

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
KANATLI HAYVAN YETİŞTİRİCİLİĞİ ANA BİLİM DALI



KEKİK YAĞI İLAVE EDİLMİŞ TAVUK JELATİNİ/KİTOSAN
BAZLI YENİLEBİLİR AMBALAJ FİLM ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SümeYra Selin CESUR

TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi Aydın ERGE

BOLU, OCAK- 2025

KABUL VE ONAY SAYFASI

Sümeýra Selin CESUR tarafından hazırlanan “**KEKİK YAĞI İLAVE EDİLMİŞ TAVUK JELATİNİ/KİTOSAN BAZLI YENİLEBİLİR AMBALAJ FİLM ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU.**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Kanatlı Hayvan Yetiştiriciliği Ana Bilim Dalı Kanatlı Hayvan Yetiştiriciliği Programında Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir. 27/12/2024

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Aydın ERGE
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Doç. Dr. Harun URAN
Kırklareli Üniversitesi

.....

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Kübra ERYAŞAR ÖRER
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu ve Şablonuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin Turnitin adlı programında enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %30'u geçmemektedir.

Sümeyra Selin CESUR

ÖZET

**KEKİK YAĞI İLAVE EDİLMİŞ TAVUK JELATİNİ/KİTOSAN BAZLI
YENİLEBİLİR AMBALAJ FİLM ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SÜMEYRA SELİN CESUR
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
KANATLI HAYVAN YETİŞTİRİCİLİĞİ ANA BİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ AYDIN ERGE)**

BOLU, OCAK - 2025

XIII + 35

Gıda ambalajlama endüstrisinde, son yıllarda petrol türevi plastik ambalaj materyalleri yerine doğada biyolojik bozunmaya uğrayan, çevreye zararı olmayan ve yenilebilir özelliklere sahip ambalaja materyallerinin üretimine olan ilgi artış göstermektedir. Özellikle çevresel kaygılar bu konudaki arayışları hızlandırmaktadır. Yenilebilir filmlerin üretiminde çeşitli biyopolimer materyaller kullanılabilmektedir.

Bu tez çalışmasında kanatlı sanayi artıklarından elde edilen tavuk jelatini, kitosan ve kekik yağı kullanılarak yenilebilir, doğa dostu ve sürdürülebilir bir gıda ambalajı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kompozit ve bilayer olmak üzere iki farklı film üretim metodu kullanılmış, kekik yağı içeren ve içermeyen kombinasyonlar ile birlikte toplamda dört farklı özellikte film elde edilerek üretim metodu ve kekik yağının film özellikleri üzerine olan etkileri değerlendirilmiştir. Jelatinin fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla doğal çapraz bağlayıcı olan kafeik asit ve rutin kullanılmıştır. Bu çalışmada tavuk jelatini/kitosan/kekik yağı kombinasyonunun film kalınlığı, nem içeriği, opaklık, renk, su buharı geçirgenliği, suda çözünürlük, mikroyapı ve gıda muhafaza gibi özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Sonuçta bu çalışmada kekik yağı kullanımının, film kalınlık ve suda çözünürlük değerlerini artırdığı görülmüştür. Su buharı geçirgenliği bakımından kompozit örneklerin bilayer örneklerle kıyasla daha yüksek geçirgenliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, muhafaza sürecinde ağırlık kaybı değerleri bakımından kıyaslama yapıldığında bilayer filmlerin kompozit filmlere göre daha yüksek ağırlık kaybı gösterdiği tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Tavuk jelatini, Kitosan, Yenilebilir Ambalaj, Kekik Yağı, Gıda Ambalajı

ABSTRACT

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF CHICKEN GELATIN/CHITOSAN BASED EDIBLE PACKAGING FILM WITH THYME OIL

MSC THESIS

SÜMEYRA SELİN CESUR

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

DEPARTMENT OF POULTRY SCIENCES

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. AYDIN ERGE)

BOLU, JANUARY 2025

XIII + 35

In recent years, the food packaging business has been more interested in producing packaging materials that are edible, biodegradable and environmentally safe as opposed to plastic packaging materials made from petroleum. Concerns about the environment in particular speed up the search for this topic. Various biopolymer materials can be used in the production of edible films.

The aim of this thesis study was to create a sustainable, edible food packaging by utilizing thyme oil, chitosan and chicken gelatin derived from poultry industry waste. Two different film making techniques (composite and bilayer) were employed in this study and four distinct films were produced with and without thyme oil. The impact of the production process and thyme oil the characteristics of the films were assessed. Caffeic acid and rutin, which are natural crosslinkers, were used to improve the physical properties of gelatin. The effects of a combination of chicken gelatin, chitosan and thyme oil on the film characteristics such as thickness, moisture content, opacity, color, water vapor permeability, water solubility, microstructure and food preservation were assessed in this study.

Consequently, in this study, it was found that the application of thyme oil raised the water solubility and film thickness values. In terms of water vapor permeability, it was determined that composite film samples were more permeable than bilayer samples. Bilayer films were found to exhibit more weight loss than composite films when the weight loss data were compared during the storage period.

KEYWORDS: Chicken Gelatin, Chitosan, Edible Packaging, Thyme Oil, Food Packaging

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ	ix
FOTOĞRAF LİSTESİ	x
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xi
TEŞEKKÜR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Yenilebilir Film ve Kaplamalar	3
1.2 Yenilebilir Filmlerin Gıda Uygulamaları	4
1.3 Esansiyel Yağların Yenilebilir Filmlerde Kullanımı	5
1.4 Jelatin.....	6
1.5 Kitosan.....	7
2. MATERYAL ve YÖNTEM.....	9
2.1 Materyal.....	9
2.2 Yöntem	9
2.2.1 Tavuk Jelatininin Elde Edilmesi	9
2.2.2 Polimer Solüsyonunun Hazırlanması	9
2.2.3 Elde Edilen Ambalaj Materyali ile Gıda Muhafaza Uygulaması	11
2.2.4 Filmlerde Kalınlık ve Nem Ölçümleri.....	12
2.2.5 Filmlerin Işık Geçirgenlik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	12
2.2.6 Filmlerin Suda Çözünürlük Özelliklerinin Belirlenmesi.....	13
2.2.7 Su Buharı Geçirgenliği (SBG).....	13
2.2.8 Filmlerin Mekaniksel Özelliklerinin Ölçümleri	14
2.2.9 Filmlerin Renk Özelliklerinin Belirlenmesi	15
2.2.10 Film Mikroyapılarının SEM (Scanning electron microscopy) Yönetimle Görüntülenmesi.....	15
2.2.11 Muhafaza Sonrasında Tavuk Etlerinden Yapılan Analizler	15
2.2.12 İstatistiksel Analizler	16
3. BULGULAR	17
3.1 Değişkenlerin Film Kalınlıkları Üzerine Etkisi.....	17
3.2 Değişkenlerin Renk ve Işık Geçirgenlik (Opaklık) Özellikleri	17

3.3 Değişkenlerin Suda Çözünürlük Değerleri Üzerine Etkisi.....	18
3.4 Değişkenlerin Filmlerde Su Buharı Geçirgenliği Değerleri Üzerine Etkisi	19
3.5 Değişkenlerin Film Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi.....	19
3.6 Değişkenlerin Filmlerin Mikroyapı Özellikleri Üzerine Etkisi.....	20
3.7 Muhafaza Sonrası Analizler, Sonuçları.....	24
3.7.1 Muhafaza Süreci Ağırlık Kaybı Sonuçları.....	24
3.7.2 Muhafaza Sürecindeki Tiyobarbutirik Asit Reaktif Madde (TBARS) Değişimi.....	25
4. TARTIŞMA	27
4.1 Değişkenlerin Film Kalınlıkları Üzerine Etkisi.....	27
4.2 Değişkenlerin Renk ve Işık Geçirgenlik (Opaklık) Özellikleri.....	27
4.3 Değişkenlerin Suda Çözünürlük Değerleri Üzerine Etkisi.....	27
4.4 Değişkenlerin Filmlerde Su Buharı Geçirgenliği Değerleri Üzerine Etkisi..	28
4.5 Değişkenlerin Film Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi.....	28
4.6 Değişkenlerin Filmlerin Mikroyapı Özellikleri Üzerine Etkisi.....	29
4.7 Muhafaza Süreci Ağırlık Kaybı Sonuçları.....	29
4.8 Muhafaza Sürecindeki Tiyobarbutirik Asit Reaktif Madde (TBARS) Değişimi	30
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	31
6. KAYNAKLAR.....	33

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Kompozit-kekiksiz film kombinasyonuna ait SEM görüntüsü	21
Şekil 3.2. Kompozit-kekikli film kombinasyonuna ait SEM görüntüsü.....	21
Şekil 3.3a. Bilayer-kekiksiz-Jelatin yüzeyine ait	22
Şekil 3.3b. Bilayer-kekiksiz-Kitosan yüzeyine ait SEM görüntüsü	22
Şekil 3.4a. Bilayer-kekikli-Jelatin yüzeyine ait SEM görüntüsü.....	23
Şekil 3.4b. Bilayer-kekikli-Kitosan yüzeyine ait SEM görüntüsü	23



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Film kalınlık ve nem değerleri	17
Tablo 3.2. Film renk ve opaklık değerleri	17
Tablo 3.3. Suda çözünürlük değerleri.....	18
Tablo 3.4. Su buharı geçirgenliği değerleri	19
Tablo 3.5. Film mekanik özellikleri	19
Tablo 3.7.1. Muhafaza süresine ağırlık kaybı değerleri	24
Tablo 3.7.2. Muhafaza süresince TBARS değerleri (mg MA/kg)	25



FOTOĞRAF LİSTESİ

Sayfa

Fotoğraf 2.1. Elde edilen film görüntüleri	11
Fotoğraf 2.2. Elde edilen filmlerin tavuk eti muhafazasında kullanımı.....	12



KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

a*	: Kırmızı (+60), Yeşil (-60)
A	: Film Geçirgenlik Alanı
ABS	: Absorbans
ASTM	: Amerikan Standart Test Metotları
b*	: Sarı (+60), Mavi (-60)
°C	: Santigrat
CH₄	: Metan
CIE	: International Commission on Illumination
cm	: Santimetre
CO₂	: Karbon Dioksit
d	: Filmin Kalınlığı
DD	: Delinme Direnci
DM	: Delinme Mesafesi
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
EB	: Uzayabilirlik
EDTA	: Etilendiamin tetra asetik asit
FDA	: Food and Drug Administration (Gıda ve İlaç Dairesi)
FT-IR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
g	: Gram
GD	: Gerilme Direnci
GRAS	: Generally Recognized as Safe
HCl	: Hidrojen Klorür
kDa	: Kilo Dalton
KI	: Potasyum İyodür
KU	: Kopma Uzaması
kV	: Kilovolt
L	: Filmin Kopma Anındaki Uzunluğu
Δm	: Filmin Kazanmış Olduğu Ağırlık Miktarı
L₀	: Filmin İlk Uzunluğu
L*	: Parlaklık, Beyaz (100), Siyah (0)
M	: Molar
MAKE	: Mekanik Ayrılmış Kanatlı Eti
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
mm/s	: Milimetre/Saat
MPa	: Mega Pascal

N	: Newton (Maksimum Kuvvet)
NaOH	: Sodyum Hidroksit
nm	: Nanometre
OH	: Hidroksil
ΔP	: Filmin İki Tarafı Arasındaki Basınç Farkı
Pa	: Pascal
PASP	: Peynir Altı Suyu Proteini
pH	: Potansiyel Hidrojen
PS	: Filmlerde Delinme Direnci
R1	: Desikatör Ortamının Bağlı Nemi
R2	: Erlenin (silika) İç Ortamının Bağlı Nemi (%0)
rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı
S	: Suyun Kullanılan Sıcaklıktaki Doymuş Buhar Basıncı
SBG	: Su Buharı Geçirgenliği
SEM	: Scanning Electron Microscopy
Sn	: Saniye
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
t	: Analiz Süresi
TBARS	: Tiyobarbiturik Asit Reaktif Maddeleri
TS	: Gerilme Direnci
UV	: Ultraviyole
%	: Yüzde

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim boyunca benimle tüm bilgi ve tecrübelerini paylaşan, bana yüksek lisans yapma şansını tanıyan çok kıymetli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Aydın ERGE'ye, lisansüstü eğitimimden önce, sonra ve eğitimim sırasında manevi desteğini esirgemeyen sevgili hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet YAMAN'a, manevi desteğini derinden hissettiğimiz kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Hande Selen ERGE'ye, eğitimim boyunca bana her zaman destek olan canım aileme, yine desteklerini her zaman hissettiğim kıymetli amcam Doç. Dr. Öğr. Üyesi Ertuğrul CESUR'a ve tabii ki kadınların ilerlemesinin yolunu açan, her zaman varlığını yüreğimizde hissettiğimiz Mustafa Kemal ATATÜRK'e sükranlarımı sunuyorum.

Saygılarımla.

Sümeyra Selin CESUR

Bolu, 2024

1. GİRİŞ

Gıda ambalajı; içine konulan gıdaların, son tüketiciye bozulmadan, gıdayı dış etkenlerden korunmasını, güvenilir bir şekilde ulaştırılmasını ve tüketiciye ürün hakkında bilgi vererek tanıtılmasını sağlayan bir araçtır. Gıda muhafazası için kullanılan ambalaj materyalleri, çoğunlukla petrol türevli malzemelerden üretilmekte olup alternatif yenilebilir materyallerin araştırılması önemli hale gelmiştir. Son yıllarda bu amaçla yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Yenilebilir ambalaj üretiminde kullanılan doğal biyopolimerler; selüloz, nişasta ve protein gibi polimer hammaddelerden oluşmaktadır (Karagöz ve Demirdöven, 2017).

Biyobozunma, ambalaj materyalinin maya ve bakteri gibi mikroorganizmalar tarafından parçalanması olarak tanımlanmaktadır. Yenilebilir malzemelerin mikroorganizmalar tarafından parçalanması sonucunda CO₂, CH₄, biyokütle, su, humus, toprak ve diğer doğal maddeler açığa çıkmakta ve bu bileşenlerin çevreye herhangi bir zararı bulunmamaktadır (Kılınç vd., 2017).

Jelatin, yüksek oranda kolajen yapıda bulunan protein bazlı bir biyopolimerdir. Dünya genelinde yüksek oranda domuz ve sığır jelatini kullanılırken buna alternatif olarak balık ve kanatlı hayvanlardan da jelatin elde edilebilmektedir (Erge ve Zorba, 2016). Jelatinin film oluşturma yeteneği sayesinde özellikle yenilebilir gıda ambalajı üretiminde kullanımına ilişkin birçok çalışma bulunmaktadır (Eser ve Doğruer, 2022).

Kitosan; yenilebilir, doğal ve çevreye zararı olmayan bir biyopolimerdir. Bazı deniz canlılarının ve eklem bacaklıların ana maddesi olan kitinden elde edilmektedir. Kitosan, asetik asit gibi asidik çözeltilerde çözülerek birçok uygulamada kullanılmaktadır. Çeşitli çalışmalarda kitosanın antibakteriyel etkisi ortaya konmuştur. *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* üzerine kitosan filmlerin önemli düzeyde etki ettiği bildirilmiştir (Özbay ve Ayas, 2011). Bu çalışmada tavuk jelatini ile birlikte ikinci polimer materyal olarak kitosan kullanılmıştır.

Son yıllarda gıda alanında doğal katkı maddelerinin kullanımına ilişkin ilgi artmıştır (Bayaz, 2014). Tüketim açısından güvenli (GRAS- Generally Recognized

as Safe) statüsündeki bazı bitkisel etken maddelerin, doğal antimikrobiyal veya antioksidan olarak gıda ambalajlarında kullanım olanakları araştırılmaktadır. Esansiyel yağlar da bu amaçla üzerinde çalışılan en önemli doğal katkı maddeleridir. Esansiyel yağlar, bir kısmı antimikrobiyal ve antioksidan özellik gösteren, bitkilerde koruyucu görevi olan ikincil metabolitlerdir (Bayaz, 2014). Bu çalışmada aktif bileşen olarak kekik yağı kullanılmıştır. Nane, lavanta ve biberiye gibi *Lamiaceae* familyasından olan ve latince ismi Thymus olan kekikten elde edilen kekik yağının; antibakteriyel, antifungal ve antioksidan etkiye sahip olduğu bildirilmektedir (Bölükbaşı ve Erhan, 2006).

Günümüzde yaşanan çevresel kaygılar ve gıda alanında sürdürülebilirliğin sağlanması bakımından bu çalışmada tavuk jelatini ve kitosan temelli yenilebilir aktif bir ambalaj malzemesi geliştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmamızda Tavuk jelatini/Kitosan/Kekik yağı kombinasyonundan, iki farklı film üretim metodu (Kompozit veya Bilayer) ve kekik yağı varlığına göre toplamda 4 farklı özellikte filmler elde edilmiştir (Kompozit-Kekikli, Kompozit-Kekiksiz, Bilayer-Kekikli, Bilayer-Kekiksiz). Bu sayede bu çalışmada kompozit ve bilayer üretim metodları karşılaştırılırken aynı zamanda kekik yağının etkisi de değerlendirilmiştir. Kullanılan kekik yağı, β -siklodekstrin kullanılarak mikrokapsül hale getirilmiş ve film solüsyonuna eklenmiştir. Çalışmada elde edilen yenilebilir filmler üzerinde çeşitli karakterizasyon testleri (nem, kalınlık, renk, opaklık, mekanik özellikler, geçirgenlik özellikleri, mikroyapı ve suda çözünürlük) yapıldıktan sonra bu filmler tavuk eti muhafazası amacıyla gıda ambalajı olarak kullanılmıştır. Bu amaçla, tavuk göğüs etleri, üzeri elde edilen filmler ile kaplanarak 12 gün süreyle buzdolabı sıcaklığında muhafaza edilmiş ve bu süreçte ağırlık kaybı ve lipid oksidasyon değerleri (TBARS) bakımından çeşitli gözlemler yapılmıştır. Film karakterizasyon ve gıda muhafaza testlerine göre filmlerin gıda muhafaza performansları, üretim metodu (Kompozit veya Bilayer) ve içerdikleri aktif bileşen (kekik yağı) göz önünde bulundurularak değerlendirmeler yapılmıştır.

Bu çalışmada, tavuk kesimhane artığı olarak açığa çıkan tavuk mekanik ayrılmış kanatlı eti posasından (MAKE posası) elde edilen tavuk jelatini, yenilebilir film ana materyali olarak kullanılmıştır. Tavuk jelatinin yapısını güçlendirmek amacıyla doğal fenolik bileşikler olan rutin ve kafeik asit kullanılarak çapraz bağ işlemi gerçekleştirilmiştir.

1.1 Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Gıdaların muhafazası amacıyla ambalaj olarak kullanılan ve gıda ile birlikte tüketilebilen malzemelere yenilebilir ambalaj olarak tanımlanmaktadır. Yenilebilir ambalajlar; yenilebilir filmler, kaplamalar, tabakalar ve poşetlerden meydana gelmektedir (Tural vd., 2017).

Bitkisel ve hayvansal kaynaklı birçok polisakkarit, lipit ve protein, yenilebilir film ve kaplama üretiminde tek başına veya karışımlar halinde kullanılabilir (Tural vd., 2017). Bu biyopolimerlerin kombinasyonları, istenilen özellikleri sağlamak amacıyla bir araya getirilerek optimal bir bariyer ve koruma sağlayan yenilebilir filmler ve kaplamalar oluşturulabilmektedir. Bu da gıda endüstrisinde işlevsel ve sürdürülebilir ambalaj çözümleri sunabilmektedir. Proteinler hayvansal ve bitkisel kaynaklardan elde edilen, film oluşturma özelliğine sahip temel bileşenlerden birisidir. Hayvansal kaynaklar arasında kolajen, jelatin, peynir altı suyu proteinleri, kazein ve yumurta albümini bulunurken, bitkisel kaynaklar arasında mısır zeini, bezelye, soya ve buğday gluteni öne çıkmaktadır. Protein bazlı filmler, polisakkarit filmlere kıyasla daha iyi mekanik ve bariyer özelliklere sahiptirler. Ancak, hidrofilik yapıları nedeniyle nem bariyer özellikleri zayıftır. Polisakkaritler, bitkilerden, hayvanlardan veya mikroorganizmalardan elde edilen, suda çözünebilen polimerlerdir. Doğal biyopolimerlerden olan polisakkaritler, yüksek moleküler ağırlığa sahip oldukları için film oluşturuca özellik gösterebilmektedir. Bu özellikleri sayesinde yenilebilir ambalajların temel bileşenlerinden biri olarak kullanılırlar. Kitosan, gamlar, aljinat, pektin, selüloz ve nişasta, yenilebilir kaplamalar için kullanılan bazı polisakkaritler arasındadır. Kitosan, kabuklu deniz ürünleri (karides, yengeç, kerevit gibi) artıklarından elde edilen ve alkali koşullar altında deasetilasyona tabi tutulan bir polisakkarittir. Katyonik yapısı nedeniyle kitosan, birçok biyolojik ve kimyasal özellik göstermektedir. Kitosan; antimikrobiyal, antioksidan, film oluşturma, tekstüre etme ve bağlayıcı özellikleriyle bilinmektedir (Güler ve Özbey, 2024). Lipit temelli kaplamalar, hidrofobik özellikte olup filmleri kalın ve kırılma yapıda olmaktadır. Bu amaçla lipit bazlı filmlerde esnekliği ve dayanıklılığı artırmak amacıyla çeşitli protein ve polisakkaritlerle kompozit yapılabilir. Lipitlerin düşük polaritesi sayesinde lipit bazlı film ve kaplamalarda nem transferi daha etkin bir şekilde önenebilmektedir (Candan ve Bağdatlı, 2018).

Yenilebilir film ve kaplamalar, gıda ürünlerinin korunmasında ve kalitesinin artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Su, aroma bileşikleri, antioksidanlar, antimikrobiyal maddeler, pigmentler, esmerleşme reaksiyonlarını durduran iyonlar ve vitaminler gibi birçok bileşeni kendi içinde tutma kapasitesine sahiptirler. Yenilebilir kaplamalar, istenmeyen renk değişimlerini önleyerek gıdaların görünümünü koruyabilmekte, lipid oksidasyonunu engelleyebilmekte, gıdaların tazeliğinin korunmasına yardımcı olabilmektedir. Antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri sayesinde de gıda bozulmalarının önüne geçilebilmekte ve gıda güvenliği sağlanmaktadır, ayrıca gıda ambalaj atıklarının da azalmasına katkı sağlamaktadırlar (Tural vd., 2017). Yenilebilir film ve kaplamaların koruyucu özelliğini geliştirmek için çeşitli antioksidan ve antimikrobiyal maddeler eklenebilmektedir (Temiz ve Yeşilsu, 2006).

Yenilebilir film ve kaplamaların biyolojik olarak bozunur olması gıda ambalajlamasında çevre dostu ve güvenilir alternatifler olarak kabul edilmektedir. Biyolojik olarak parçalanmanın gerçekleşmesi için gerekli olan pH, sıcaklık, oksijen ve zaman gibi faktörlerin uygun bir ortamda bir araya gelmesi gerekmektedir (Temiz ve Yeşilsu, 2006).

1.2 Yenilebilir Filmlerin Gıda Uygulamaları

Gıda güvenliği, özellikle çabuk bozulabilen gıdalarda büyük bir endişe kaynağıdır. Diğer taraftan gıda kaybı hem tüketiciyi hem de üreticiyi yakından ilgilendiren, ülke ekonomisi açısından önemli olan bir diğer konudur. Antimikrobiyal ve antioksidan bileşenler ile zenginleştirilmiş yenilebilir filmler ve kaplamalar, gıda güvenliğini artırmanın ve gıda kaybını azaltmanın etkili bir yolu olarak öne çıkmaktadır. Bu tür kaplamalar, gıda yüzeyine uygulandığında patojenlerin gelişmesini engelleyerek gıda ürünlerini koruyabilmektedir (Ayana ve Turhan, 2010).

Yenilebilir filmler, gıda ürünlerinin yüzeyine ince bir koruyucu tabaka oluşturarak hem oksijen ve nem geçişini kontrol eder hem de dışarıdaki zararlı mikroorganizmaların gıdaya ulaşmasını engellemektedir. Antimikrobiyal ile zenginleştirilmiştir yenilebilir kaplamalar, özellikle çabuk bozulabilen gıdalar için önemli bir koruma sağlamaktadır. Gıda endüstrisinde bu tür uygulamaların yaygınlaşması hem tüketicilerin sağlığını korumak hem de ekonomik kayıpları minimize etmek için büyük önem taşımaktadır (Eser ve Doğruer, 2022).

1.3 Esansiyel Yağların Yenilebilir Filmlerde Kullanımı

Esansiyel yağlar doğal antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri sayesinde gıda güvenliği ve muhafazasında önemli bir rol oynamaktadır. Esansiyel yağlar, bitkiler tarafından sekonder metabolitler olarak üretilen doğal uçucu bileşiklerdir. Bu bileşikler bitkilerin savunma mekanizmasında büyük öneme sahiptir. Birçok esansiyel yağ Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından gıda katkı maddesi olarak kullanımda güvenli kategorisinde (GRAS) kabul edilmektedir. Esansiyel yağların antimikrobiyal dozları, genellikle kabul edilebilir organoleptik seviyenin (tat, koku, doku gibi duyuşal özellikler) üzerine çıkabileceği için kullanımları sınırlı olabilmektedir. Özellikle yüksek konsantrasyonlarda kullanıldıklarında, gıdaların tat ve aromasını olumsuz yönde etkileyebilmektedirler. Esansiyel yağların gıda koruma özellikleri, gıdaların raf ömrünü uzatırken, aynı zamanda doğal ve sağlıklı bir alternatif sunmaktadır (Ertekin, 2020).

Esansiyel yağlar, gıda ambalajlarına entegre edilebilir veya gıdaların yüzeylerine doğrudan uygulanabilir (Karatosun Kuzgun, 2023). Ambalajlarda kullanıldıklarında, bu yağların etken maddelerinin gıdaya kontrollü bir şekilde difüzyonunu sağlamak, gıdaların tat ve aromasını etkilemeden koruyucu etkiler sunabilir. Günümüzde esansiyel yağların gıda ambalajlarında kullanımına ilişkin birçok araştırma bulunmaktadır (Ertekin, 2020).

Cheng ve ark. (2019) çalışmasında, carvacrol esansiyel bileşiğı, β -siklodekstrin ile enkapsüle edilmiş ve sodyum aljinat matrisi içinde dağıtılmıştır. Elde edilen biyokompozit filmin, özellikle antifungal aktivite gösterdiği kanıtlanmıştır. Bu çalışma, esansiyel yağların kontrollü salınımını sağlayarak etkili bir koruma yöntemi sunmuştur. Kodal (2018), mercanköşk ve kekik ilave edilmiş soya protein bazlı yenilebilir filmlerin, taze sığır kıymasının muhafazasında TBA değerlerinin kontrol grubundan daha düşük olduğunu rapor etmiştir (İçöz ve Eker, 2016). Yapılan bir başka çalışmada kekik ve tarçın esansiyel yağlarının zein kullanılarak mikrokapsül hale getirildiğı bir çalışmada, mikrokapsül haldeki esansiyel yağların serbest yağlara göre çevre koşullarına karşı daha dayanıklı olduğu, stabil bir özellik kazandıkları ve gıdadaki diğer bileşenlerle daha az etkileşime girdikleri belirlenmiştir (Gökbulut, 2018).

Altıok ve ark. (2010), kekik yağı ilave edilmiş kitosan esaslı filmler üzerine yaptıkları çalışmada %1,2 oranında kekik yağı içeren kitosan filmler *E. coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *S. aureus*'a karşı

antimikrobiyal etki gösteren konsantrasyon olarak belirlenmiştir (Başyigit vd., 2017). Kitosan içeren filmlere kekik, fesleğen ve anason uçucu yağlarının eklendiği bologna salamlarında kekik esansiyel yağı ilave edilen kitosan filmlerinin *E. coli* ve *Listeria. monocytogenes* gibi patojenlere karşı antimikrobiyal etkisinin diğer uçucu yağlara oranla daha etkili olduğu saptanmıştır. Antimikrobiyal ve antioksidan özelliğindeki timol ve karvakrol kekikte bulunan temel bileşikler arasındadır (Polat Yemiş vd., 2017).

Bu çalışmada tavuk jelatini/kitosan bazlı biyopolimer filmlere aktiflik özelliği kazandırmak amacıyla kekik yağı eklenmiştir. Kekik yağı, polimer solüsyonuna eklenmeden önce β -siklodekstrin kullanılarak enkapsüle edilmiştir.

Kekik esansiyel yağı antioksidan ve antimikrobiyal özellikleriyle yenilebilir film ve kaplamalarda yaygın olarak kullanılan bir bileşendir (Bosnalı ve Özdestan Ocak, 2019).

1.4 Jelatin

Doğal bir polimer olan jelatin, hayvansal dokularda en fazla bulunan protein olan kolajenin kısmi hidrolizi sonucu elde edilmektedir (Kahraman, 2016). Kolajen suda çözünmez özellikte olup büyük oranda deri, kemik, tendon ve kıkırdak dokularda bulunur (Coşkun Topuz ve Boran, 2018).

Jelatin gıda endüstrisinde; tatlı ve şekerlemelerde tekstür geliştirici; fırıncılık ürünlerinde su tutma kapasitesini artırıcı; bira, şarap ve berrak meyve suları gibi içeceklerde berraklaştırıcı, dondurma ve bazı süt ürünlerinde tekstürü geliştirici olarak kullanılmaktadır. Jelatin bazlı yenilebilir film ve kaplamalar jelatinin esnek yapısından yararlanılarak gıda ambalajlamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu film ve kaplamalar gıdaların yüzeyine uygulandığında koruyucu bariyer görevi görerek gıdanın raf ömrünü uzatır ve kalitesini koruma görevi görürler (Coşkun Topuz ve Boran, 2018).

Jelatin üretiminde en yaygın kullanılan kaynak (%46) domuz derisidir. Bunu (%29,4) sığır derisi izlemektedir. Ardından da (%23,1) sığır ve domuz kemikleri gelmektedir. Alternatif kaynaklardan olan balık jelatini ise toplam jelatin üretiminin %1,5'ten az kısmını oluşturmaktadır. Jelatin jellerini protein ve polisakkarit jellerinden ayıran özelliği ısı etkisiyle geri dönüşümlü olmasıdır. Jelatinin ısısal geri dönüşümlü yapısı belirli bir erime sıcaklığına ulaştığında ağızda,

vücut sıcaklığında kolayca eriyerek yumuşak bir doku sağlamaktadır (Erge ve Zorba, 2016).

Jelatin, moleküler olarak yüksek oranda glisin, prolin, alanin ve hidroksiprolin amino asitlerini içermektedir. Kolajenin elde edildiği hayvansal kaynağa bağlı olarak kolajenlerin içerdiği prolin+hidroksiprolin miktarları değişmekte, bu da üretilen jelatinlerin kalitesini etkilemektedir. Yapılan jelatin bazlı film çalışmalarında jelatinin molekül ağırlık dağılımı ve aminoasit kompozisyonunun, filmin bariyer ve mekaniksel özelliklerini önemli seviyede etkilediği belirtilmektedir. Özellikle jelatin yapısında bulunan prolin+hidroksiprolin kompozisyonu ve molekül ağırlığı arttıkça üretilen filmin dayanıklılık ve geçirgenlik özelliklerinin geliştiği bildirilmektedir (Erge ve Zorba, 2016).

Bu çalışmada, kitosan ile birlikte kompozit olacak şekilde ana polimer materyal olarak tavuk jelatini kullanılmıştır. Tavuk jelatini, kanatlı kesimhane artığı olan tavuk mekanik ayrılmış kanatlı eti (MAKE) posasından elde edilmiştir. Literatür incelendiğinde, tavuk jelatininin diğer konvansiyonel jelatinler (sığır ve domuz jelatini) ile karşılaştırıldığında daha yüksek glisin, hidroksiprolin ve prolin içeriğine sahip olduğu bildirilmektedir. Bu aminoasitlerin jelatinin yapısını güçlendirdiği, jel sertliğini ve termal stabilitesini artırdığı bildirilmektedir. Bu bakımdan yapılan çalışmalar, tavuk jelatininin konvansiyonel jelatinlere alternatif olabileceğini göstermektedir (Nik Muhammad vd., 2014).

1.5 Kitosan

Deniz ürünleri endüstrisinde kabuklu deniz ürünleri üretiminde çok fazla atık açığa çıkmaktadır. Son yıllarda atıkların yeniden değerlendirilmesi konusunda farkındalığın artmasıyla birlikte kabuklu deniz atıkları çeşitli kimyasal ve biyolojik yöntemlerle yeniden kullanılabilir hale getirilmektedir. Bu ürünlerin başında kitin ve başlıca türeği olan kitosan gelmektedir. Kitin eklem bacaklıların ana maddesidir. Kitosan birçok fonksiyonel özelliğe sahip polisakkarit bazlı bir biyopolimerdir (Karatosun Kuzgun ve Gürel İnanlı, 2013).

Doğadaki en zengin kitin kaynakları; yengeç, karides, ıstakoz ve kerevit kabuklarıdır. Kitosan, kitinden elde edilen ve asidik solüsyonda çözünme özelliği gösteren bir biyopolimerdir. Kitin; selülozdan sonra doğada en fazla bulunan ikinci yenilenebilir polimerdir. Kitosanın hem çevre dostu hem de yenilebilir olması

büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bu avantajlarla birlikte kitosan; gıda, kozmetik, ambalaj, tıp, kağıt ve tekstil olmak üzere birçok endüstri dalında kullanım alanı bulabilmektedir (Karatosun Kuzgun ve Gürel İnanlı, 2013).

Film oluşturma özelliklerinin iyi olması sebebiyle kitosan filmler, gıdaların ambalajlanmalarında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Kitosan filmlerin dayanıklı, esnek ve kolay yırtılmayan nitelikte olması ve iyi oksijen bariyeri oluşturması diğer polimerlerden ayıran önemli özellikleri arasında gösterilmektedir (Tokatlı ve Demirdöven,2015). Bu çalışmada tavuk jelatini ve kitosan kombinasyonu, polimer materyal olarak kullanılmıştır.



2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Materyal

Çalışmamızda tavuk jelatini üretiminde materyal olarak kanatlı kesimhane artığı olan tavuk mekanik ayrılmış kanatlı eti (MAKE) posası kullanılmıştır. MAKE posaları Beypiliç (Bolu, Türkiye) işletmesinden temin edilmiştir. Posalar, -18°C’de muhafaza edilmek üzere fabrikadan laboratuvara getirilmiştir. Tavuk jelatininin modifikasyonunda kafeik asit ve rutin (Sigma Aldrich, Amerika Birleşik Devletleri) kullanılmıştır. Solüsyonda ikinci polimer olarak kitosan (75-85% deasetillenmiş, 50-190 kDa Sigma Aldrich) kullanılmıştır. Aktif bileşen olarak kekik yağı (Arifoğlu, Türkiye) kullanılmıştır. Aktif bileşeni (kekik yağını) enkapsüle etmek amacıyla β -siklodekstrin (Sigma Aldrich, ABD) kullanılmıştır.

2.2 Yöntem

2.2.1 Tavuk Jelatininin Elde Edilmesi

Tavuk jelatini elde etmek amacıyla daha önce tamamlanmış olan çalışmamız (Erge ve Zorba, 2018) baz alınarak, kanatlı sanayi yan ürünü olan MAKE posasından bazik ortamda tavuk jelatin ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Tavuk MAKE posa örnekleri, demineralizasyon amacıyla %3’lük hidrojen klorür (HCl) çözeltisinde 24 saat 10°C’de bekletilmiştir. Hidroliz işlemi için yıkanıp süzülen posa örnekleri oda sıcaklığında %3’lük sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi içerisinde 24 saat bekletilmiştir. Hidroliz işleminden sonra yıkanıp süzülen posalar ekstrakte işlemi için 82°C’ye ayarlanmış su banyosunda 200 dakika bekletilmiştir. Ekstraksiyon sonrası jelatin solüsyonu polistiren plastik kaplara alınıp 42°C’de 72 saat kurutulmuş ve tavuk jelatini elde edilmiştir.

2.2.2 Polimer Solüsyonunun Hazırlanması

Film solüsyonu, içerisindeki jelatin oranı %3,75 ve kitosan oranı ise %0,75 olarak belirlenmiştir (Jelatin: kitosan- 5:1). Solüsyondaki toplam polimer oranı (jelatin+kitosan) ise sabit ve %4,5 olarak belirlenmiştir. Bu kombinasyon oranlarına daha önce yapılmış olan ön denemeler neticesinde karar verilmiştir. Öncelikle %1 oranındaki kitosan solüsyonu bir gece önce tartılarak %1’lik asetik asit çözeltisi içerisinde hazırlanmış ve oda sıcaklığında bir gece bekletilmiştir. Diğer taraftan ayrı bir yerde jelatin solüsyonu hazırlanmıştır. Tartılan tavuk jelatini,

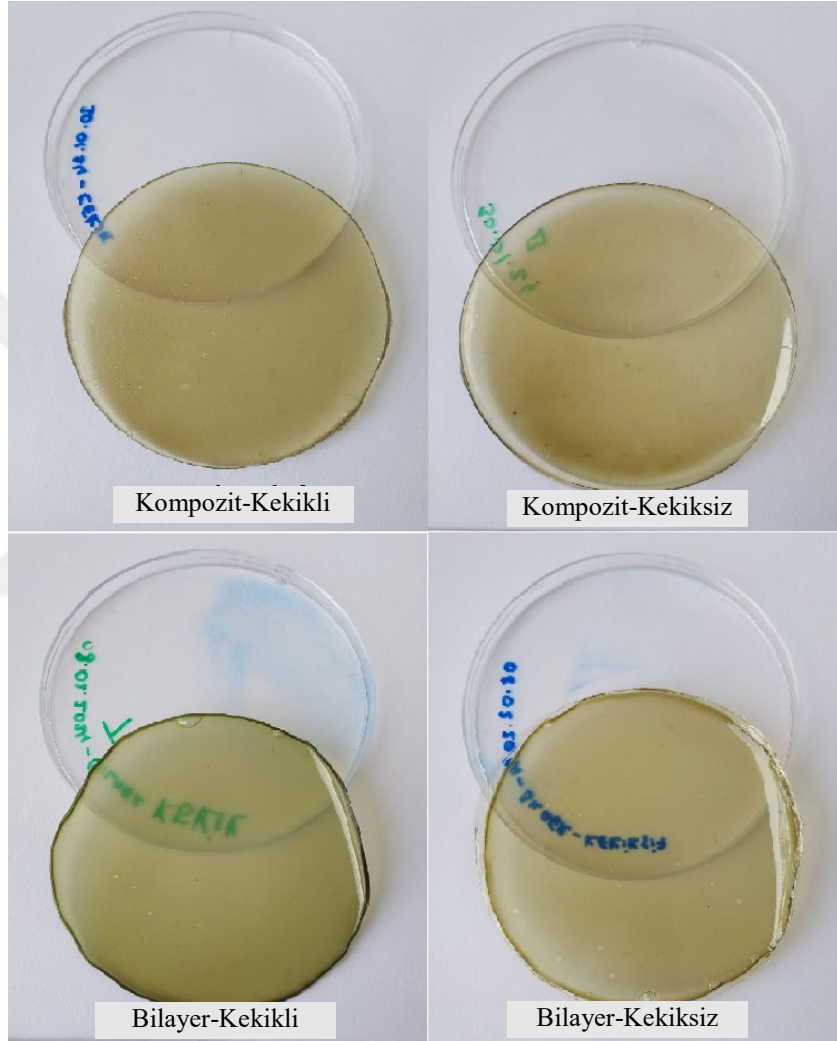
saf su içerisinde oda sıcaklığında bir saat bekletilmiş ve daha sonra 55° C’de 30 dakika su banyosunda (Weightlab Instruments, Türkiye) bekletilerek çözünmesi sağlanmıştır. Bu şekilde hazırlanan jelatin solüsyonu pH’sı 1 M NaOH çözeltisi kullanılarak pH 9’a getirilmiştir. Bu çalışmada jelatin/kitosan film kombinasyonuna aktiflik özelliği kazandırmak amacıyla kekik yağı eklenmiştir. Bu amaçla kekik yağı öncelikle β -siklodekstrin kullanılarak enkapsüle edilmiştir. Bu amaçla önce %10’luk β -siklodekstrin sulu çözeltisi hazırlanmıştır. Bunun için 10 g β -siklodekstrin 100 mL etanol/saf su (1:2) karışımında 55°C’de çözülerek hazırlanmıştır (Mallardo vd., 2016). Daha sonra kekik yağı bu solüsyona 2:1 oranında eklenmiştir (kekik yağı/ β -siklodekstrin). Bu solüsyon 12 saat 300 rpm’de karıştırılıp soğutucuya alınmıştır (4°C). 12 saat sonunda çökelti süzülerek alınmış ve 38°C’de etüvde kurutularak mikro kapsüller elde edilmiştir (Aytac ve Uyar, 2017). Bu çalışmada tavuk jelatinini modifiye etmek amacıyla doğal fenolik bileşikler olan kafeik asit ve rutin kullanılarak çapraz bağ işlemi uygulanmıştır. Bunun için %1’lik kafeik asit ve rutin stok çözeltileri hazırlanmıştır. Çapraz bağ işlemi öncesinde, jelatin solüsyonu içerisine kafeik asit ve rutin stok çözeltilerinden belirli miktarlarda eklenmiştir. Bu işlem, jelatin solüsyonu içerisinde kafeik asit ve rutin oranları %0,5 (toplam jelatin bazında) olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, kafeik asit ve rutin eklenen jelatin solüsyonu, çapraz bağ işlemi için su banyosunda 52,5°C’de 50 dakika bekletilmiş, bu süreçte solüsyon içerisine oksijen verilmiştir. Bu amaçla bir oksijen üreticisi (Hikoneb Oxy Breath, Türkiye) kullanılmıştır. Çapraz bağ işleminden sonra jelatin solüsyonuna plastikleştirici olarak %35 oranında gliserol (toplam polimer oranına göre) gliserol, %1,5 oranında kekik yağı mikrokapsülü ve hazırlanmış olan kitosan solüsyonu eklenmiştir.

Bu şekilde hazırlanan Tavuk jelatini/Kitosan bazlı film solüsyonları 60 °C’de 30 dakika manyetik karıştırıcıda karıştırılarak %4,5 toplam polimer oranı olacak şekilde homojen bir kompozit film solüsyonu elde edilmiştir. Nihayetinde hazırlanan kompozit film solüsyonu 9 cm çapındaki petri kaplarına 20 mL olarak dökülmüştür.

Bilayer (iki katmanlı) hazırlanan filmler için ise yukarıda belirtilen şekilde hazırlanan jelatin ve kitosan çözeltileri petri kaplarına ayrı ayrı ve iki katman olacak şekilde dökülmüştür. Bunun için öncelikle jelatin çözeltisi 10 mL olarak döküldükten sonra 12 saat oda sıcaklığında bekletilmiş ve üzerine kitosan çözeltisi 10 mL ikinci katman olarak dökülmüştür. Aktif ambalaj olarak üretilen bilayer

filmlerde β -siklodekstrin/kekik yağı mikro kapsülü, gıdaya temas eden yüzey olan jelatin katmanına eklenmiştir.

Petri kapları 38°C’de fanlı etüvde 48 saat süresince kurutmaya tabi tutulmuştur. Kurutulan filmler, petrilere ayrılarak kilitli poşet içerisinde muhafaza edilmiştir. Elde edilen film görüntüleri aşağıda **Fotoğraf 2.1**’de gösterilmiştir.



Fotoğraf 2.1. Elde edilen film görüntüleri.

2.2.3 Elde Edilen Ambalaj Materyali ile Gıda Muhafaza Uygulaması

Bu çalışmada elde edilen tavuk jelatini/kitosan temelli aktif ambalaj materyalleri, polistiren kaplar içerisine tartılarak konan tavuk göğüs etleri üzerine sızdırmaz bir şekilde kaplanmıştır. Bu şekilde hazırlanan tavuk göğüs etleri, 12 gün boyunca muhafaza edilmiştir. Üzeri film ile kaplanmamış (ambalajsız) tavuk eti

örnekleri, kontrol örneği olarak değerlendirilmiştir. Muhafaza özellikleri olarak tavuk etlerinde lipit oksidasyonu analizleri (TBARS analizleri) yapılmıştır. Polistiren numune kaplarına standart ölçülerde hazırlanan tavuk göğüs etleri yaklaşık 30 g olacak şekilde tartılarak konulmuştur (**Fotoğraf 2.2**) ve kapların üzeri çalışmada elde edilen ambalaj filmiyle hava geçirmeyecek şekilde kaplanmıştır, kontrol örneğinin ise üzeri açık bırakılıp herhangi bir filmle kaplanmamıştır. Bunun için güçlü bir yapıştırıcı olan Derby 100 kullanılmıştır. Hazırlanan tavuk eti örnekleri, 12 gün süreyle 4°C’de muhafaza edilmiştir. Muhafaza edilen tavuk etlerinde TBARS analizleri 0., 3., 6, 9 ve 12. günlerde yapılmıştır (Takma Konuk ve Korel, 2019).



Fotoğraf 2.2. Elde edilen filmlerin tavuk eti muhafazasında kullanımı.

2.2.4 Filmlerde Kalınlık ve Nem Ölçümleri

Elde edilen filmlerin kalınlıkları 10 farklı noktadan olacak şekilde 0,001 mm hassasiyetinde mikrometre ile ölçülmüştür (Farris vd., 2009). Filmlerin nem oranları etüvde 105°C’de film örneklerinin, sabit ağırlığa ulaşana kadar kurutulması sonucunda elde edilmiştir (Ceylan, 2022).

2.2.5 Filmlerin Işık Geçirgenlik Özelliklerinin Belirlenmesi

Film örnekleri dikdörtgen şeklinde kesilip, UV spektrofotometre test ölçüm kabının bir yüzüne yerleştirilmiştir. Referans olarak ise boş test tüpü kullanılmıştır. Filmlerin ışık geçirgenlik özellikleri, 690-200 nm dalga boyu aralığındaki absorbans ölçümlerine göre değerlendirilmiştir. Işık geçirgenlik değeri aşağıdaki

formüle göre belirlenmiştir (Núñez-Flores vd., 2013). Ölçümler üç tekrarlı olarak yapılmıştır.

$$O = \frac{Abs \times 600}{X}$$

*600 nm dalga boyundaki absorbands değeri, X ise film kalınlığı (mm) olarak değerlendirilmiştir.

2.2.6 Filmlerin Suda Çözünürlük Özelliklerinin Belirlenmesi

Suda çözünürlük, suda 24 saat boyunca bekletilen filmin kuru maddesinin yüzde olarak ifade edilmesi şeklinde tanımlanmaktadır. 103°C'de 24 saat kurutulan örnekler tartılmış ve başlangıç ağırlığı olarak belirlenmiştir (So). Tartılmış örneklerle 30 mL destile su ilave edilerek 25°C'de periyodik olarak karıştırılmıştır. Suda çözünmeyen kısım da filtre edilerek, kurutulmuş ve tartılmıştır (S₁). Deneme 3 paralelli olarak yapılmıştır. Hesaplama aşağıdaki denklemdeki gibidir (Nair vd., 2011).

$$\text{Çözünürlük (\%)} = \frac{(S_0 - S_1)}{S_0} \times 100$$

2.2.7 Su Buharı Geçirgenliği (SBG)

Su buharı geçirgenlik (SBG) analizi, standart ASTM (Amerikan Standart Test Metotları) E96-80 metoduna göre yapılmıştır. Bu yöntemle göre film örnekleri 25°C'de %30 nispi nem ortamında 72 saat bekletilmiştir. Daha sonra filmler 1 g silika (%0 bağıl neme sahip) konulan 25 mL'lik erlenin ağız kısmına yerleştirilmiş ve erimiş parafin ile kenarları tamamen kaplanarak desikatöre yerleştirilmiştir. Ayrıca desikatör içerisine de %98±2 bağıl neme sahip 25°C distile su konulmuştur. 24 saatlik analiz süresince 25±0,5°C'de bekletilen örnekler, birer saatlik periyotlar içerisinde tartılmıştır. Tartımlar 0,0001 g duyarlılıkta hassasiyete sahip terazi ile yapılmıştır. Her bir film için üç paralelli çalışma yapılmıştır. Analiz öncesinde slika 180°C'de 3 saat kurutulmuştur (Wu vd., 2018). Hesaplamalar için ağırlık-zaman grafiğinin lineer olduğu bölge (R₂≥0,98)'de denklem aşağıdaki eşitliğe göre yapılmıştır.

$$SBG = \frac{\Delta Md}{At\Delta P}$$

$$\Delta P = S (R1 - R2)$$

* Δm : Filmin kazanmış olduğu ağırlık miktarı (g), d: Filmin kalınlığı (mm), A: Film geçirgenlik alanı (mm²), t: Analiz süresi (sn), ΔP : Filmin iki tarafı arasındaki basınç farkı (Pa), R1: Desikatör ortamının bağıl nemi, R2: Erlenin (silika) iç ortamının bağıl nemi (%0), S: Suyun kullanılan sıcaklıktaki doymuş buhar basıncı, SBG: Su buhar geçirgenliğini (gm⁻¹s⁻¹Pa⁻¹) ifade etmektedir.

2.2.8 Filmlerin Mekaniksel Özelliklerinin Ölçümleri

Filmlerin mekaniksel özellikleri, standart D 882 ASTM metoduna göre Tekstür Analiz Cihazında oda sıcaklığında, A/TG germe probu kullanılarak yapılmıştır. Filmler 10x60 mm ölçülerinde kesilerek %53'lük bağıl nem ortamında 48 saat süre ile dengeye getirilmiştir. Ölçümler 40 mm başlangıç kavrama boşluğu ve 0,5 mm/s germe hızı ile yapılmıştır. Uygulanan güç (N) ve deformasyon (mm) ölçümleri kaydedilmiştir. Daha sonra gerilme direnci (Tensile strength- TS) ve uzayabilirlik (Elongation at break-EB) değerleri aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır (Liu vd., 2016). Bu işlem Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi YENİGIDAM Laboratuvarında hizmet alımı yoluyla gerçekleştirilmiştir.

$$TS (MPa) = \frac{\text{Maksimum Kuvvet (N)}}{\text{Film Kalınlığı (mm)}} \times \text{Film Genişliği (mm)} \quad (1)$$

$$EB\% = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100 \quad (2)$$

* L_0 filmin ilk uzunluğu, L ise filmin kopma anındaki uzunluğudur.

Filmlerde delinme direnci (Puncture Strength- PS) ve delinme mesafesi (Distance at Puncture- DP) ölçümleri için ucu yuvarlak sivri bir prob kullanılarak 5,6 cm çapındaki film örneğinde delinme noktasındaki direnç ve delinme noktasına kadar olan esneme mesafesi ölçülmüştür. Prob delme hızı 60 mm/dak olarak belirlenmiştir. Delinme direnci “g” ve delinme mesafesi ise “mm” olarak ifade edilmiştir (Choi vd., 2018).

2.2.9 Filmlerin Renk Özelliklerinin Belirlenmesi

Renk analizinde jelatin filmleri renk değerleri (L*, a* ve b*), CIE (International Commission on Illumination) renk ölçüm sistemine göre Minolta CR-400 (Osaka, Japonya) reflektans kolorimetresi kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümden önce cihaz beyaz plakaya karşı kalibre edilmiştir. L*: parlaklık, a*: (+) ise kırmızı, (-) ise yeşil, b*: (+) ise sarı, (-) ise mavi koordinatlarını göstermektedir. Her bir paralelde en az iki okuma yapılmış ve ortalaması alınmıştır (Erge ve Zorba, 2018).

2.2.10 Film Mikroyapılarının SEM (Scanning Electron Microscopy) Yöntemiyle Görüntülenmesi

Kurutulmuş olan film örnekleri bronz örnek tutucuya sabitlendikten sonra altınla kaplanmıştır. Altın kaplanmış olan örneklerin mikro yapısı, SEM (Scanning Electron Microscopy) cihazında 20 kV hızlandırılmış voltajda gözlenmiştir (Erge ve Zorba, 2018). Bu işlem Düzce Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında hizmet alımı yoluyla gerçekleştirilmiştir.

2.2.11 Muhafaza Sonrasında Tavuk Etlerinde Yapılan Analizler

Tiyobarbutirik Asit Reaktif Madde (TBARS) analizi için, tavuk örneğinden 5 g tartılarak üzerine 25 ml saf su eklenerek 2 dakika homojenize edilmiştir. Daha sonra üzerine 23,75 mL saf su eklendikten sonra homojenat cam balona aktarılmış ve üzerine 1,25 ml HCl çözeltisi (%37'lik HCl: saf su; 1:2) eklenmiştir. Malonaldehitin uçurulabilmesi için ısıtıcı üzerine konulmuş ve soğutuculu cam tüp bağlantısı yapılarak 5 dakika süresince distilasyon yapılmıştır. Kapaklı tüplerde 2,5 ml distilat alınarak üzerine 2,5 mL 0,02 N 2-tiyobarbutirik asit ayracından (0,288 g 2-tiyobarbutirik asit 100 ml %90'lık glasiyel asetik asit içerisinde) ilave edilmiştir. Tüpler su banyosunda 45 dakika kaynatıldıktan sonra, soğutulup spektrofotometrede 538 nm'de absorbans değerleri belirlenmiştir (Gökalp vd., 2010).

$$TBARS \text{ değeri} = \frac{MA \text{ (mg)}}{\text{örnek (kg)}} \times 7,8$$

* A: 538 nm'deki absorbans değeri, MA: Malonaldehit.

2.2.12 İstatiksel Analizler

Analizler 3 paralelli olarak yapılmıştır. Yapılan testlerden elde edilen sonuçlar SPSS 17 istatistik analiz yazılımı (SPSS Inc., Chicago, IL) kullanılarak tek yönlü varyans analizi (One way ANOVA) ile değerlendirilmiş ve ortalama değerler %95 güven düzeyinde Tukey post-hoc testi ile karşılaştırılmıştır.



3. BULGULAR

3.1 Değişkenlerin Film Kalınlıkları Üzerine Etkisi

Faktörlerin film kalınlıkları üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 3.1. de verilmiştir.

Tablo 3. 1. Film kalınlık ve nem değerleri.

	Kalınlık (mm)	Nem (%)
Kompozit-Kekikli	0,188 ± 0,02 ^a	7,04 ± 0,13 ^b
Kompozit-Kekiksiz	0,155 ± 0,02 ^c	11,04 ± 1,48 ^a
Bilayer-Kekikli	0,173 ± 0,02 ^b	9,24 ± 1,37 ^{ab}
Bilayer-Kekiksiz	0,134 ± 0,03 ^d	11,06 ± 3,89 ^a

a-b: Aynı sütundaki farklı üstel harflere sahip değerler arasındaki fark önemlidir (p<0.05)

Film örneklerinin kalınlıkları 0,134 ile 0,188 mm arasındadır. En yüksek kalınlık değerinin Kompozit-Kekikli örneklerinde, en düşük kalınlığın ise Bilayer-Kekiksiz örneklerinde olduğu görülmüştür (p<0.05).

Film örneklerinin nem değerleri %7,04 ile %11,06 arasındadır. Kompozit-Kekiksiz ve Bilayer-Kekiksiz örneklerinin nem değerlerinin diğer örneklere göre daha yüksek olduğu (p<0.05) tespit edilmiştir.

3.2 Değişkenlerin Renk ve Işık Geçirgenlik (Opaklık) Özellikleri Üzerine Etkisi

Faktörlerin film opaklık özellikleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 3.2. de verilmiştir.

Tablo 3.2. Film renk ve opaklık değerleri.

	L*	a*	b*	Opaklık
Kompozit-Kekikli	68,02 ± 2,41 ^b	2,00 ± 1,97 ^a	23,65 ± 3,58 ^a	2,09 ± 0,22 ^a
Kompozit-Kekiksiz	70,92 ± 1,74 ^a	1,62 ± 1,95 ^a	24,51 ± 3,83 ^a	1,60 ± 0,12 ^b
Bilayer-Kekikli	65,31 ± 1,77 ^c	-2,62 ± 0,27 ^c	17,73 ± 1,16 ^b	2,02 ± 0,48 ^a

Tablo 3.2. (devam). Film renk ve opaklık değerleri.

Bilayer-Kekiksiz	68,81 ± 1,28 ^{ab}	-1,08 ± 0,22 ^b	19,60 ± 1,28 ^b	2,17 ± 0,54 ^a
-------------------------	----------------------------	---------------------------	---------------------------	--------------------------

a-b: Aynı sütundaki farklı üstel harflere sahip değerler arasındaki fark önemlidir (p<0.05)

L* (parlaklık) değerleri bakımından en yüksek parlaklık değerinin Kompozit-Kekiksiz örneğinde, en düşük parlaklık değerinin ise Bilayer-Kekikli örneğinde olduğu görülmüştür (p<0.05). a* değerleri bakımından en yüksek a* değerinin Kompozit-Kekiksiz ve Kompozit-Kekikli örneklerinde, en düşük a* değerinin ise Bilayer-Kekikli örneğinde olduğu gözlenmiştir (p<0.05). Burada film üretim metodunun film a* değerini etkilediği görülmektedir. Kompozit uygulamanın kırmızılığı artırdığı, diğer taraftan bilayer uygulamanın ise yeşil rengi artırdığı ifade edilebilir. b* değerleri bakımından en yüksek b* değerinin Kompozit-Kekiksiz ve Kompozit-Kekikli örneklerinde olduğu görülmüştür (p<0.05). Burada kompozit uygulamanın sarılığı artırdığı ifade edilebilir. Opaklık değerleri bakımından Kompozit-Kekikli, Bilayer-Kekikli ve Bilayer-Kekiksiz örnekleri arasında istatistiksel bir farklılık olmadığı görülmüştür (p>0.05). Ayrıca Kompozit-Kekiksiz örneğinin diğerlerine kıyasla daha düşük olduğu gözlenmiştir (p<0.05).

3.3 Değişkenlerin Suda Çözünürlük Değerleri Üzerine Etkisi

Faktörlerin film suda çözünürlük değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 3.3. de verilmiştir.

Tablo 3.3. Suda çözünürlük değerleri.

	Suda Çözünürlük (%)
Kompozit-Kekikli	37,00 ± 0,81 ^a
Kompozit-Kekiksiz	29,25 ± 1,5 ^b
Bilayer-Kekikli	35,75 ± 3,30 ^a
Bilayer-Kekiksiz	26,75 ± 3,40 ^b

a-b: Aynı sütundaki farklı üstel harflere sahip değerler arasındaki fark önemlidir (p<0.05)

Suda çözünürlük oranı, ambalaj filmlerinin suya olan dayanımı ve bütünlüğünü ifade eden bir göstergedir (Yavari Maroufi vd., 2021). Bu çalışmada suda Çözünürlük değerleri bakımından Kompozit-Kekikli ve Bilayer-Kekikli

örneklerinin suda çözünürlük değerlerinin diğer filmlere kıyasla daha yüksek olduğu gözlenmiştir ($p<0.05$).

3.4 Değişkenlerin Filmlerde Su Buharı Geçirgenliği Değerleri Üzerine

Etkisi

Faktörlerin film su buharı geçirgenliği değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 3.4. de verilmiştir.

Tablo 3.4. Su buharı geçirgenliği değerleri.

	Su buharı geçirgenliği (g.mm/h.m ² .kPa)
Kompozit-Kekikli	0,0037±0,0002 ^a
Kompozit-Kekiksiz	0,0034±0,0005 ^{ab}
Bilayer-Kekikli	0,0029±0,0003 ^{bc}
Bilayer-Kekiksiz	0,0023±0,0002 ^c

a-b: Aynı sütundaki farklı üstel harflere sahip değerler arasındaki fark önemlidir ($p<0.05$)

Su buharı geçirgenliği, gıdanın organoleptik özelliklerini koruması ve raf ömrünü uzatması bakımından çok önemli bir ambalaj kalite kriteridir. Etkin bir ambalaj materyali ile gıda ile dış çevre arasındaki nem transferini önlemek veya azaltmak mümkün olabilir (Haghighi vd., 2019). Bu çalışmada su buharı geçirgenliği değerleri bakımından en yüksek geçirgenlik değerinin Kompozit-Kekikli örneğinde, en düşük geçirgenlik değerinin ise Bilayer-Kekiksiz örneğinde olduğu görülmüştür ($p<0.05$).

3.5 Değişkenlerin Film Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi

Faktörlerin film mekanik özellikleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 3.5. de verilmiştir.

Tablo 3.5. Film mekanik özellikleri.

	Gerilme Direnci (GD) (MPa)	Kopma Uzaması (KU) (%)	Delinme Direnci (DD) (g)	Delinme Mesafesi (DM) (mm)
Kompozit-Kekikli	15,075 ± 1,96 ^b	261,23 ± 35,01 ^a	3982,83 ± 543,4 ^a	12,13 ± 0,75 ^a

Tablo 3.5. (devam). Film mekanik özellikleri.

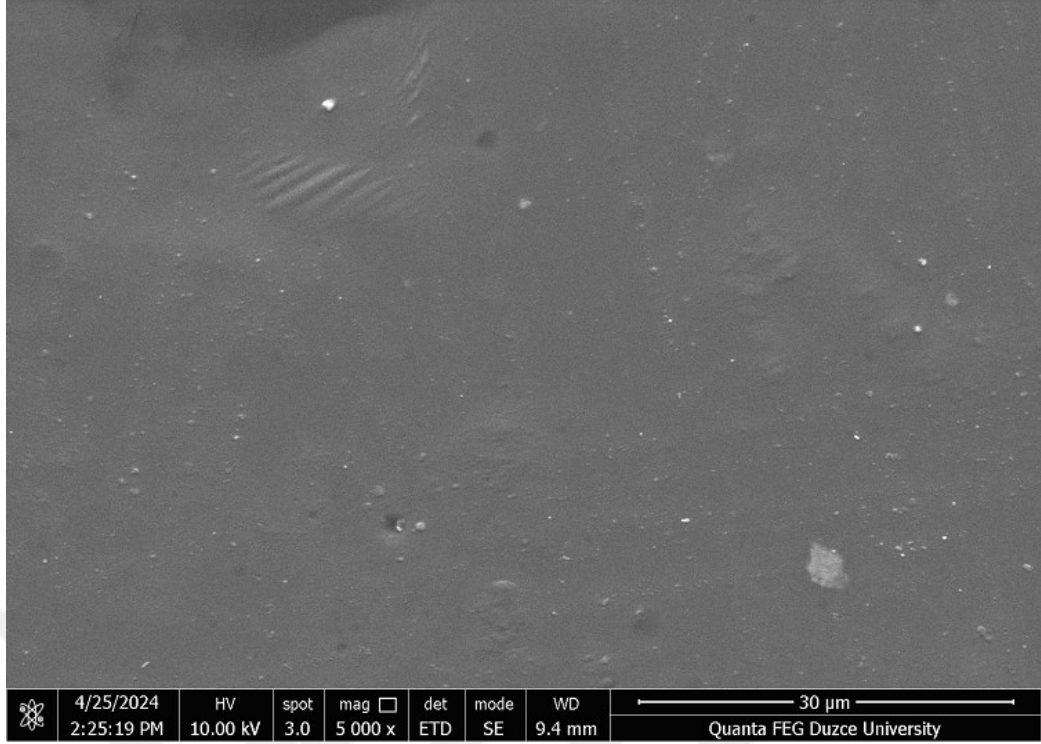
Kompozit- Kekiksiz	7,99 ± 1,003 ^c	247,74 ± 9,49 ^a	3283,09 ± 388,85 ^a	10,40 ± 1,38 ^{ab}
Bilayer- Kekikli	14,23 ± 1,80 ^{bc}	248,94 ± 20,75 ^a	3525,67 ± 679,02 ^a	9,07 ± 1,01 ^b
Bilayer- Kekiksiz	22,034 ± 9,08 ^a	246,63 ± 22,96 ^a	3190,26 ± 929,69 ^a	8,72 ± 1,62 ^b

a-b: Aynı sütundaki farklı üstel harflere sahip değerler arasındaki fark önemlidir (p<0.05)

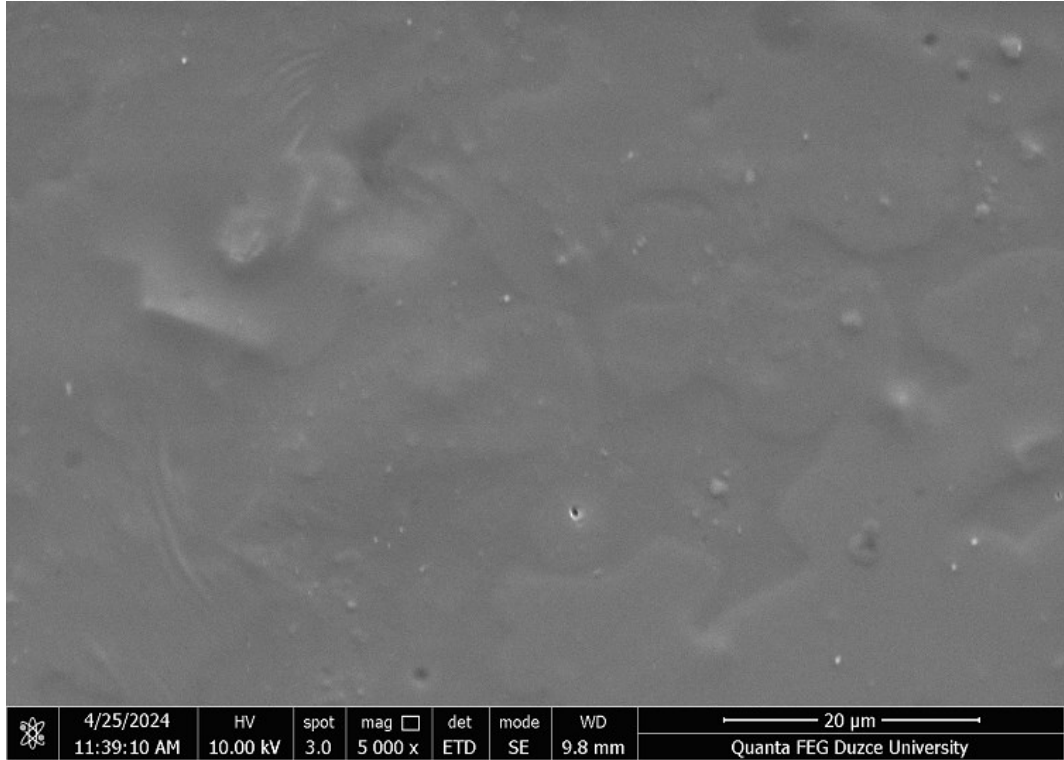
Ambalaj filmlerinin mekanik özellikleri, filmin bütünlüğünü koruma yeteneklerini göstermekte ve taşıma-depolama gibi işlemler sırasında dış strese dayanımının bir ifadesi olmaktadır (Haghighi, vd., 2019). Bu çalışmada gerilme direnci değerleri bakımından en yüksek gerilme direnci değerinin Bilayer-Kekiksiz örneğinde, en düşük gerilme direnci değerinin ise Kompozit-Kekiksiz örneğinde olduğu görülmüştür (p<0.05). Kopma, uzama ve delinme direnci değerleri bakımından örnekler arasında istatistiksel olarak bir farklılık görülmemiştir (p>0.05). Delinme mesafesi değerleri bakımından en yüksek değerin Kompozit-Kekikli örneğinde olduğu görülmüştür (p<0.05).

3.6 Değişkenlerin Filmlerin Mikroyapı Özellikleri Üzerine Etkisi

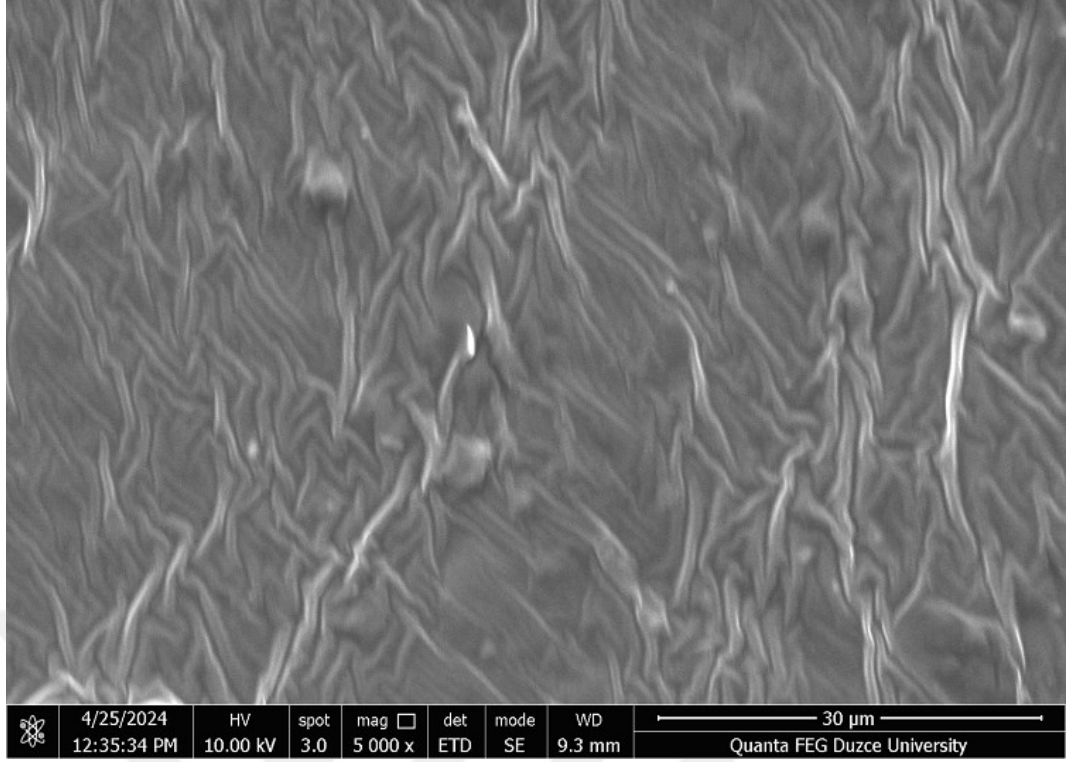
Altın kaplanmış olan film örneklerinin mikroyapısı, SEM (Scanning Electron Microscopy) cihazında 20 kV hızlandırılmış voltajda gözlenmiştir. Bazı kombinasyonlara ait SEM görüntüleri aşağıdaki gibidir.



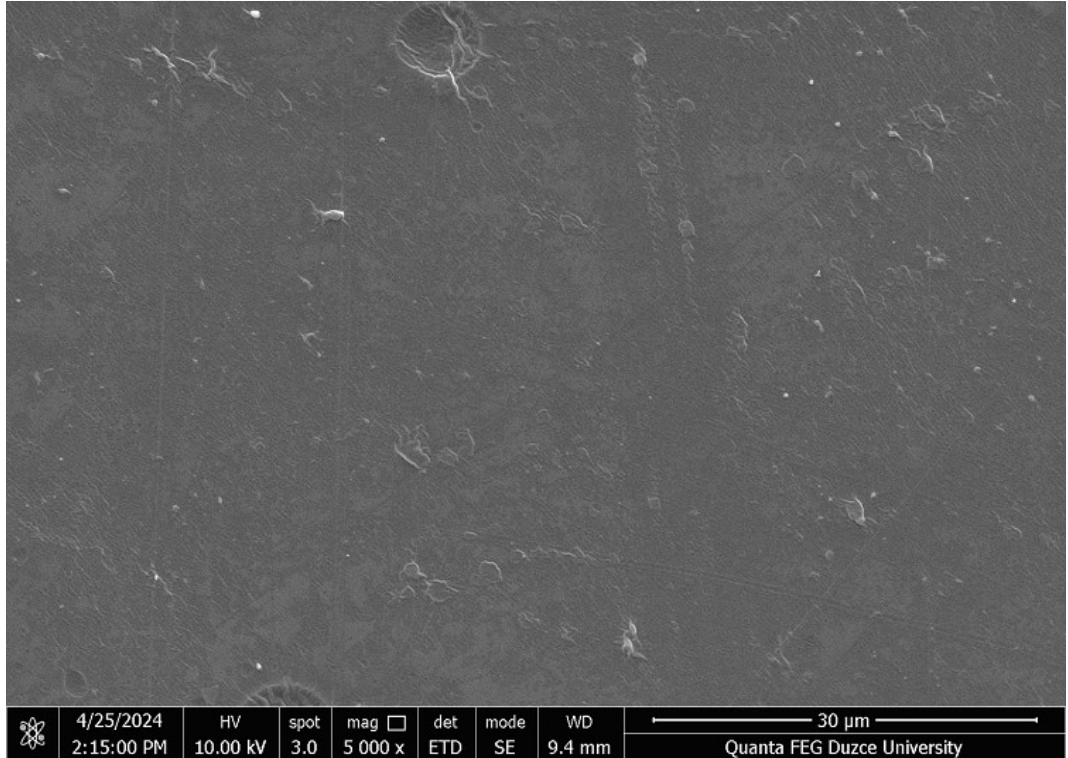
Şekil 3.1. Kompozit-kekiksiz film kombinasyonuna ait SEM görüntüsü.



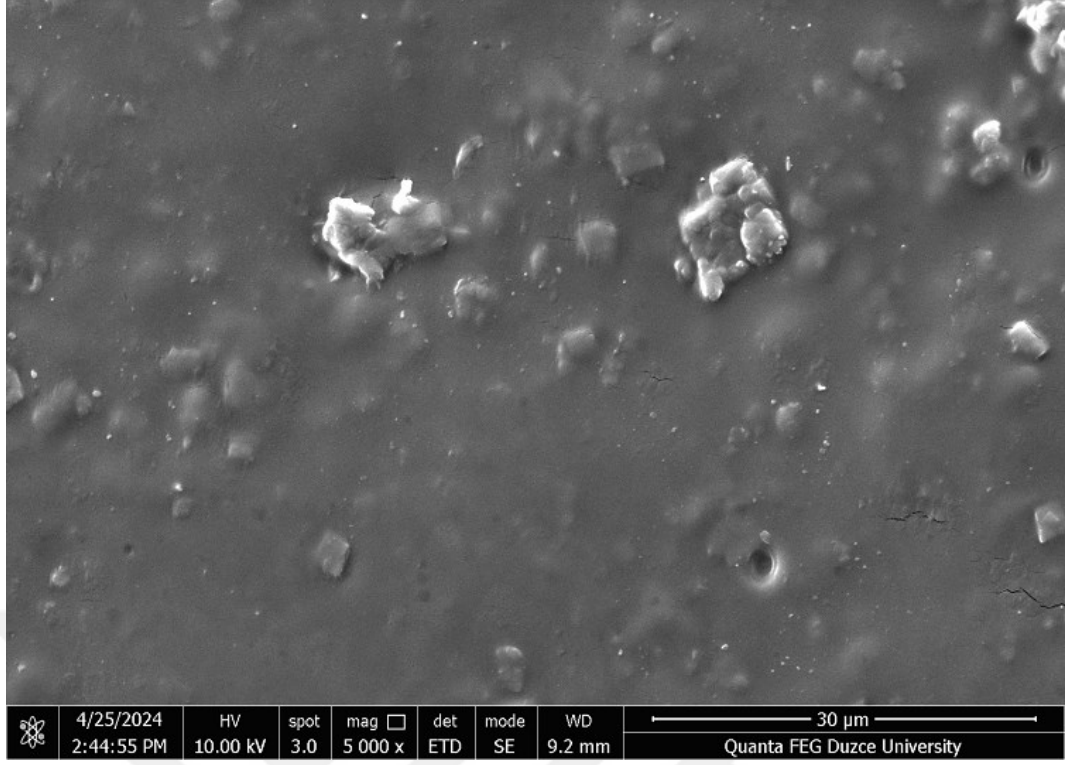
Şekil 3.2. Kompozit-kekikli film kombinasyonuna ait SEM görüntüsü.



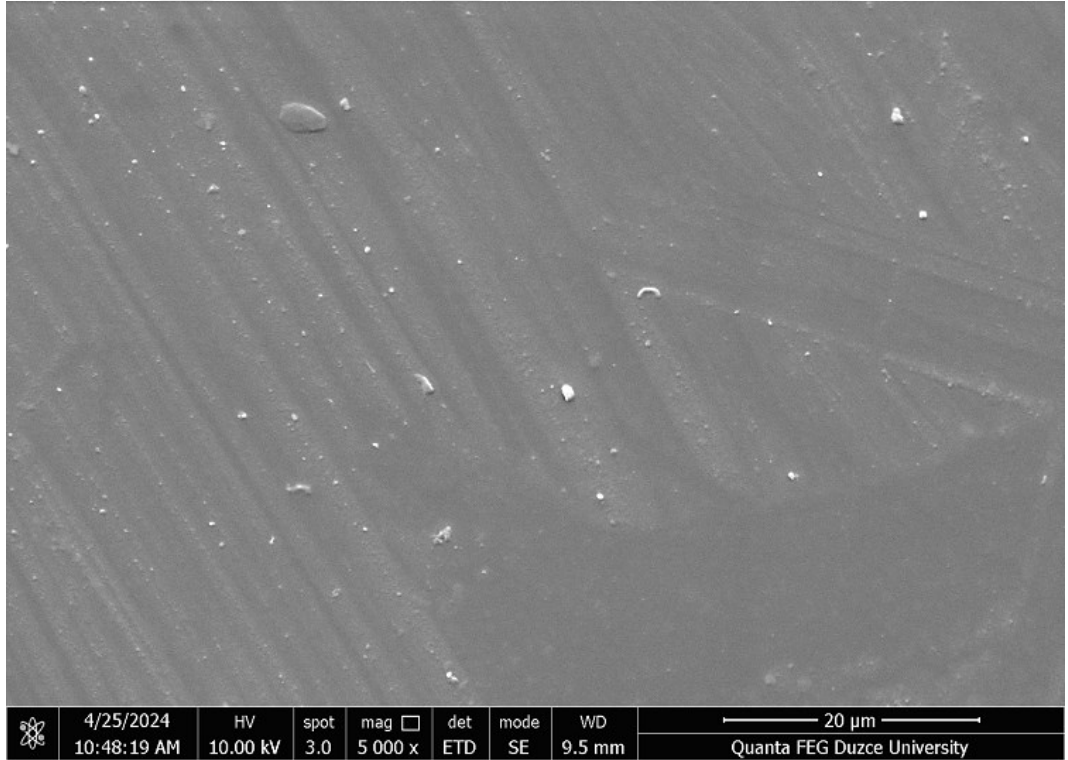
Şekil 3.3a. Bilayer-kekiksiz-Jelatin yüzeyine ait SEM görüntüsü.



Şekil 3.3b. Bilayer-kekiksiz-Kitosan yüzeyine ait SEM görüntüsü.



Şekil 3.4a. Bilayer-kekikli-Jelatin yüzeyine ait SEM görüntüsü.



Şekil 3.4b. Bilayer-kekikli-Kitosan yüzeyine ait SEM görüntüsü.

Filmlerde mikroyapı özellikleri, filmi oluşturan bileşenler arasındaki uyumu ve birbiri ile karışma durumunu gösteren önemli bir parametredir. Dolayısıyla film

mikroyapı özellikleri, sonuçta filme ait fiziksel, mekanik ve geçirgenlik özelliklerini etkilemektedir (Haghighi vd., 2019).

3.7 Muhafaza Sonrası Analizler Sonuçları

3.7.1 Muhafaza Süreci Ağırlık Kaybı Sonuçları

Faktörlerin tavuk eti ağırlık kaybı değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 3.7.1. de verilmiştir.

Tablo 3.7.1 Muhafaza süresince ağırlık kaybı değerleri (g).

	3. Gün	6. Gün	9. Gün	12. Gün
Kompozit-Kekikli	2,35 ± 0,14 ^{bd}	3,59 ± 0,78 ^{bc}	6,14 ± 0,07 ^{bcB}	7,25± 0,53 ^{cA}
Kompozit-Kekiksiz	2,77 ± 0,22 ^{abC}	3,41 ± 0,27 ^{bc}	4,94 ± 0,90 ^{cB}	6,46±0,82 ^{cA}
Bilayer-Kekikli	2,46 ± 0,04 ^{abD}	4,58 ± 0,48 ^{abC}	7,35± 0,58 ^{bB}	9,5± 0,2 ^{bA}
Bilayer-Kekiksiz	2,51 ± 0,09 ^{abD}	4,30 ± 0,04 ^{abC}	7,29± 0,56 ^{bB}	9,22± 0,78 ^{bA}
Kontrol	3,12 ± 0,49 ^{aD}	6,60 ± 0,63 ^{aC}	9,43± 0,48 ^{aB}	11,21± 1,04 ^{aA}

a-b: Aynı sütundaki farklı üstel küçük harflere sahip değerler arasındaki fark önemlidir (p<0.05)

A-B: Aynı satırdaki farklı üstel büyük harflere sahip değerler arasındaki fark önemlidir (p<0.05)

3., 6., 9 ve 12. gün muhafazası sonucunda en yüksek ağırlık kaybının kontrol örneğinde olduğu görülmüştür (p<0.05). 3. gün muhafazası sonucunda en düşük ağırlık kaybının Kompozit-Kekikli örneğinde; 6. gün muhafazası sonucunda en düşük ağırlık kaybının Kompozit-Kekikli ve Kompozit-Kekiksiz örneklerinde; 9. gün muhafazası sonucunda en düşük ağırlık kaybının Kompozit-Kekiksiz örneğinde; 12. gün muhafazası sonucunda en düşük ağırlık kaybının ise Kompozit-Kekikli ve Kompozit-Kekiksiz örneklerinde olduğu görülmüştür (p<0.05).

Muhafaza yapılan günler kendi içlerinde kıyaslandığında muhafaza günü arttıkça ağırlık kayıplarının da doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür (p<0.05).

3.7.2 Muhafaza Sürecindeki Tiyoarbutirik Asit Reaktif Madde (TBARS) Değişimi

Faktörlerin tavuk eti TBARS değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 3.7.2. de verilmiştir.

Tablo 3.7.2 Muhafaza süresince TBARS değerleri (mg MA/kg).

	3. Gün	6. Gün	9. Gün	12. Gün
Kompozit-Kekikli	0,390 ± 0,04 ^{cBC}	0,433 ± 0,005 ^{abA}	0,382 ± 0,48 ^{bc}	0,393± 0,005 ^{bB}
Kompozit-Kekiksiz	0,429 ± 0,08 ^{abB}	0,464 ± 0,16 ^{ba}	0,398 ± 0,53 ^{bc}	0,413±0,011 ^{bBC}
Bilayer-Kekikli	0,425 ± 0,01 ^{bB}	0,456 ± 0,005 ^{abA}	0,390± 0,82 ^{bc}	0,413± 0,02 ^{bBC}
Bilayer-Kekiksiz	0,390 ± 0,09 ^{cAB}	0,421 ± 0,021 ^{bcA}	0,374± 0,12 ^{bB}	0,425± 0,027 ^{ba}
Kontrol	0,452 ± 0,08 ^{aB}	0,402 ± 0,005 ^{cD}	0,425± 0,22 ^{aC}	0,475± 0,054 ^{aA}

a-b: Aynı sütundaki farklı üstel küçük harflere sahip değerler arasındaki fark önemlidir ($p<0.05$)

A-B: Aynı satırdaki farklı üstel büyük harflere sahip değerler arasındaki fark önemlidir ($p<0.05$)

3. gün muhafazası sonucunda en yüksek TBARS değerinin Kontrol örneğinde, en düşük TBARS değerinin ise Kompozit-Kekikli ve Bilayer-Kekiksiz örneklerinde olduğu ($p<0.05$) görülmüştür. 6. gün muhafazası sonucunda en düşük TBARS değerinin Kontrol örneğinde olduğu ($p<0.05$), buna karşın diğer örneklerde TBARS değerleri bakımından istatistiksel bir farklılık olmadığı görülmüştür ($p>0.05$). 9 ve 12. gün muhafazaları sonucunda Kontrol örneğinin, diğerlerine kıyasla daha yüksek TBARS değerine sahip olduğu ($p<0.05$), diğer örnekler arasında ise istatistiksel bir farklılık olmadığı görülmüştür ($p>0.05$).

Muhafaza günlerindeki TBARS değerleri kendi içlerinde kıyaslandığında ise Kompozit-Kekikli örneğinde en yüksek TBARS değeri 6. muhafaza gününde, en düşük TBARS değeri ise 3 ve 9. günlerde olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Kompozit-Kekiksiz örneğinde en yüksek TBARS değeri 6. muhafaza gününde, en düşük TBARS değeri ise 9 ve 12. günlerde olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Bilayer-Kekikli örneğinde en yüksek TBARS değeri 6. muhafaza gününde, en düşük TBARS değeri ise 9 ve 12. günlerde olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Bilayer-Kekiksiz örneğinde en yüksek TBARS değeri 6 ve 12. muhafaza günlerinde, en

düşük TBARS değeri ise 9. günde olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Kontrol örneğinde en yüksek TBARS değeri 12. muhafaza gününde, en düşük TBARS değeri ise 6. günde olduğu görülmüştür ($p<0.05$).



4. TARTIŞMA

4.1 Değişkenlerin Film Kalınlıkları Üzerine Etkisi

Yaptığımız çalışmada elde edilen sonuçlara göre kekik yağının film kalınlığını artırdığı gözlenmiştir. Film kalınlığındaki bu artış, film kompozisyonuna düşük molekül ağırlığına sahip bir yağ bileşenin eklenmesi neticesinde jelatine ait üçlü heliks matriks yapısının bozulmasına ve dolayısıyla jelatide moleküller arası boşlukların artmasına bağlanmıştır (Haghighi vd., 2019).

Film nem değerleri bakımından kekik yağı kullanımının, film nem oranının azalmasına neden olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç, hidrofobik bir karaktere sahip kekik yağı bileşenlerine bağlanmıştır.

4.2 Değişkenlerin Renk ve Işık Geçirgenlik (Opaklık) Özellikleri Üzerine Etkisi

Kompozit uygulamada sarı ve kırmızı renk artışı, jelatin ve kitosan arasındaki moleküler etkileşimin yüksek düzeyde oluşuna bağlanmıştır. Opaklık bakımından incelendiğinde ise sadece Kompozit-Kekiksiz kombinasyonu düşük değerde çıkıp diğer kombinasyonlarda bir farklılık gözlenmemiştir. Bu durum renk ve parlaklık değerleri bakımından daha yüksek değer aralıklarında olmasına bağlanmıştır.

4.3 Değişkenlerin Suda Çözünürlük Değerleri Üzerine Etkisi

Gıda sanayinde kullanılan ambalaj materyallerinin suda çözünürlük oranlarının düşük olması beklenir (Yavari Maroufi vd., 2021). Bu çalışmada kekik yağı/ β -siklodekstrin mikrokapsül eklenmesi ile suda çözünürlüğün arttığı ifade edilebilir. Bu sonuç, β -siklodekstrine ait hidroksil guruplar ile su molekülleri arasındaki etkileşime bağlanmıştır. Jiulin Wu ve ark. (2018) da benzer sonuçlar bulmuşlardır. Yaptıkları çalışmada jelatin bazlı film kompozisyonuna β -siklodekstrin/kurkumin kompleksi eklemişler ve film suda çözünürlük değerinin arttığını rapor etmişlerdir. Bu durum β -siklodekstrin/kurkumin kompleksinin suda çözünür oluşuna bağlanmıştır.

4.4 Değişkenlerin Filmlerde Su Buharı Geçirgenliği Değerleri Üzerine Etkisi

Değişkenlerin filmlerde su buharı geçirgenliği üzerine etkilerini incelediğimizde kompozit film örneklerinin, bilayer örneklere kıyasla daha yüksek bir su buharı geçirgenliği gösterdiği ifade edilebilir. Bir malzemenin geçirgenliği çoğunlukla yoğunluğuna bağlı olduğundan, bu sonuçlar, ikinci bir bileşenin eklenmesinin, daha yoğun bir matris yerine daha gevşek bir şekilde paketlenmiş gözenekli bir matrisin oluşmasıyla, dolayısıyla daha yüksek bir su buharı geçirgenlik değeri ile sonuçlandığını göstermiştir. Elena Poverenov ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar bulmuştur. Yaptıkları çalışmada jelatin ve kitosan kombinasyonundan bilayer ve kompozit filmler elde etmişler ve karşılaştırmışlardır. Sonuçta bilayer filmlerin su buharı geçirgenliğinin kompozite kıyasla daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.

4.5 Değişkenlerin Film Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi

Mekanik özellikler kıyaslandığında ise; en yüksek gerilme direnci ve en düşük delinme mesafesi değerlerinin Bilayer-Kekiksiz örneğinde olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek sertlik ve en düşük esnekliğin Bilayer-Kekiksiz kombinasyonuna ait olduğu ifade edilebilir. Burada, bilayer iki katmanlı filmin kompozit filme kıyasla daha sert ve daha az esnek oluşu, jelatine ikinci bir yapının eklenmesi ile jelatin matriks yapısının daha boşluklu ve düzensiz bir yapı oluşumuna bağlanmıştır. Kompozit filmlerde ikinci bileşenlerin belirli oranlarda eklenmesi aralarındaki etkileşim bakımından bir sinerji yaratabilmektedir, fakat bu oranın üzerine çıkıldığında yapının tam tersine zayıflamasına ve mekanik özelliklerinin azalmasına neden olabilmektedir (Chen vd., 2022). Benzer şekilde Jingwen Chen ve ark. (2022), polilaktik asit/balık jelatini/sodyum aljinat kompozisyonundan oluşan film çalışmasında bilayer olan filmlere ait gerilme direnci değerlerinin, kompozit filmlere kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

4.6 Değişkenlerin Filmlerin Mikroyapı Özellikleri Üzerine Etkisi

SEM görüntülerinin incelenmesi sonucunda kekik yağı içermeyen filmlerde jelatin ve kitosanın homojen bir şekilde karıştığı, sıkı ve boşluksuz bir yapı meydana getirdiği görülmüş ve bu durum jelatin ve kitosan molekülleri arasında oluşan çapraz bağlar sayesinde yoğun ve sıkı bir yapı oluşturmaya bağlanmıştır. Kompozit yapıya β -siklodekstrin/kekik yağı mikrokapsülleri eklenmesi ile daha heterojen ve pürüzlü bir yapı olduğu görülmüştür. Bilayer film kombinasyonlarına ait SEM görüntüleri incelendiğinde, kekik yağı içermeyen örneklerde, özellikle jelatin katmanına ait yüzeyin jelatine özgü karakteristik üçlü sarmal yapıyı gösterdiği, bunun da daha düzenli bir yapıyı oluşturduğu söylenebilir (Şekil 3.3a). Diğer taraftan kitosan katmanına ait yüzey görüntüsünün homojen, boşluksuz ve sıkı bir yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.3b). Bilayer ve β -siklodekstrin/kekik yağı mikrokapsülleri içeren örneklere ait SEM görüntüleri incelendiğinde jelatin katmanında mikrokapsüllerin eklenmesi ile düzenli üçlü sarmal yapının kaybolduğu, daha heterojen ve pürüzlü bir yapının olduğu söylenebilir. Diğer taraftan, mikrokapsüller sadece jelatin katmanına eklendiği için beklendiği gibi kitosan katmanına ait SEM yapısında gözle görülür bir değişim olmadığı söylenebilir. Mourad Jridi (2019) yaptıkları çalışmada, balık jelatini/agar film kompozisyonuna eklenen biyoaktif bileşenlerin film matrisinde aralıklı ve kesikli bir yapı oluşumuna neden olduğu bildirilmiştir. Bir başka çalışmada jelatin kitosan kombinasyonundan üretilen kaplama materyali SEM görüntüleri incelenmiş ve iki materyalin birbiriyle uyumlu olduğu ve homojen bir şekilde karıştığı bildirilmiştir. Jelatin ve kitosan birlikteliğinden boşluksuz, sıkı ve bütünsel bir yapı olduğu raporlanmıştır (Cardoso vd., 2019).

4.7 Muhafaza Süreci Ağırlık Kaybı Sonuçları

Muhafaza sonrası ağırlık kayıpları incelendiğinde kompozit filmlerin, bilayer olanlara kıyasla daha düşük ağırlık kaybı gösterdiği söylenebilir. Bu sonuç, SEM görüntüleri ile paralellik taşımaktadır. Kompozit formülasyonlarda jelatin ve kitosan molekülleri arasında yoğun şekilde çapraz bağlar ve moleküler etkileşimler olduğu, bu iki materyalin homojen bir şekilde karışarak sıkı ve yoğun bir yapı meydana getirdiği ifade edilebilir. Choi vd., (2023) yaptıkları çalışmada, kitosan ve jelatin kombinasyonunda, kompozit ve bilayer olarak ürettikleri filmlere greyfurt çekirdeği ekstresi eklemişler ve çeri domatesleri bu filmler ile kaplamışlardır. 7

günlük soğukta muhafaza süreci sonunda kaplanmış ve kaplanmamış domatesler arasında ağırlık kaybı bakımından istatistiksel bir farklılık olmadığını bildirmişlerdir.

4.8 Muhafaza Sürecindeki Tiyoarbutirik Asit Reaktif Madde (TBARS)

Değişimi

Muhafaza sürecinde TBARS değişimine bakıldığında; 9 ve 12. gün muhafazaları sonucunda kontrol örneğinin, diğer örneklerle kıyasla daha yüksek TBARS değerine sahip olduğu diğer örnekler arasında ise istatistiksel bir farklılık olmadığı ifade edilebilir.

Diğer taraftan film üretim uygulamasının (kompozit veya bilayer) ve kekik yağı eklenmesinin, tavuk eti muhafazası üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı söylenebilir. Bu sonuç, muhafaza için kullanılan tavuk göğüs etinin düşük yağ içeriğine bağlanmıştır.

Jingwen Chen vd., (2022) yaptıkları çalışmada polilaktik asit/balık jelatini/aljinat kombinasyonunda üretilen bilayer filmlere timol ve sinnemaldehit eklemişler, sonuçta timol eklenen filmler ile kaplanmış levrek filetolarında TBARS değeri yükselişinin daha yavaş olduğunu raporlamışlardır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma, gıda ambalajı olarak kekik yağı ile zenginleştirilmiş tavuk jelatini ve kitosan kombinasyonundan çevre dostu, yenilebilir ve sürdürülebilir bir ambalaj filmi üretilbileceğini göstermiştir. Özellikle bu çalışmada, kanatlı kesimhane artıklarının elde edilen tavuk jelatinin kullanılması, hayvansal atıkların çevreye olan zararını azaltması ve katma değerli bir ürünün üretilmesi bakımından önemlidir.

Çalışmada film kalınlık ve nem değerleri bakımından değerlendirildiğinde kekik yağı kullanımının film kalınlığını artırdığı, diğer taraftan film nem oranını azalttığı tespit edilmiştir.

Çalışma renk ve opaklık özellikleri bakımından değerlendirildiğinde Kompozit filmlerin, Bilayer filmlere kıyasla daha yüksek a^* (kırmızılık) ve b^* (sarılık) değerleri gösterdiği görülmüştür. Diğer taraftan opaklık değerleri bakımından en yüksek ışık geçirgenliğinin (en düşük opaklık) Kompozit-Kekikli örneklerde olduğu görülmüştür. Kompozit filmlerde kırmızılık ve sarılık renk değerlerinin yüksek olması, bu filmlerin lipit oksidasyonuna duyarlı gıdaların muhafazasında daha avantajlı olabileceğini göstermiştir.

Suda çözünürlük değerleri bakımından kekik yağı/ β -siklodekstrin kullanımı ile suda çözünürlüğün arttığı görülmüştür. Bu bakımdan kekik yağı/ β -siklodekstrin içeren filmlerin su oranı düşük ve nispeten kuru gıdaların muhafazasında kullanımının daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Çalışmada su buharı geçirgenliği bakımından kompozit film örneklerinin, bilayer örneklere kıyasla daha yüksek bir su buharı geçirgenliği gösterdiği tespit edilmiştir. Bu bakımdan özellikle nem geçişi bakımından hassas olan gıdaların muhafazasında bilayer filmlerin tercih edilmesi tavsiye edilebilir.

Mekanik özellikler bakımından en yüksek gerilme direnci ve en düşük delinme mesafesi değerlerinin Bilayer-Kekiksiz örneğinde olduğu görülmüştür. Burada Bilayer-Kekiksiz olan filmlerin yüksek sertlikte ve düşük esneklikte olduğu, bu filmlerin dış etkenlere karşı daha dayanıklı olduğu ifade edilebilir.

Film örneklerinin tavuk eti muhafazasındaki ağırlık kaybı değerleri bakımından değerlendirildiğinde, bilayer filmlerin kompozit filmlere kıyasla daha yüksek ağırlık kaybı gösterdiği tespit edilmiştir.

Sonuçlar, TBARS lipit oksidasyon değerleri bakımından değerlendirildiğinde film örneklerinin tavuk eti TBARS değerleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Film örnekleri mikroyapıları incelendiğinde özellikle kekik yağı içermeyen kompozit filmlerde jelatin ve kitosanın homojen bir şekilde karıştığı, sıkı ve boşluksuz bir yapı meydana getirdiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada tavuk jelatini/kitosan/kekik yağı/ β -siklodekstrin kombinasyonundan aktif ve biyobozunur özelliklere sahip etkili bir ambalaj filmi üretilebileceği görülmüştür.

Bundan sonra yapılacak ileriki çalışmalarda kekik yağı yerine daha farklı aktif özelliklere sahip aktif bileşenler denenebilir. Gıda muhafaza işlemini kolaylaştırmak için daha geniş yüzeyli ambalaj üretimi gerekecektir. Bu nedenle petri yayma yöntemi yerine daha geniş plakalara yayma yapılabilir. Muhafaza sürecinde tercih edilen ürüne göre lipit oksidasyon değerlerindeki değişim ve filmlerin etkisi daha net bir şekilde değerlendirilebilir. Bu nedenle bir sonraki çalışmada tavuk göğüs eti yerine taze kaşar peyniri gibi daha yağlı bir ürün muhafaza edilebilir ve bu sayede lipit oksidasyonunun etkisi daha iyi analiz edilebilir. Çilek, ahududu gibi meyveler de muhafaza sürecinde tercih edilebilirler. Hızla bozulma eğiliminde olan bu meyvelerin küf oluşturma hızı tespit edilebilir. Domates, salatalık gibi yüksek su içeriğine sahip ürünlerin muhafazası sayesinde nem kayıpları incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Altıok, D., Altıok, E., Tihminlioğlu, F. (2010). Physical, Antibacterial and Antioxidant Properties of Chitosan Films Incorporated with Thyme Oil for Potential Wound Healing Applications. *The Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 21, 2227-2236.
- Ayana, B., Turhan, K. N. (2010). Gıda Ambalajlamasında Antimikrobiyel Madde İçeren Yenilebilir Filmler/Kaplamalar ve Uygulamaları. *Gıda*, 35(2),151-158.
- Aytaç, Z., Uyar, T. (2017). Core-Shell nanofibers of curcumin/cyclodextrin inclusion complex and polylactic acid: Enhanced water solubility and slow release of curcumin. *International Journal of Pharmaceutics*, Volume 518, Issues 1-2, 177-184.
- Başıyigit, B., Hayoğlu, İ., Atasoy, F. (2017). Kekik Esansiyel Yağı ve Mikroenkapsülasyon Uygulamaları. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7(1/2).
- Bayaz, M., (2014). Esansiyel Yağlar: Antimikrobiyal, Antioksidan ve Antimutajenik Aktiviteleri. *Akademik Gıda*, 12(3), 45-53.
- Bosnalı, S., Özdeştan Ocak, Ö. (2019). Gıda Sanayinde Kullanılan Uçucu Yağların Mikroenkapsülasyon Uygulamaları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(7), 846-853.
- Bölükbaşı, Ş. C., Erhan, M. K. (2006, Mayıs 24-26). *Etlik Piliçlerin Yemlerine İlave Edilen Kekik Yağı ve Vitamin E'nin Performans, Doku Yağ Asidi Kompozisyonu ve Raf Ömrüne Etkileri*. Türkiye 9. Gıda Kongresi, Bolu, Türkiye.
- Candan, T., Bağdatlı, A. (2018). Gıda Uygulamalarında Yenilebilir Film ve Kaplama Uygulamaları. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2),645-655. <https://doi.org/10.31202/ecjse.403811>.
- Cardoso, G. P., Andrade, M. P. D., Rodrigues, L. M., Massingue, A. A., Fontes, P. R., Ramos, A. L. S., Ramos, E. M. (2019). Retail Display of Beef Steaks Coated with Monolayer and Bilayer Chitosan Gelatin Composites. *Meat Science*, 152, 20-30.
- Ceylan, H. G. (2022). *Bifidobacterium bifidum BB-12 ve Lactobacillus rhamnosus GG İçeren Yenilebilir Filmlerin Geliştirilmesi ve Kaplama Materyali Olarak Dilimlenmiş Eritme Peynirinde Kullanım Olanaklarının Araştırılması*. Doktora Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Chen, J., Zhang, J., Liu, D., Zhang, C., Yi, H., Liu, D. (2022a). Preparation, Characterization, and Application of Edible Antibacterial Three-Layer Films Based on Gelatin-Chitosan-Corn Starch-Incorporated Nisin. *Food Packaging and Shelf Life*, 34, 100980.
- Chen, J., Li, Y., Wang, Y., Yakubu, S., Tang, H., Li, L. (2022b). Active Polylactic Acid/Tilapia Fish Gelatin-Sodium Alginate Bilayer Films: Application in Preservation of Japanese Sea Bass (*Lateolabrax japonicus*) *Food Packaging and Shelf Life*. 33, 100915.
- Choi, I., Lee, S. E., Chang, Y., Lacroix, M., & Han, J. (2018). Effect of oxidized phenolic compounds on cross-linking and properties of biodegradable active packaging film composed of turmeric and gelatin. *LWT- Food Science and Technology*, 93, 427-433. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.065>.
- Choi, I., Lee, B.Y., Kim, S., Imm, S., Chang, Y., Han, J. (2023). Comparison of Chitosan and Gelatin-Based Films and Application to Antimicrobial Coatings Enriched with Grapefruit Seed Extract for Cherry Tomato Preservation. *Food Science and Biotechnology*, 32: 1067-1077.
- Coşkun Topuz, F., Boran, G. (2018). Jelatin Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar. *Akademik Gıda* 16(3), 332-339. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.475370>.

- Erge, A., Zorba, Ö. (2016). Jelatin ve Fizikokimyasal Özellikleri. *Akademik Gıda*, 14(4), 431-440.
- Erge, A., Zorba, Ö. (2018). Jelatinin Fonksiyonel Özellikleri ve Gıda Sanayinde Kullanımı. *Türk Tarım- Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(7): 840-849.
- Ertekin, B. (2020). Süt ve Süt Ürünlerinin Ambalajlanmasında Yenilikçi ve Doğal Yaklaşımlar; Esansiyel Yağların Kullanıldığı Polimerik Aktif Ambalaj Çözümü. *ADÜ Ziraat Dergisi*, 17(1):115-121. <https://doi.org/10.25308/aduziraat.599339>.
- Eser, Y., Doğruer, Y. (2022). Gıdalarda Yenilebilir Filmler ve Kaplamalar. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, 28:18-29.
- Farris, S., Schaich, K. M., Liu, L., Piergiovanni, L., & Yam, K. L. (2009). Development of Polyion Complex Hydrogels as an Alternative Approach for the Production of Bio-Based Polymers for Food Packaging Applications: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 20(8), 316-332.
- Gökalp, D., Pirinccioğlu Gözü, A., Pirinccioğlu, M., Kizil, G., Kizil, M. Malondialdehyde (MDA) and protein carbonyl (PCO) levels as biomarkers of oxidative stress in subjects with familial hypercholesterolemia. *Clinical Biochemistry, Volume 43, Issue 15*, 1220-1224.
- Gökbulut, İ. (2018). Nane Uçucu Yağının Enkapsülasyonu İçin Zein-Kazein Mikrokapsüllerinin Geliştirilmesi. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi C- Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji*, 7(1), 31-40.
- Güler, E. A., Özbey, E. (2024). Yenilebilir Film ve Kaplamalarda Gıda Katkı Maddelerinin Kullanımı, Uygulama Yöntemleri ve Alanları. *Özal Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, AGROZAL I(1)*: 44-60.
- Haghighi, H., Leo, R. D., Bedin, E., Pfeifer, F., Siesler, H. W., Pulvirenti, A. (2019). Comparative Analysis of Blend and Bilayer Films Based on Chitosan and Gelatin Enriched with LAE (Lauroyl Arginate Ethyl) with Antimicrobial Activity for Food Packaging Applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 19, 31-39.
- İçöz, A., Eker, B. (2016). Tekirdağ Köftesi Ambalajında Kullanılan Biyolojik Tabanlı Kaplama Malzemesinin Ürün Kalitesi Üzerinde Etkisi. *Uluslararası Hakemli Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*. 8.
- Jridi, M., Abdelhedi, O., Zouari, N., Fakhfakh, N., Nasri, M. (2019). Development and Characterization of Grey Triggerfish Gelatin/Agar Bilayer and Blend Films Containing Vine Leaves Bioactive Compounds. *Food Hydrocolloids*, 89, 370-378.
- Kahraman, E. (2016). *SBF Ortamında Üretilen Hidroksiapatit-Jelatin Kompozit Malzemelerin İlaç Salım Performansının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karagöz, Ş., Demirdöven, A. (2017). Gıda Ambalajlamada Güncel Uygulamalar: Modifiye Atmosfer, Aktif, Akıllı ve Nanoteknolojik Ambalajlama Uygulamaları. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD)*, 9-21.
- Karagöz, Z., Candoğan, K. (2007). Et Teknolojisinde Antimikrobiyal Ambalajlama. *Gıda*, 32(3):113-122.
- Karatosun Kuzgun, N. (2023). Defne Yaprağı Esansiyel Yağının +4°C’de Muhafaz Edilen Gökkuşaağı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum,1792) Filetolarının Raf Ömrü Üzerine Koruyucu Etkisi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 9(1),107-114. <https://doi.org/10.29132/ijpas.1191629>.
- Karatosun Kuzgun, N., Gürel İnanlı, A. (2013). Kitosan Üretimi ve Özellikleri ile Kitosanın Kullanım Alanları. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6(2): 16-21.

Kılınç, M., Tomar, O., Çağlar, A. (2017). Biyobozunur Gıda Ambalaj Malzemeleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 035404, (988-996).

Kodal, B., (2008). *Antioksidan Özellikteki Yenilebilir Filmlerin Sığır Kıymasının Oksidatif Stabilitesine Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi.

Liu, X., Zhang, T., Pang, K., Duan, Y., & Zhang, J. (2016). Graphene oxide/cellulose composite films with enhanced UV-shielding and mechanical properties prepared in NaOH/urea aqueous solution. *RSC Advances*, 6(73), 73358-73364. <https://doi.org/10.1039/C6RA16535D>.

Mallardo, S., De Vito, V., Malinconico, M., Volpe, M. G., Santagata, G., Di Lorenzo, M. L. (2016). Poly (butylene succinate)-based composites containing β -cyclodextrin/D-limonene inclusion complex. *European Polymer Journal*, 79, 82-96.

Nair, S. B., Jyothi, A. N., Sajeev, M. S., & Misra, R. (2011). Rheological, mechanical and moisture sorption characteristics of cassava starch-konjac glucomannan blend films. *Starch-Stärke*, 63(8), 511-519. <https://doi.org/10.1002/star.201100051>.

Nik Muhammad, N. A., Huda, N., Easa, A. M., & Fazilah, A. (2014). Poultry as an Alternative Source of Gelatin. *Health and Environment Journal*, 5(1), 37-49.

Núñez-Flores, R., Giménez, B., Fernández-Martín, F., López-Caballero, M. E., Montero, M. P., Gómez-Guillén (2013). Physical and functional characterization of active fish gelatin films incorporated with lignin. *Food Hydrocolloids*, Volume 30, Issue 1, 163-172.

Özbay, T., Ayas, D. (2011). Dondurarak Depolanan Sardalya (*Sardinella aurita*, Valenciennes, 1847) Filetolarının Raf Ömrü Üzerine Kitosan ve Asetik Asit Uygulamalarının Etkileri. *Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 7(2):11-12.

Polat Yemiş, G., Karagöz Emiroğlu Z., Candoğan, K. (2017). Mercanköşk (*Oreganum Heracleoticum* L.) ve Bahçe Kekliği (*Thymus Vulgaris* L.) Uçucu Yağı İçeren Soya Bazlı Yenilebilir Filmlerin Patojen Bakterilere Karşı Antimikrobiyel Etkileri. *Gıda*, 42(3): 268-276.

Poverenov, E., Rutenberg, R., Danino, S., Horev, B., Rodov, V. (2014). Gelatin-Chitosan Composite Films and Edible Coatings to Enhance the Quality of Food Products: Layer-by-Layer vs. Blended Formulations. *Food Bioprocess Technol*, 7: 3319-3327.

Takma Konuk, D., Korel, F. (2019). Active packaging as a carrier of black cumin essential oil: Development and effect on quality and shelf-life of chicken breast meat. *Food Packaging and Shelf Life*, Volume 19, 210-217.

Temiz, H., Yeşilsu, A. F. (2006). Bitkisel Protein Kaynaklı Yenilebilir Film ve Kaplamalar. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (2), 41-50.

Tokatlı, K., Demirdöven, A. (2015). Kitosan ve Kitosan Bazlı Yenilebilir Film Uygulamaları. *Akademik Gıda*, 13(4): 348-353.

Tural, S., Sarıcaoglu, F. T., Turhan, S. (2017). Yenilebilir Film ve Kaplamalar: Üretimleri, Uygulama Yöntemleri, Fonksiyonları ve Kaslı Gıdalarda Kullanımları. *Akademik Gıda* 15(1), 84-94. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.306077>.

Wu, J., Sun, X., Guo, X., Ji, M., Wang, J., Cheng, C., Chen, L., Wen, C., Zhang, Q. (2018). Physicochemical, Antioxidant, In Vitro Release, and Heat Sealing Properties of Fish Gelatin Films Incorporated with β -Cyclodextrin/Curcumin Complexes for Apple Juice Preservation. *Food Bioprocess Technol*, 11: 447-461.

Yavari Maroufi, L., Ghorbani, M., Tabibiazar, M., Mohammadi, M., & Pezeshki, A. (2021). Advanced properties of gelatin film by incorporating modified kappa-carrageenan and zein nanoparticles for active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 753-759. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.163>.