / Packaging I. Proceedings Of The 55th*

- Annual Reciprocal Meat Conference, 75-82. Michigan Usa.
- De Vlieger J J, 2003, Novel Food Packaging Techniques, Ed. Raija Ahvenainen, Woodhead Publishing In Food Science And Technology, 533-547.
- Dean K, Sangwan P, Way C, Zhang X, Martino V P, Xie F, Halley P J, Pollet E, and Avérous L, 2013, Glycerol Plasticised Chitosan: A Study of Biodegradation Via Carbon Dioxide Evolution and Nuclear Magnetic Resonance, Polymer Degradation and Stability, 98, 1236-1246.
- Depan D, Kumar A P, Singh R P, 2006, "Preparation and characterization of novel hybrid of chitosan- g-lactic acid and montmorillonite", Journal of Biomedical Materials Research Part A, 78:372-382.
- Dudas S, Segon P, Erhatic R, & Kovacevic V, 2013, Influence Of Drying Temperatures On Essential Oil Content In Savory Satureja Montana L. (Lamiaceae). 2nd Scientific Conference With International Participation 24th -25th, Biotechnical Centre Naklo, Strahinj 99, Naklo, Slovenia.
- Duman E, Demirci A Ş, Duman S, 2017, Physicochemical, Antibacterial and Antifungal Properties of Essential Oils Obtained From Basil (*Ocimum Basilicum*) and Thyme (*Thymus Serpyllium*) Plants, International Symposium on Advances in Lamiaceae Sciene 2(4), 29.
- Duman S S, Şenel S, 2004, "Kitosan ve Veteriner Alandaki Uygulamaları", Veteriner Cerrahi Dergisi, 10(3-4): 62-72.
- Echegoyen Y., Rodríguez S., Nerín C., 2016, Nanoclay Migration From Food Packaging Materials, Food Additives & Contaminants: Part A, Doi: 10.1080/19440049.2015.1136844
- Ergene B, Haddur D, Karaaslan M, İleri Özler K, Saltan İşcan G, 2023, Piyasada Bulunan Bazı Uçucu Yağların Farmakope Uygunluğunun Değerlendirilmesi, Ankara Ecz. Fak. Derg. / J. Fac. Pharm. Ankara, 47(1): 157-167, 2023 Doi: 10.33483/Jfpau.1178298.
- Eser N, "Bazı haloisit-polimer nanokompozitlerin hazırlanması ve karakterizasyonu", *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2010).

- Ferreira A, Bandarrab N, Moldão-Martinsd M, Coelhoa I, Alves V, 2018, LWT – Food Science and Technology 91, 34–39.
- Fiocco D, Fiorentino D, Frabboni L, Benvenuti S, Orlandini G, Pellati F, Gallone A, 2011, Lavender and Peppermint Essential Oils as Effective Mushroom Tyrosinase İnhibitors: A Basic Study. *FlavourFragr. J.* 26: 441–446.
- Gabr M H, Okumura W, Ueda H, Kuriyama W, Uzawa K, Kimpara I, 2015, Mechanical and thermal properties of carbon fiber/polypropylene composite filled with nano-clay. *Compos. Part B.* 69, 94–100.
- Gökalp H Y, Nas S, Ünsal M, 2001, Bitkisel Yağ Teknolojisi. Pamukkale Üni. Mühendislik Fak. Ders Kitapları Yayın No:005. Denizli.
- Gönenç İ, 2012, Glutaraldehit Kullanarak Çapraz Bağlı Mısır Nişastası Esaslı Filmlerin Üretimi İle Bu Filmlerin Geçirgenlik, Mekaniksel Ve Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi. (Doktora tezi). Hacettepe Üniversitesi, Lisanüstü Eğitim Enstitüsü, Ankara.
- Grigora M E, Terzopoulou Z, Tsongas K, Bikiaris D N, Tzetzis D, 2022, Physicochemical Characterization and Finite Element Analysis-Assisted Mechanical Behavior of PolylacticAcid-Montmorillonite 3D Printed Nanocomposites. *Nanomaterials*, 12(15):2641.
- Grim R E and Güven N, 1978, Bentonites, Geology, Mineralogy, Propertiesanduses (devel. sedimentol., 24), *Elsevier*, Amsterdam, 256.
- Gross R A ve Kalra B, 2002, Biodegradable polymers for the environment. *Science*, 297(5582): 803- 807.Gümüşderelioğlu, M. 2012. Biyoplastikler. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 76-79.
- Gupta A, Mulchandani N, Shah M, Kumar S, Katiyar V, 2018, Functionalized chitosan mediated stereo complexation of poly(lacticacid): Influence on crystallization , oxygen permeability, wettability and biocompatibility behavior,Polymer (Guildf).,142,196–208.
- Han Y S, Lee S H, Choi K H, Park I, 2010, Preparation and Characterization Of Chitosan-Clay Nanocomposites With Antimicrobial Activity, *Journal of PhysicsandChemistry of Solid*, 71: 46-467.

- Hassiotis C N, Ntana F, Lazari D M, Poullos S, Vlachonasios K E, 2014, Environmental and Developmental Factors Affect Essential Oil Production and Quality of *Lavandula Angustifolia* During Flowering Period, Ind. CropsProd., 62, 359.
- Iqdiam BM, Mostafa H, Goodrich-Schneider R, Baker GL, Welt B, Marshall MR. 2018. High power ultrasound: impact on olive paste temperature, malaxation time, extraction efficiency, and characteristics of extra virgin olive oil. Food and Bioprocess Technology, 11(3): 634-644.
- ISO 3515:2002 Lavander Oil Quality Standarts. International Organization for Standardization ISO Central Secretariat, Geneva-Switzerland.
- İskender D, Altınten A, 2023, Polilaktik Asit/ Poli (Stiren-Ko-Metil Metakrilat) /Halloysit Nanokompozitlerinin Özellikleri Üzerine Halloysit Ve Polilaktik Asit Miktarının Etkisi Esogü Müh. Mim. Fak. Dergisi, 31(3), 873-881
- Jeon Y J, Kamil J Y V A, Shahıdı F, 2002, Chitosan as an EdibleInvisible Film forQualityPreservation of HerringandAtlanticCod, J. Agric. FoodChem. 2002, 50, 5167–5178
- Jiménez A, Fabra M J, Talens P, Chiralt A, 2012, Effect of sodiumcaseinate on propertiesandageingbehaviour of cornstarchbasedfilms. Food Hydrocoll. 29 (2), 265–271.
- Joseph T, Morrison M, 2006, Nanotechnology İn AgricultureAndFood. A NanoforumReport,May.Http://Www.Nanowerk.Com/Nanotechnology/Reports/Reportpdf/Report61.Pdf. 1-14.4
- Kahraman D, 2010, TürkiyedeNanoteknoloji Alanında Yapılmış Çalışmalar Üzerine, Kocaeli, 13p.
- Kara N, Ve Baydar H, 2011, Türkiye’De Lavanta Üretim Merkezi Olan Isparta İli Kuyucak Yöresi Lavantalarının (Lavandula X İntermediaEmerice X Loisel.) Uçucu Yağ Özellikleri. Selçuk Üniv. Selçuk Tarım Ve Gıda Bilimleri Dergisi, 25 (4), 42-46.
- Karayığit T, Duman E, 2022, The Detection of Impuritird in NanoscaleandPhysico-chemicalChangesOccuring in RefinedStages of Sunflower Oil, Engineeringand Architecture Science, sf. 101.

- Karık Ü, Çiçek F, & Çınar O, 2017, Menemen Ekolojik Koşullarında Lavanta (*Lavandula*Spp.) Tür Ve Çeşitlerinin Morfolojik, Verim Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 27(1), 17-28.
- Karlı Yılmaz N G, 2011, Karbon Elyaf Takviyeli Termoplastik Karmaların Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 283046.
- Katar N, Katar D, Aydın D, & Olgun M, 2018, Tıbbi Adaçayı (*Salvia Officinalis* L.)’nda Uçucu Yağ Oranı Ve Kompozisyonu Üzerine Ontogenetik Varyabilitenin Etkisi. *Uluslararası Tarım Ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 4(2), 231-236.
- Kaya D, Ergönül PG, 2015, Obtaining methods of volatile oils. *GIDA-Journal of Food*, 40(5), 303-310
- Kirwan Mj, Strawbridge Jw, 2003, *Plastics In Food Packaging*. R Coles, D McDowell And Mj Kirwan Eds. *Food Packaging Technology*. CrcPressInc, Oxford London. P.174-240.
- Kocaman S, Ahmetli G, Soğancıoğlu M, 2018, Doğal Atık Malzemeler ve Biyoçarları ile Biyobozunur Özellikte Yeni Epoksi-bazlı Kompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(2), ss. 261-272, Haziran 2018.
- Koç M Z, 2019, Nanokil Katkılı Pva Nanoliflerde Ultrasonikasyon Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Kumbunleu J, Rattanapun A, Sapsrithong P, Tuampoemsab S, Sritapunya T, 2020, The Study on Chitosan Coating on Poly(Lactic Acid) Film Packaging to Extend Vegetable and Fruit Life, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 811 012021.
- Kurt D, TAB Standardizasyon Muhafza ve Ambalajlama Ders Notları, 2019-2020.
- Kuswandi B, Moradi M, 2019, Improvement Of Food Packaging Based On Functional Nanomaterial. In *Nanotechnology: Applications In Energy, Drug And Food*; Siddiquee, S., Melvin, G.J.H., Rahman, M.M., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, Pp. 309–344, ISBN 978-3-319-99602-8.

- Lavorgna M, Piscitelli F, Mangiacapra P and Buonocore G G, 2010, Study of The Combined Effect of Both Clay and Glycerol Plasticizer on The Properties of Chitosan Films, *CarbohydratePolymers*, 82: 291-298.
- Lazaridio A, 2004, Composition thermalandrheological behaviour of selected Grek honeys, *Journal of Food Engineering*, 64, 9-21.
- Leceta I, Guerrero P, & De Caba K, 2013, Functional properties of chitosan-basedfilms. *Carbohydrate Polymers*, 93(1), 339–346, 2012.04.031
- Lin K F, Hsu C Y, Huang T S, Chiu W Y, Lee Y H, Yong T H, 2005, A novel method to prepare chitosan/montmorillonite nanocomposites”, *Journal of Applied Polymer Science*, 98:2042-2047.
- Lin S Y, Wang S L, 2011, Advances In Simultaneous DSC–FTIR Micro Spectroscopy for Rapid Solid-State Chemical Stability Studies: Some Dipeptide Drugs as Examples. *AdvDrug Delivery Rev*, 64 (2012) 461-47
- Liu H, Xie F, Yu L, Chen L And Li L, 2009, Thermal Processing of Starch-BasedPolymers. *Progress In PolymerScience*, 34(12): 1348-1368.
- Maarel V D vd., 2002, Propertiesand Applications of Starch-Converting Enzymes Of The α -Amylase Family, *Journal of Biotechnology*. (94),137-155.
- Mahvi A H Ve Dalvand A, 2019, Kinetic And Equilibrium Studies On The Adsorption Of Direct Red 23 Dye From Aqueous Solution Using Montmorillonite Nanoclay, *Water Quality Research Journal*.
- Mammadov R, 2014, Tohumlu Bitkilerde SekonderMetabolitler. Nobel Akademik Yayıncılık, Yayın No: 841, Ankara
- Mamuk Y, *LavandulaAngustifolia* Mill. (Lavanta) Türünün Uçucu Yağının Kimyasal İçeriğinin Standardizasyonu Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Haziran 2022, Muğla.
- Marsh K, Bugusu B, 2007, FoodPackaging-Roles, MateRials, AndEnvironmentalİssues. *J FoodSci*. 72(3), 39-55.
- Memikoğlu İnce B, *Salvia Cedronella* Bitkisinin Uçucu Yağ Bileşenlerinin

- Karakterizasyonu Ve Antioksidan Aktivitelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Ağustos 2009 Muğla.
- Menceloğlu Y Z, Kırca M B, 2008, Uluslar Arası Rekabet Stratejileri: Nanoteknoloji Ve Türkiye Türk Sanayicileri Ve İşadamları Derneği, (Yayın No. TÜSİAD-T/2008-11/474)
- Mitrus M ve Moœcicki L, 2009, Physical Properties of Thermoplastic Starches. Int. Agrophysics, 23: 305-308.
- Miyazaki K, 2007, Nanotechnology Systems of Innovation an Analysis of Industry and Academia Research Activities. Technovation, 27: 661- 671.
- Najibullah Snm, Ahamad J, Aldahish Aa, Sultana S, Sultana S, 2021, Chemical Characterization and A-Glucosidase Inhibitory Activity of Essential Oil of *Lavandula Angustifolia* Flowers, J. Essent. Oil-Bear. Plants 24 (3) 2021 PP 431 – 438.
- Nas S, Gökalp Y H, Ünsal M, 2001, Bitkisel Yağ Teknolojisi, Pamukkale Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Matbaası, 322s.
- Neethirajan S, Jayas D S, 2011, Nanotechnology For The Food and Bioprocessing Industries. Food Bioprocess Technol, 4:39–47.
- Nurul-Fazita M R, Jayaraman K, Bhattacharyya D, Mohamad Haafiz M K, Saurabh, C K, Hussin M H and Hps A K, 2016, Green Composites Made of Bamboo Fabric And Poly (Lactic) Acid For Packaging Applications A Review Materials, 9 (6): 435.
- Ogata N, Jimenez G, Hidekazu K and Ogihara T, 1997, Structure and thermal/mechanical properties of poly (lactide)-clayblend, Journal of Polymer Science, 35: 389- 396.
- Oguzlu H, Tihminlioglu F, 2010, Preparation and Barrier Properties of Chitosan-Layered Silicate Nanocomposite Films, Macromol. Symp. 2010, 298, 91– 98.
- Ono D, Bamba T, Oku Y, Yonetani T, Fukusaki E, 2011, Application of Fourier Transform Near-Infrared Spectroscopy to Optimization of Green Tea Steaming

- Process Conditions. J BiosciBioeng, vol:112 No. 3, 247-251.
- 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, 1661-9897, Vol. 59, pp 77-93.
- Özer Y, 2008, Nanobilim Ve Nanoteknoloji: Ülke Güvenliği/Etkinliği Açısından Doğru Modelin Belirlenmesi [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Kara Harp Okulu.
- Pavlov A I, Georgiev M I, Panchev I N, Ilieva M P, 2005, Optimization of rosmarinic acid production by *Lavandulavera* MM plantcell suspension in a laboratory bioreactor. BiotechnologyProgress, 21:394–396
- Pluta M, Galeski A, Alexandre M, Paul M A ve Dubois P, 2002, Polylactide/Montmorillonite Nanocomposites and Microcomposites Prepared By Melt Blending: Structure and Some Physical Properties”, Journal of Applied Polymer Science, 86: 1497-1506.
- Pop A, Bobeanu C, Fărcaș A, Maria Tofană M, Dan Vârban Dcosmina Bogătean D, Socaci S, 2016, Study Regarding The Use of *Salvia Officinalis* Essential Oil in Food Products with A High Fat Content (Mayonnaise), Bulletin Uasvm Food Science and Technology 73(2)/2016.
- Priya B, Gupta V K, Pathania D, Singha A S, 2014, Synthesis, Characterization and Antibacterial Activity of Biodegradable Starch/PVA Composite Films Reinforced with Cellulosic Fibre. Carbohydratepolymers. 109: 171-179.
- Ramsden J, 2014, Applied Nanotechnology. William Andrew Publishing: Amsterdam, The Netherlands, 211 Pp.
- Ray S, Sinha Yamada K, Okamoto M, Ueda K, 2003, Control of Biodegradability of Polylactidevia Nanocomposite Technology, Macromol. Mater. Eng. 2003, 288, 203–208
- Rhim Jw, Hong Si, Park Hm, Ng Kw, 2006, Preparation and Characterization of Chitosan-Based Nanocomposite Films with Antimicrobial Activity. J Agric Food Chem.54(16),5814-5822.
- Sahoo S K, Parveen S, Panda J J, 2007, The Present And Future Of Nanotechnology In

- Human Health Care. Nanomedicine: NBM, 3: 20-31.
- Saka E, Terzi G, 2015, Gıda Endüstrisinde Nanoteknoloji Uygulamaları. Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi, 26 (2): 52-57.
- Sangamithra A, Thirupathi V, 2009, Nanotechnology in Food, Science Tech Entrepreneur Ezine, January.
- Smigielski K, Raj A, Krosowiak K, Gruska R, 2009, Chemical Composition of the Essential Oil of *Lavandula angustifolia* Cultivated in Poland, Jeobp 12 (3) 2009 pp 338 – 347.
- Šojić B, Tomović V, Savanović J, Kocić-Tanackov S, Pavlić B, Jokanović M, Milidrag A, Martinović A, Vujadinović D, Vukić M, 2021, Sage (*Salvia officinalis* L.) Essential Oil as a Potential Replacement for Sodium Nitrite in Dry Fermented Sausages. Processes 9, 424.
- Songkro S, Sirikatitham A, Sungkarak S, Buaking K, Wungsintaweekul J, Maneenuan D, Oungbho K, 2010, Characterization of Aromatherapy Massage Oils Prepared from Virgin Coconut Oil and Some Essential Oils, J Am Oil Chem Soc 87:93–107.
- Sorrentino A, Gorrasi G, Vittoria V, 2007, Potential Perspectives of Bio-Nanocomposites For Food Packaging Applications, Trends Food Science And Technology, 18(2): 84-95.
- Sönmez Ç, Şimşek Soysal A Ö, Okkaoğlu H, Karık Ü, Taghiloofar A H, & Bayram E, 2018, Determination of some yield and quality characteristic samong individual plants of lavender (*Lavandula angustifolia* mill.) populations grown under mediterranean conditions in Turkey. Pakistan Journal of Botany, 50(6): 2285-2290.
- Sun L, Sun J, Chen L, Niu P, Yang X, & Guo Y, 2017, Preparation and Characterization of Chitosan Film in Corporated with Thin Nedyoungapple Poly Phenols as An Active Packaging Material. *Carbohydrate Polymers*, 163: 81-91.
- Swern D, 1982, Baily SIndustrial Oil and Fat Products. A Wiley-Interscience Publication, Vol.2, 1-69. Usa.

- Şaşmaz H, 2010, Hibrit Kitosan/PCL Doku İskelelerinin Elektro-Eğirme Tekniği İle Üretimi Ve Hücre Kültürü Uygulamaları.
- Şimşek A, 2021, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Lavanta (*LavandulaAngustifolia*) Ekstraktı İle Gümüş Nanopartiküllerin Sentezi, Karakterizasyonu Ve İnsan Glioblastoma U87mg Hücreleri Üzerinde Anti Kanser Özelliklerinin Değerlendirilmesi. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Tez Danışmanı: Doç.Dr. Çiğdem Aydın Acar).
- Tan W, Zhang Y, Szeto Y S, Liao L, 2008, A Novel Method to Prepare Chitosan/ Montmorillonite Nanocomposites In the Presence of Hydroxyaluminum Oligomeric Cations, Composites Science and Technology, 68 (14).
- Tayar M, Çıbık R, 2013, Karbonhidratlar. Gıda kimyası, (3 baskı), Bursa: Dora yayıncılık.
- Tokiwa Y, Calabia B P, Ugwu C U and Aiba S, 2009. Biodegradability of Plastics. International Journal Of MolecularSciences, 10: 3722-3742.
- TS EN ISO 13468-1, 2019, Plastikler- Saydam malzemelerin toplam ışık geçirgenliği tayini- Bölüm 1: Tek- ışın demetli cihazı.
- Tuna B, 2013, Geri Dönüştürülmüş Pla'nın Özelliklerinin Reaktif Harmanlama İle Zincir Uzaticılar Kullanılarak Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 335448.
- Turek C, and Stintzing F, 2011, Evaluation of Selected Quality Parameters To Monitor Essential Oil Alteration During Storage, Vol. 76, Nr. 9, 2011 Journal Of Food Science.
- Tursun A O, & Telci İ, 2020, The Effects of Carbon Dioxide and Temperature On Essential Oil Composition Of Purple Basil (*OcimumBasilicum L.*), Journal Of Essential Oil Bearing Plants, 22(2), 255-265.
- Uçar Y, 2020, Narenciye Kabuğu Esansiyel Yağları Kullanılarak Hazırlanan Mikroenkapsüle Balık Yağı Tozlarında Depolama Süresince Meydana Gelen Duyusal Ve Renk Değişimleri,

- Umamaheswari C, Lakshmanan A ve Nagarajan N S, 2018, Greensynthesis, characterization and catalytic degradation studies of gold nanoparticles against congo red and methylene blue, Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology 178: 33–39. www.elsevier.com/locate/jphotobiol.
- Üçüncü M, 2007, Gıdaların Ambalajlanması. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, Türkiye, syf. 896.
- Verma R, Rahman L, Chantia C, Verma R, Chauhan A, Yadav A, Singh A And Yadav A, 2010, Essential Oil Composition Of *Lavandula Angustifolia* Mill. Cultivated In The Mid Hills Of Uttarakhand, India, J. Serb. Chem. Soc. 75 (3) 343–348 (2010) Udc 665.52/.54:582.949.26(540uttarakhand) Jscs–3966.
- Wang S, Chen L, Tong Y, 2006, Structure–Property Relationship In Chitosan-Based Biopolymer/Montmorillonite Nanocomposites, Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry, 44:686-696,
- Xie F, Yu L, Liu H ve Chen L, 2006, Starch Modification Using Reactive Extrusion. *Starch- Stärke*, 58(3-4): 131-139.
- Yahşi T Y, 2021, Yüksek Metal Adezyonu Sağlayan Ve Gıda Paketlerinin Sterilizasyon Ve Pastörizasyonu İşlemlerinde Metalize Yüzey Delaminasyonunu Önleyecek Bopet Film Geliştirilmesi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yalçınkaya S E, 2008, Nanokil – Polimer Kompozitlerinin Sentez Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yao H B, Tan Z H, Fang H Y, Yu S H, 2010, Artificial nacre-Like Bionanocomposite Films From The Self-Assembly of Chitosan-Montmorillonite Hybrid Building Blocks, *Angewandte Chemie International Edition*, 49: 10127- 10131.
- Yerlikaya P, Yatmaz H A, Topuz O K, 2019, Applications of Edible Films and Coatings in Aquatic Foods, Innovative Technologies in Seafood Processing. Özoğul, Y. (baş ed.), CRC Press, pp.71- 86.
- Yılmaz M, 2008, Yağlı Tohumlarda Kalite Kontrolü, İnternet Kaynağı Web: Www.Gidacilar.Net, (Ziyaret Tarihi: 21.02.2012).
- Zhao Y, Zhou L & Wang Z, 2007, Direct melting polycondensation and

characterization of poly (ϵ -caprolactone-co-lacticacid),” Frontiers of Chemistry in China, vol. 2, no. 2, p.178-182.



7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve Şeyma PAMUKÇU

Yabancı Dili

İletişim (Telefon/e-posta)

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise: Afyon Anadolu Öğretmen Lisesi (2013 – 2017)

Lisans: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Böl., (2017– 2021)

Yüksek Lisans: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Nanobilim ve Nanoteknoloji, (2021 – 2024)