

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



JELATİN-KARRAGENAN ESASLI BİYO-BOZUNUR FİLM
ÜRETİMİ VE BAZI ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BERK DEMİR DÜLGER
TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ AYDIN ERGE

BOLU, MAYIS - 2024

KABUL VE ONAY SAYFASI

Berk Demir DÜLGER tarafından hazırlanan “**JELATİN-KARRAGENAN ESASLI BİYO-BOZUNUR FİLM ÜRETİMİ VE BAZI ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Kanatlı Hayvan Yetiştiriciliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliğiyle kabul edilmiştir.

24/05/2024

Jüri Üyeleri

İmza

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

.....

Üye
Prof. Dr. İsmail YILMAZ
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

.....

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Derya ATALAY
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 Kurallarına 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.

BERK DEMİR DÜLGER

ÖZET

JELATİN – KARRAGENAN ESASLI BİYO-BOZUNUR FİLM ÜRETİMİ VE BAZI ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BERK DEMİR DÜLGER

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
KANATLI HAYVAN YETİŞTİRİCİLİĞİ ANABİLİM DALI
KANATLI HAYVAN YETİŞTİRİCİLİĞİ BİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI:DR. ÖĞR. ÜYESİ AYDIN ERGE)

BOLU, MAYIS - 2024
XII + 31

Gıda ambalaj endüstrisindeki çevresel kaygılar, doğal ve yenilenebilir polimerler üzerine yapılan araştırmaları artırmıştır. Diğer taraftan günümüz tüketicilerinin daha sürdürülebilir ve çevre dostu ambalajlara olan ilgisi giderek artmaktadır. Bu tez çalışmasında, petrol türevi plastik ambalajlara alternatif olarak tavuk jelatini ve karragenan temelli biyo-bozunur kompozit bir film geliştirilmiştir. Biyopolimer filmin fizikokimyasal özelliklerini iyileştirmek amacıyla doğal çapraz bağlayıcılar olan kafeik asit ve rutin kombinasyonu kullanılmıştır. Çalışmada tavuk jelatini / κ -karragenan (%0-2) kombinasyonunun, film kalınlığı, nem içeriği, opaklık, renk parametreleri, suda çözünürlüğü, su buharı geçirgenliği ve mekanik dayanıklılık gibi film özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Çalışmanın temel hedeflerinden biri, tavuk jelatini ve karragenan gibi yenilebilir kaynaklardan elde edilen biyopolimerlerin kullanımını teşvik ederek gıda ambalajlarının sürdürülebilirliğini artırmaktır. Ayrıca, bu çalışmada kanatlı sanayi atıklarının değerlendirilmesi ve plastik ambalajların alternatiflerinin geliştirilmesi yoluyla çevre dostu bir yaklaşım benimsenmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre karragenan eklenmesiyle tavuk jelatini özelliklerinin değiştiği gözlenmiştir. Gerilme direnci karragenan eklenmesiyle artmıştır. Karragenan konsantrasyonundaki artış, su buhar geçirgenliğini azaltmıştır. Bu çalışmada %2.0 karragenan içeren örneğin su buhar geçirgenlik değerinin ($0.0012 \text{ g.mm/h.m}^2.\text{kPa}$), kontrol örneğinin yaklaşık yarısı kadar olduğu görülmüştür. Renk ve opaklık özellikleri açısından, karragenan eklenmesi L^* (parlaklık) ve opaklık değerlerini artırmıştır. Elde edilen sonuçlar, tavuk jelatini ve κ -karragenan kombinasyonu ile etkili bir film formülasyonu geliştirme fırsatı olduğunu göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Tavuk jelatini, karragenan, biyopolimer film, sürdürülebilir ambalaj, doğal çapraz bağlayıcılar, gıda ambalajı

ABSTRACT

PRODUCTION OF GELATIN- CARRAGEENAN BASED BIODEGRADABLE FILM AND DEFINING SOME PROPERTIES

MSC THESIS

BERK DEMİR DÜLGER

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

DEPARTMENT OF POULTRY SCIENCE

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

BOLU, MAY 2024

XII + 31

Environmental concerns in the food packaging industry have increased research on natural and renewable polymers. On the other hand, contemporary consumers are increasingly interested in more sustainable and environmentally friendly packaging. In this thesis study, a biodegradable composite film based on chicken gelatin and carrageenan has been developed as an alternative to petroleum-derived plastic packaging. To improve the physicochemical properties of the biopolymer film, a combination of natural cross-linkers, caffeic acid and rutin, was used. In the study, the effects of the chicken gelatin/κ-carrageenan (0-2%) combination on film properties such as film thickness, moisture content, opacity, color parameters, water solubility, water vapor permeability, and mechanical strength were evaluated.

One of the main objectives of the study is to promote the use of biopolymers derived from edible sources such as chicken gelatin and carrageenan to enhance the sustainability of food packaging. Additionally, this study adopts an environmentally friendly approach by utilizing poultry industry waste and developing alternatives to plastic packaging.

According to the research results, it was observed that the properties of chicken gelatin changed with the addition of carrageenan. The tensile strength increased with the addition of carrageenan. An increase in carrageenan concentration reduced water vapor permeability.

In this study, it was observed that the water vapor permeability value of the sample containing 2.0% carrageenan (0.0012 g.mm/h.m².kPa) was approximately half that of the control sample. In terms of color and opacity properties, the addition of carrageenan increased the L* (brightness) and opacity values. The results obtained indicate that there is an opportunity to develop an effective film formulation with the combination of chicken gelatin and κ-carrageenan.

Keywords: Chicken gelatin, carrageenan, biopolymer film, sustainable packaging, natural cross-linkers, food packaging

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
ETİK BEYAN.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLO LİSTESİ	viii
FOTOĞRAF LİSTESİ	ix
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	x
TEŞEKKÜR	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1 Biyo-bozunur Filmler	4
2.1.1 Doğal Biyopolimerlerin Biyo-bozunur Filmlerde Kullanımı	5
2.2 Jelatin.....	6
2.2.1 Jelatin Bazlı Filmler	7
2.2.2 Tavuk Jelatini	7
2.3 Karragenan	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM	11
3.1 Materyal.....	11
3.2 Yöntem.....	11
3.2.1 Tavuk Jelatininin Elde Edilmesi	11
3.2.2 Film Solüsyonları ve Filmlerin Hazırlanması	12
3.3 Film Karakterizasyon Analizleri.....	14
3.3.1 Filmlerde Kalınlık Ölçümü.....	14
3.3.2 Filmlerde Nem Ölçümü.....	14
3.3.3 Filmlerin Opaklık Değerlerinin Belirlenmesi	15
3.3.4 Filmlerin Suda Çözünürlük (SÇ) Özelliklerinin Belirlenmesi ...	15
3.3.5 Su Buharı Geçirgenliği (SBG)	15
3.3.6 Filmlerin Mekaniksel Özelliklerinin Ölçülmesi.....	16
3.3.7 Filmlerin Renk Özelliklerinin Belirlenmesi	17
3.3.8 İstatistiksel Analizler	18
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	19
4.1 Kalınlık ve Nem.....	19
4.2 Renk ve Opaklık	20
4.3 Suda Çözünürlük (SÇ)	21
4.4 Su Buharı Geçirgenliği (SBG)	22
4.5 Mekanik Özellikler	23
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	26
6. KAYNAKLAR.....	27

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Muamele kombinasyonları.....	13
Tablo 4.1. Film kalınlık ve nem değeri	19
Tablo 4.2. Film renk ve opaklık değeri.....	20
Tablo 4.3. Suda çözünürlük değeri	21
Tablo 4.4. Su buharı geçirgenliği değeri.....	22
Tablo 4.5. Film mekanik özellikleri.....	23



FOTOĞRAF LİSTESİ

Sayfa

Fotoğraf 3.1. Elde edilen jelatin	11
Fotoğraf 3.2. Tavuk jelatini solüsyonu	13
Fotoğraf 3.3. Plaka kaplayıcıda yayma yöntemiyle film üretimi	13
Fotoğraf 3.4. Etüvde kaplayıcıda yayma yöntemiyle film üretimi	14
Fotoğraf 3.5. Kalınlık ölçümü yapılan örnek	14
Fotoğraf 3.6. Desikatörden çıkarılan örnekler	16
Fotoğraf 3.7. Tekstür analiz cihazına yerleştirilen örnek	17
Fotoğraf 3.8. Tekstür analiz cihazında ölçümü yapılmış örnek	17
Fotoğraf 3.9. Renk ölçümü yapılan örnek	18
Fotoğraf 3.10. Renk ölçümü yapılmış örnekler	18



KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

a*	: Kırmızı (+60), Yeşil (-60)
ABS	: Absorbans
ASTM	: Amerikan Standart Test Metotları
b*	: Sarı (+60), Mavi (-60)
BSE	: Bovine Spongiform Ensefalopati
°C	: Santigrat
CH₄	: Metan
CIE	: International Commission on Illumination
cm	: Santimetre
CO₂	: Karbondioksit
COO	: Karboksil Grubu
DD	: Delinme Direnci
DM	: Delinme Mesafesi
EB	: Uzayabilirlik
FMD	: Foot and Mouth Disease
G	: Gram
GD	: Gerilme Direnci
HCl	: Hidrojen Klorür
KAR	: Karragenan
KU	: Kopma Uzaması
L*	: Parlaklık, Beyaz (100), Siyah (0)
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
Pa	: Pascal
pH	: Potansiyel Hidrojen

PVC	: Poli Vinil Klorür
SBG	: Su Buharı Geçirgenliği
SÇ	: Suda Çözünürlük
SD	: Serbestlik Derecesi
Sn	: Saniye
TJEL	: Tavuk jelatini
TJEL-KAR	: Tavuk Jelatini Karragenan Karışımı
TS	: Gerilme Direnci
UV	: Ultraviole
%	: Yüzde



TEŞEKKÜR

Öncelikle lisansüstü eğitimim boyunca benimle tüm bilgi ve tecrübelerini paylaşan danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Aydın ERGE'ye teşekkür etmek istiyorum. Savunma jürisinde yer alıp beni eleştirileri ile destekleyen Prof. Dr. İsmail YILMAZ'a ve Dr. Öğr. Üyesi Derya ATALAY'a teşekkür ediyorum. Tez sürecinde yardımını esirgemeyen yüksek lisans öğrencisi Esra BAYIR'a teşekkür ediyorum.

Hayatım boyunca beni destekleyen, haklarını asla ödeyemeyeceğim kıymetli annem Serpil ERDOĞAN'a ve kıymetli babam Ümit Levent DÜLGER'e teşekkürlerimi sunarım.

Saygılarımla.

Berk Demir DÜLGER

Bolu, 2024

1. GİRİŞ

Plastik malzemeler ve sürdürülebilirlik konularındaki artan çevresel kaygılar, özellikle gıda ambalajı alanında, doğal ve yenilenebilir polimerlerin geliştirilmesini hızlandırmıştır (Alizadeh Sani vd., 2022). Diğer yandan, biyolojik atıkların katma değerli ürünlere dönüştürülmesinin sürdürülebilirlik açısından önemli bir yönü olduğu yaygın bir şekilde kabul edilmektedir (Farris vd., 2011). Ancak, doğal biyopolimerler, geleneksel polimerlere kıyasla genellikle düşük mekanik ve gaz bariyer özelliklerine sahip olduklarından ticari olarak sınırlı kullanıma sahiptirler. Biyopolimer çözeltilerine çeşitli plastikleştiricilerin eklenmesi, esnek filmler oluşturmak için gereklidir; ancak bu işlem, filmlerin su buharı geçirgenliğini artırarak bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, biyopolimer filmler, yüksek nispi nem koşullarında su buharını absorbe edebilmekte ve bazı bütünlük ve performans sorunları da görülebilmektedir (Azizi-Lalabadi vd., 2020). Ambalaj malzemelerinin fonksiyonel performansını artırmak için doğru biyopolimer kombinasyonlarını seçmek ve film çözeltisine film özelliklerini iyileştiren katkı maddeleri eklemek önemlidir (Alizadeh Sani vd., 2022). Polisakkarit bazlı filmler genellikle daha iyi gaz bariyer özelliklerine sahip olsa da, protein bazlı filmler daha üstün mekanik ve oksijen bariyer özelliklerine sahiptir (Benbettaieb vd., 2016). Bu nedenle, polisakkaritlerin ve proteinlerin film çözeltilerinin bir araya getirilmesiyle daha iyi fonksiyonel özelliklere sahip nihai bir ağ yapısı oluşturulması mümkündür. Bu çalışmada, tavuk jelatini ve κ -karragenan bir araya getirilerek protein / polisakkarit tabanlı biyopolimer yapıda bir ambalaj filmi geliştirilmiştir.

Jelatin, kollajenden elde edilen ve gıda, ilaç ve tıbbi endüstrilerde kullanılan protein bazlı bir biyopolimerdir ve gıda ambalajlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünya genelinde jelatinin başlıca kaynakları domuz derisi ve sığır derisidir. Ancak, bazı dini inançlara sahip topluluklar için domuz türevlerini tüketmek yasaktır ve ayrıca Hindular ineklerden elde edilen ürünleri tüketmezler. Diğer taraftan, inek gibi büyükbaş hayvan ürünleri, Bovine Spongiform Ensefalopati (BSE) hastalık riskini taşıyabilmektedir. Bu nedenle, jelatin üretiminde tüm toplumlar tarafından kabul edilebilir ve hastalık riski taşımayan, memeli jelatinine alternatif yeni kaynaklar bulmak giderek önem kazanmaktadır.

Tavuk jelatini, memeli jelatini yerine kullanılabilecek bir alternatif olarak görülmektedir (Abedinia vd., 2020). Bu tez çalışmasında, tavuk sanayi yan ürünlerinden elde edilmiş tavuk jelatini kullanılmıştır (Erge ve Zorba, 2018).

Jelatinin fizikokimyasal özellikleri, özellikle karragenan (KAR) gibi bir polisakkarit ile birleştirilerek kompozit yeni bir materyal elde edilebilir (Sow vd., 2018). KAR, kırmızı deniz yosunlarından elde edilen negatif yüklü ve güçlü bir polisakkarit olup ve gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Robal vd., 2017). KAR'ın jelatine eklenmesi ile jelatinin jel gücü ve erime sıcaklığında artış olduğu bildirilmiştir (Sinthusamran ve Benjakul, 2018). Ayrıca, jelatin filminin dayanıklılığının KAR tarafından arttığı da bildirilmektedir (Cheng vd., 2022). Jelatin-KAR arasında meydana gelen etkileşimler, elektrostatik temas ve hidrofobik etkileşimler şeklinde oluşabilmektedir (Voron'ko vd., 2016). Pranoto vd., (2007), balık jelatini ve karragenan karışımı ile elde edilen filmlerde mekanik ve termal özelliklerin arttığını bildirmiştir.

Protein bazlı filmlerin fizikokimyasal özelliklerini artırmak için kimyasal çapraz bağ oluşturulması yaygın olarak kullanılan bir tekniktir (Santos vd., 2018). Ancak, kullanılan çapraz bağlayıcı maddenin sağlık açısından güvenli olması önemlidir. Bitkilerden elde edilen bazı fenolik bileşikler, doğal çapraz bağlayıcılar olarak kullanılabilecek uygun bileşenlerdir (Choi vd., 2018). Bu çalışmada, tavuk jelatini-karragenan (TJEL–KAR) bazlı kompozit filmlerin fizikokimyasal özelliklerini iyileştirmek için doğal çapraz bağlayıcı olarak kafeik asit ve rutin kombinasyonunu kullanılmıştır (Erge vd., 2024). Kafeik asit, bitkilerden elde edilen bir antioksidan ve antimikrobiyal bileşiktir ve proteinlerin çapraz bağlanmasında kullanılmıştır (Parsaei vd., 2022). Rutin, doğal bir flavonoid bileşiktir ve aktif ambalaj malzemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Jia vd., 2022).

Literatür incelediğinde, tavuk jelatini bazlı ambalaj filmleri ve bu filmlerin özelliklerinin geliştirilmesine yönelik çok az çalışma olduğu görülmüştür. Özellikle, tavuk jelatini temelli filmlerinin, bazı fenolik bileşikler kullanılarak doğal yollarla çapraz bağ oluşturulması suretiyle modifiye edilmesi ve polisakkaritler ile kompozit oluşturulmasına yönelik hemen hemen hiçbir çalışma olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu tez çalışmasında, tavuk jelatini-

karragenan (TJEL – KAR) temelli biyo-bozunur bit ambalaj filmi geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, kanatlı sanayi artıklarından üretilen tavuk jelatini, farklı oranlarda (%0-2) k-karragenan ile birleştirilerek farklı özelliklere sahip kompozit ve biyo-bozunur ambalaj film materyalleri elde edilmiştir. Böylece hem kanatlı endüstrisinde açığa çıkan bir artığın değerlendirilmesi, hem de plastik ambalajlara alternatif, doğa dostu bir ambalaj materyalinin geliştirilmesi sağlanmıştır. Elde edilen kompozit filmlerde kalınlık, nem, opaklık, renk parametreleri, su çözünürlüğü, su buharı geçirgenliği ve mekanik özellikler değerlendirilmiştir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Biyo-bozunur Filmler

Biyo-bozunma, doğada mikroorganizmaların yardımıyla materyallerin parçalanması olarak tanımlanmaktadır (Gnanavel vd., 2012; Restrepo-Flórez vd., 2013). Son yıllarda, özellikle ambalaj alanında, biyo-bozunur ambalajların kullanımı ve geliştirilmesine yönelik çalışmalar artmıştır. Biyo-bozunur ambalajlar, çevre dostu, geri dönüştürülebilir ve plastik alternatifi olarak görülmektedir (Tokiwa vd., 2009).

Biyo-bozunur polimerler, mikroorganizmaların enzimatik faaliyetleri sonucunda biyoaktif bir ortamda bozunurlar. Bu nedenle geriye fazla miktarda kalıntı bırakmazlar. Biyo-bozunur malzemelerin biyo-degradasyonu sonucunda polimerler CO₂, CH₄, biyokütle, su, humus ve diğer doğal maddelere dönüşmektedir (Gross ve Kalra, 2002).

Doğal kaynaklı filmler son yıllarda yoğun bir şekilde araştırılmakta ve ilgi görmektedir. Yenilebilir film ve kaplamaların gıdaların ambalajlanmasında kullanımı oldukça eskilere dayanmaktadır. Örneğin, 12. yüzyıl başlarında Çin'de yapılan bazı kaplamaların kullanıldığı bilinmektedir. Ayrıca, Japonya'da 15. yüzyıl sonlarında kaynatılmış soya sütünden elde edilen filmler gıdaların korunması ve kalitesinin artırılması için kullanılmıştır (Pavlath vd., 2009).

Başlangıçta genellikle gıdaların depolanması ve taşınması sırasında nem kaybını azaltmak amacıyla kullanılan kaplamalar, günümüzde gıdaların kalite özelliklerinin iyileştirilmesi ve raf ömrünün uzatılması için kullanılmaktadır (Mehmetoğlu vd., 2010).

Gıdanın yüzeyinin ince bir film tabakasıyla kaplanması ve gıdayla birlikte tüketilmesini sorunsuz hale getiren, sentetik içerik içermeyen ve tamamen doğal kaynaklardan elde edilen, uygulandığı gıdanın nem ve gaz geçirgenliğinin kontrolünü sağlayan filmler, yenilebilir nitelikteki ambalaj filmleri olarak nitelendirilmektedir (Keleş, 2002).

2.1.1 Doğal Biyopolimerlerin Biyo-bozunur Filmlerde Kullanımı

Çeşitli bitkisel ve hayvansal kaynaklarda (örneğin hayvan derisi, kemikler, tohumlar, meyveler, ağaçlar, yapraklar vb.) doğal olarak birçok farklı polimer bulunmaktadır. Bu polimerler, çevre dostu malzemeler olmalarına rağmen, genellikle su çözünürlükleri yüksek olduğu için uzun süreli kullanımlar için dezavantajlar taşırlar. Gıda ambalajı üretiminde kullanılan biyo-bozunur polimerler, plastiklerin yerine geçebilen çevre dostu, zararsız ve geri dönüştürülebilir maddelerdir (Shankar ve Rhim, 2018).

Polisakkaritler, glikozidik bağlarla bağlanmış monosakkaritlerden oluşan kompleks yapıya sahip karbonhidratlardır. Polisakkaritlerin düşük maliyeti ve üretimindeki kolaylığı nedeniyle film üretiminde tercih edilmektedir (Robertson vd., 2013). Polisakkarit filmlerinin önemli bir avantajı dayanıklılığı ve oksijen geçişinin az olmasıdır, fakat diğer taraftan su buharı geçirgenlikleri ise yüksektir. Bu nedenle, depolama sırasında ortaya çıkan ağırlık kaybını azaltmak için genellikle gıdanın yüzeyine kalın bir film şeklinde uygulanırlar (Pavlath vd., 2009).

Polisakkarit bazlı yenilebilir film ve kaplama üretiminde genellikle nişasta, karragenan, selüloz, aljinat, pektin ve kitosan kullanılmaktadır (Robertson vd., 2013). Nişasta ve selüloz, biyo-bozunur ambalaj malzemesi üretiminde en çok kullanılan kaynaklardır (Gümüşderelioğlu, 2012). Nişasta genellikle doğada bol miktarda bulunan, yenilebilir özelliklere sahip, biyolojik olarak kolayca parçalanabilen ve düşük maliyetli bir doğal polimerdir (Bajpai, 2019).

Biyo-bozunur ambalaj üretiminde kullanılan protein yapılı polimerler bitkisel (zein, soya, gluten) ve hayvansal (kazein, peynir altı suyu proteini, jelatin) kaynaklı proteinlerden elde edilmektedir (Popović vd., 2018). Protein yapılı filmlerin çoğunun mekanik özellikleri oksijen transferine karşı iyi bir bariyer özelliği sunmakta, ancak su buharı geçirgenlikleri yüksek olmaktadır (Cutter vd., 2006). Bu filmlerin mekanik ve bariyer özelliklerinin iyi olmasının nedeni, proteinlerin hidrofilik özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Robertson vd., 2013). Protein bazlı film kaplamalar, kaplandıkları gıdanın besin değerini de artırabilmektedir (Dursun vd., 2009).

Lipid esaslı biyopolimerlerin üretiminde kullanılan balmumu ve gliseridler, ambalaj malzemesine hidrofobik özellikler kazandırarak su buharı geçişini azaltmaktadır. Bu ambalaj filmlerinin işlevselliği, lipidlerin doymunluk derecesi, fiziksel durumu vb. gibi lipidlerin karakteristik özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Ahmadzadeh ve Khaneghah, 2019). Lipitlerin düşük polaritesi nedeniyle, gıdanın nem kaybı ve dışarıdan nem transferine karşı iyi bir koruyucudurlar. Ancak, yüzeylerinin kaygan olması, balmumu ve acı tatlarının bulunması, dezavantajları olarak görülmektedir (Robertson vd., 2013).

2.2 Jelatin

Jelatin, kontrollü koşullarda kolajenin parçalanmasıyla elde edilen bir biyopolimerdir. Kolajen, hayvan dokularında bulunan bir protein olup, vücut proteinlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Jelatinin özellikleri, elde edildiği kolajenin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Amino asit dağılımında genellikle glisin, prolin, alanin ve hidroksiprolini içermektedir. Jelatinin temel özellikleri arasında jel oluşturma kabiliyeti ve yüzey özelliklerine sahip olması sayılabilir (Gomez ve vd., 2011).

Gıda ve ilaç endüstrisinde yaygın olarak kullanılan jelatin, jelleştirici, stabilizatör, köpük oluşturunu gibi fonksiyonlara sahiptir (Erge ve Zorba, 2016). Ayrıca, jelatinin erime sıcaklığının insan vücut sıcaklığına yakın olması ve sıcak suyla kolayca çözünmesi, tercih edilme nedenlerinden birkaçıdır. Jelatinin kokusuz ve tatsız olması da önemli bir avantaj olarak görülmektedir. Bu özellikler, onu pek çok gıda ürününde kullanım için ideal bir bileşen haline getirmektedir (Baziwane vd., 2003; Jones vd., 1977).

Dünyada jelatin üretimi %46 domuz, %29.4 sığır derisi, %23.1 kemik ve %1.5 diğer memeli olmayan kaynaklardan gerçekleştirilmektedir. Günümüzde deli dana hastalığı (Bovine Spongiform Encephalopathy - BSE) ve şap hastalığı (Foot and Mouth Disease- FMD) gibi endişeler nedeniyle jelatin üretiminde daha güvenli alternatif kaynaklar araştırılmaktadır. Diğer taraftan domuz jelatini, Yahudilik ve İslam'da haram kabul edilmekte, sığır jelatini ise ancak dini kurallara göre hazırlanmış olması durumunda kabul edilmektedir. Aynı şekilde Hindular için sığır jelatini de yasak görülmektedir. Dolayısıyla bu noktada dünyada kanatlı

ve balık gibi farklı alternatif jelatin kaynaklarına yönelik araştırmalar yoğunlaşmaktadır (Abedinia vd., 2020).

2.2.1 Jelatin Bazlı Filmler

Jelatin bazlı ambalaj filmleri, gıda ürünlerinin muhafazasında yoğun olarak tercih edilmektedir. Jelatin filmler, formülasyonlarına ve işleme koşullarına baēlı olarak iyi mekanik, fonksiyonel ve bariyer özelliklerine sahip olmakla beraber neme karşı hassas ve su buhar geçişine karşı ise zayıf bariyer özellikleri göstermektedirler. Bu dezavantajlar, plastikleştiriciler veya çapraz baēlama maddeleri kullanılarak veya diēer biyopolimerlerle kompozit oluşturularak bertaraf edilebilmektedir (Fakhouria vd., 2015). Son zamanlarda, jelatin filmlere antimikrobiyal ve antioksidan bileşiklerin eklenmesi yoluyla aktif ambalaj teknolojisi uygulanmakta, bu sayede gıda muhafaza sürecinde raf ömrünün uzaması saēlanmaktadır. Örneēin, Roy ve Rhim (2020) tarafından yapılan bir çalışmada kurkuminin jelatin filmlere eklenmesi, antimikrobiyal aktiviteyi, UV korumasını ve antioksidan aktiviteyi artırmıştır. Çeşitli akıllı ambalaj çalışmalarında jelatin başarıyla uygulanmıştır. Aynı araştırmacılar tarafından yapılan bir başka çalışmada jelatin filmlerin, farklı pH seviyelerinde renk deēiřimi göstererek akıllı ambalaj teknolojisinde uygulanabilir olduēu raporlanmıştır (Roy ve Rhim 2021).

Proteinlerin formaldehit, glioksal ve glutaraldehit gibi bazı kimyasallar kullanılarak çapraz baē yapılması sonucunda yapılarının güçlendirilmesi saēlanmaktadır fakat bu kimyasalların toksisite sorunları bazı çalışmalarda bildirilmiştir. Bu nedenle dünyada daha yeşil teknolojilere yönelik talepler artmakta ve toksik olmayan, daha ucuz ve kolay erişilebilir doēal çapraz baēlayıcılara olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında jelatini çapraz baē yapmak amacıyla doēal fenolik bileşikler olan kafeik asit ve rutin kullanılmıştır (Erge vd., 2024).

2.2.2 Tavuk Jelatini

Son on yıl içerisinde jelatin kaynaēı olarak memeli hayvanlar dışındaki alternatif kaynaklar, özellikle balık ve tavuk sanayi yan ürünleri üzerinde önemle

durulmaktadır. Gerek balık endüstrisi, gerekse tavuk endüstrisinde önemli oranda yan ürün ve artık açığa çıkmaktadır (Schrieber&Gareis, 2007).

Bugüne kadar çeşitli balık türlerinde farklı ekstraksiyon metotları kullanılarak balık jelatini üretimine ilişkin çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda elde edilen balık jelatinlerinin memeli hayvanlardan elde edilen jelatine kıyasla daha zayıf jel sertliği ve stabiliteye sahip olduğu ve ayrıca en önemli dezavantajının ise balık kokusunun jelatine geçmesi olarak bildirilmiştir. Dünyada üretilen toplam jelatinin yalnızca %1'inin balık jelatini olduğu raporlanmaktadır (Rafieian vd., 2013).

Tavuk jelatini üretimi ise, jelatin kalite özellikleri olumlu olmasına karşın kanatlı sanayi yan ürünlerinden (deri, kemik, mekanik ayrılmış kanatlı eti posası, ayak ve baş) elde edilen jelatin veriminin, memeli jelatin verimine kıyasla nispeten daha düşük olması nedeniyle henüz ticarileşme aşamasına geçememiştir (Rafieian vd., 2013).

Dünya genelinde kanatlı eti üretiminin 2008'de yaklaşık 92.68 milyon ton iken bunun 2018 yılında yaklaşık 127.29 milyon tona yükseldiğini rapor etmiştir. Kanatlı endüstrisinin büyümesi ile paralel olarak kanatlı yan ürünleri de artmaktadır. Bu yan ürünler arasında yüksek protein oranına sahip artık olarak değerlendirilen deri, ayak, kemik, mekanik ayrılmış kanatlı eti posası, tüy, kan ve kafa gibi kanatlı unsurları yer almaktadır. Bu yan ürünler kuru madde bazında yaklaşık %52 protein, %41 yağ ve %6.3 oranında ise kül içermektedir (Koby, Senturk, & Bayramoglu, 2006). Dolayısıyla bu artıklardan, memeli jelatinine alternatif olarak tavuk jelatin üretimi mümkündür. Dünyada yaklaşık 9.5 milyon ton kanatlı yan ürünü, jelatin üretimi için uygun bir kaynak olarak görülmektedir.

Kanatlı jelatini, içerdiği amino asit kompozisyonu, ikincil yapısı ve moleküler ağırlık dağılımı bakımından memeli hayvan jelatinine benzer özellikler göstermektedir. Dolayısıyla, bu hayvansal kaynaklardan jelatin üretim düşüncesi, araştırmacıları endüstriyel kaynakların yeniden değerlendirilmesi, organik materyallerin çevreye olan zararının bertaraf edilmesi ve sürdürülebilirlik prensibini hayata geçirilmesi bakımından cesaretlendirmektedir (Mhd Sarbon vd., 2013). Bu tez çalışmasında kanatlı sanayi yan ürünü olarak mekanik ayrılmış tavuk eti posası kullanılmıştır.

Çeşitli çalışmalarda, tavuk jelatininin iyi bir film oluşturma kabiliyetine sahip olduğu görülmüştür. Abedinia vd., (2018) yaptıkları bir çalışmada gerilme direnci, uzama katsayısı ve yapışma gücü özellikleri bakımından sığır jelatini ile aynı seviyede olduğunu bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada Nazmi vd., (2020), tavuk derisinden elde ettikleri tavuk jelatini filmlerinin su buharı geçirgenliği değerinin düşük olduğunu bildirmişlerdir. Soo ve Sarbon (2018), tavuk jelatine pirinç unu ekleyerek kompozit bir ambalaj filmi elde etmişlerdir. Bu çalışmada pirinç unu eklenmesiyle su buharı geçirgenliğinin, transparanlığın, mekanik ve termal özelliklerin arttığı, diğer taraftan ise suda çözünürlüğün azaldığı bildirilmiştir. Nazmi vd., (2017), tavuk derisi jelatini ve karboksimetil selüloz karışımından ürettikleri kompozit filmleri sığır jelatini ile karşılaştırmışlardır. Sonuçta gerilme direnci ve su buharı geçirgenliği bakımından benzer olduklarını rapor etmişlerdir. Alias ve Sarbon (2019) yaptıkları çalışmada tavuk derisi jelatinine patates nişastası eklemişler ve sonuçta elde edilen filmlerin mekaniksel özelliklerinde, su buharı geçirgenliğinde ve ultraviyole ışınlarını önlemede pozitif etkiler olduğunu bildirmişlerdir.

2.3 Karragenan

Karragenan, deniz kırmızı alglerinden alkali yöntemle elde edilen bir polisakkarittir. Toksik olmayan, biyouyumlu ve biyolojik olarak parçalanabilir bir yapıya sahiptir (Suganya vd., 2016). Karragenan, sülfat grubu içeren galaktoz türevi monomer (a-1,3-D-galaktoz ve P-1,4-3,6-anhidro-D- galaktoz) yapılardan oluşmaktadır. Kappa, lamda ve iota olarak bilinen üç farklı yapıda karragenan bulunmaktadır (Stanley,1987). Karragenanın çeşitli yapıları, antioksidan, antitümör, immünomodülatör, anti-inflamatuar, antikoagülan, antiviral, anti-bakteriyel, antifungal ve anti-hiperglisemik gibi çeşitli biyolojik aktiviteler sergilemektedir (İlter vd., 2016). Karragenanın endüstriyel uygulamalarda kıvam arttırıcı, jelleştirici, süspansiyon edici, stabilize edici ve tekstür geliştirici olarak kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Diğer taraftan karragenan ambalaj malzemesi olarak kullanımına ilişkin birçok çalışmada bulunmaktadır (Bylaite vd., 2004).

Yeşil (2020), yaptığı bir çalışmada karragenan temelli filmlere keten tohumu yağı eklenmiştir. Bu çalışmada keten tohumu yağı film kalınlıklarını artırmış, diğer taraftan su buhar geçirgenliğini ise azaltmıştır.

Rostislavovna Derkach vd. (2015) yaptıkları bir çalışmada jelatin ve karragenan kombinasyonundan film üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde karragenanın jelatin ile arasındaki hidrojen bağlarını güçlendirerek viskoelastik özelliklerin artmasına, moleküller arası boşlukların azalmasına ve film mekanik özelliklerinin artmasına neden olduğu rapor edilmiştir.

Roy vd. (2021) Jelatin/karagenan karışımına propolis ve shikonin bileşikleri ekleyerek akıllı bir ambalaj film hazırlanmıştır. Bu film, geniş bir pH aralığında farklı pH değerlerine duyarlı olarak renk değişimleri göstermiştir. Ayrıca, hazırlanan kompozit film, süt muhafaza sürecinde güçlü bir antimikrobiyal ve antioksidan aktivite göstermiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Yapılan araştırmada tavuk jelatini elde etmek için materyal olarak bir kanatlı kesimhane artığı olan tavuk mekanik ayrılmış kanatlı eti (MAKE) posası kullanılmıştır. MAKE posası laboratuvar ortamına getirilerek -18°C’de muhafaza edilmiştir. Tavuk jelatini çapraz bağ ile modifikasyonu için kafeik asit ve rutin kullanılmıştır (Sigma-Aldrich). K-karragenan Cargill İstanbul’dan temin edilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Tavuk Jelatininin Elde Edilmesi

Kanatlı sanayi yan ürünü olan MAKE (Mekanik ayrılmış kanatlı eti) posasından alkali bir ortamda tavuk jelatin ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Tavuk MAKE posa örnekleri, demineralizasyon için %3’lük HCl çözeltisi içerisinde 24 saat 10 °C’de bekletilmiştir. Daha sonra posalar yıkanıp, süzülüp sonrasında hidroliz işlemi için %3’lük NaOH çözeltisi içerisinde 24 saat boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Hidroliz işlemi sonrası yıkandıktan sonra süzülen posalar 82 °C’ye ayarlanmış olan su banyosunda 200 dakika boyunca bekletilerek ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon sonrası jelatin solüsyonu polisitren yapıdaki plastik kaplara alınarak 42 °C’de 72 saatte kurutularak tavuk jelatini elde edilmiştir (Fotoğraf 3.1).



Fotoğraf 3.1. Elde edilen jelatin

3.2.2 Film Solüsyonları ve Filmlerin Hazırlanması

Film solüsyonu, Tablo 3.1’de belirtilen jelatin / karragenan oranlarına göre hazırlanmıştır. Film solüsyonu, içerisindeki karragenan oranı %0 - 2 arasında değişmekle beraber solüsyondaki toplam polimer oranı (jelatin + karragenan) ise sabit ve %6.67 olarak belirlenmiştir. Bu kombinasyon oranlarına daha önce yapılmış olan ön denemeler neticesinde karar verilmiştir. Öncelikle %0.4, %0.8, %1.2, %1.6 ve %2 oranlarındaki KAR solüsyonları ayrı bir yerde hazırlanmış ve oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Bu çalışmada %0 KAR içeren film solüsyonu, kontrol gurubu olarak belirlenmiştir. 24 saat sonunda farklı oranlarda hazırlanan KAR çözeltileri 85 °C’de manyetik karıştırıcıda (Weightlab Instruments, Türkiye) ısıtılarak çözünmeleri sağlanmıştır. Diğer taraftan ayrı bir yerde jelatin solüsyonları hazırlanmıştır. Tablo 3.1’deki oranlara göre tartılan tavuk jelatini, saf su içerisinde oda sıcaklığında 1 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 sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi kullanılarak 9’a getirilmiştir. Tavuk jelatinini çapraz bağ yapmak amacıyla bu çalışmada, doğal fenolik bileşikler olan kafeik asit ve rutin kullanılmıştır. 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 %1.25 (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 %25 oranında (film solüsyonu toplam polimer oranı bazında) gliserol ve farklı oranlarda hazırlanmış olan KAR solüsyonları eklenmiştir. Bu şekilde hazırlanan TJEL / KAR bazlı film solüsyonları 60 °C’de 30 dakika manyetik karıştırıcıda karıştırılarak %6.67 toplam polimer oranında homojen bir kompozit film solüsyonu elde edilmiştir. Kontrol örneğinde KAR olmadığı için (%0 karragenan, %100 jelatin) çapraz bağ işlemi yapılmış TJEL solüsyonu, kontrol film solüsyonu olarak kullanılmıştır. Nihayetinde hazırlanan kompozit film solüsyonu 20x20 cm ölçüsündeki PVC plakalar üzerine ince tabaka film kaplayıcı (CAMAG, Switzerland) kullanılarak

kaplanmıştır. Kaplama işleminde, sabit film kalınlığını sağlamak için 1000 µ aralık bırakılmıştır. Kaplanmış plakalar 38 °C’de fanlı etüvde 48 saat süresince kurutmaya tabi tutulmuştur. Kurutulan filmler, plakalardan ayrılarak kilitli poşet dosyalar içerisinde muhafaza edilmiştir.

Tablo 3.1. Muamele kombinasyonları

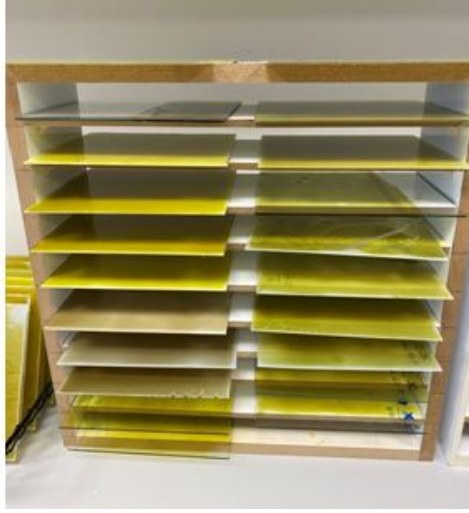
Film Kompozisyonu	Tavuk jelatin oranı (%)	Karragenan oranı (%)	Tavuk jelatin miktarı (g)	Karragenan miktarı (g)	Toplam film solüyonu (ml)	Toplam polimer oranı (%)
Kontrol - TJEL /KAR (100/0)	6.67	0	7.34	0	110	6.67
TJEL /KAR (94/6)	6.27	0.4	6.9	0.44	110	6.67
TJEL /KAR (88/12)	5,87	0.8	6.46	0.88	110	6.67
TJEL /KAR (82/18)	5.47	1.2	6.02	1.32	110	6.67
TJEL /KAR (76/24)	5.07	1.6	5.58	1.76	110	6.67
TJEL /KAR (70/30)	4.67	2.0	5.14	2.2	110	6.67



Fotoğraf 3.2. Tavuk jelatini solüyonu



Fotoğraf 3.3. Plaka kaplayıcıda yayma yöntemiyle film üretimi



Fotoğraf 3.4. Etüvde kaplayıcıda yayma yöntemiyle film üretimi

3.3 Film Karakterizasyon Analizleri

3.3.1 Filmlerde Kalınlık Ölçümü

Üretilen filmlerin kalınlıkları, 0.001 mm hassasiyetinde mikrometre (Loyka, Türkiye) ile 10 farklı noktasından ölçülmüştür (Farris vd., 2011).



Fotoğraf 3.5. Kalınlık ölçümü yapılan örnek

3.3.2 Filmlerde Nem Ölçümü

Filmlerin nem oranları da etüvde (Termallab, Türkiye) 75 °C'de film örneklerinin sabit ağırlığa ulaşana kadar kurutulması sonucu elde edilmiştir.

3.3.3 Filmlerin Opaklık Değerlerinin Belirlenmesi

Film örnekleri dikdörtgen bir şekilde kesilmiştir. Sonrasında UV spektrofotometre (UV, Shimadzu, Japonya) test ölçüm kabının bir yüzüne yerleştirilmiştir. Referans olarak ise boş bir test tüpü kullanılmıştır. Filmlerin Işık geçirgenlik özellikleri, 600 nm dalga boyundaki absorbans değerlerine göre değerlendirilmiştir. Aşağıdaki formüle göre opaklık değeri belirlenmiştir (Núñez-Flores vd., 2013). Ölçümler üç tekrarlı şekilde gerçekleştirilmiştir.

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

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

3.3.4 Filmlerin Suda Çözünürlük (SÇ) Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu analiz, su içerisinde 24 saat boyunca bekletmiş olduğumuz filmlerin kuru madde miktarının yüzde olarak ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Etüvde 75°C'de 24 saatte kurutulan örnekler tartılmış ve bu ağırlık başlangıç ağırlığı olarak belirlenmiştir (So). Tartılmış olan örnekler 30 mL miktarda destile su ilave edilmiş ve 25 °C'de bekletilmiştir. Su içerisinde çözünmeyen kısım filtre edilerek, kurutulmuş ve tartılmıştır (S1). Deneme 3 paralel şeklinde yapılmıştır (Nair vd., 2011). Hesaplama aşağıdaki denklemde gösterildiği şekilde yapılmıştır.

$$\text{Çözünürlük (\%)} = \frac{(So - S1)}{So} \times 100$$

3.3.5 Su Buharı Geçirgenliği (SBG)

Su buharı geçirgenlik (SBG) analizi standart E96-80 metoduna göre yapılmıştır. Bu yöntemde öncelikle ambalaj film örnekleri 25°C 'de desikatör içerisinde ve %30 nispi nem ortamında 48 saat süresince bekletilmiştir. Daha sonrasında filmler 10 g silika (%0 bağıl neme sahip) konulan 25 mL'lik plastik örnek kapları ağız kısmına yerleştirilip önce kenarları kuvvetli bir yapıştırıcıyla (Derby 100) yapıştırılmış daha sonra da sağlam olması için parafilm ile kenarları tamamen kaplanıp desikatöre yerleştirilmiştir. Desikatör içerisine de %98±2 bağıl neme sahip 25°C distile su konulmuştur. 24 saatlik analiz süresi içerisinde 25 +/- 0.5C'de bekletilen örnekler bir saatlik periyotlar halinde tartılmıştır (Fotoğraf 3.6). Tartımlar hassas terazi kullanılarak 0.0001 g duyarlılıkta yapılmıştır. Her bir film

için üç paralel şeklinde çalışılmıştır. Analiz öncesinde silika 180 °C'de 3 saat kurutulmuştur (Wu vd., 2013).

$$SBG = \frac{\Delta M d}{A t \Delta P}$$

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

* 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.



Fotoğraf 3.6. Desikatörden çıkarılan örnekler

3.3.6 Filmlerin Mekaniksel Özelliklerinin Ölçülmesi

Filmlerin mekaniksel özellikleri standart D 882 ASTM metoduna göre Tekstür Analiz Cihazında (Stable Microsystems, TA-XT2i, İngiltere) oda sıcaklığında A/TG germe probu kullanılarak yapılmıştır (Fotoğraf 3.7 ve 3.8). Filmler 10x60 mm ölçütlerinde kesilmiş ve %30'luk bağıl nem içeren ortamda 48 saat süre ile dengeye getirilmiştir. Ölçümler 40 mm başlangıç kavrama boşluğu ve 0.5 mm/s germe hızı ile gerçekleştirilmiştir. Uygulanan güç (N) ve deformasyon (mm) ölçümleri kaydedilmiştir. Daha sonra gerilme direnci (Tensile strength -TS) ve kopma noktasında uzama (Elongation at break -EB) değerleri sırasıyla aşağıdaki formüllerdeki gibi hesaplanmıştır (Liu vd., 2016).

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

$$EB\% = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$$

* L0 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).



Fotoğraf 3.7. Tekstür analiz cihazına yerleştirilen örnek



Fotoğraf 3.8. Tekstür analiz cihazında ölçümü yapılmış örnek

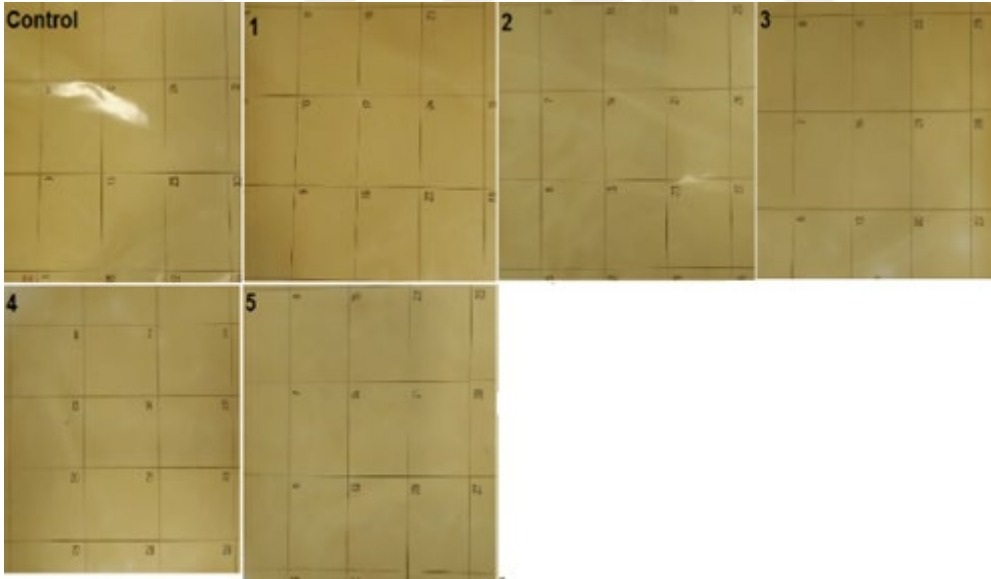
3.3.7 Filmlerin Renk Özelliklerinin Belirlenmesi

Renk analizinde jelatin filmleri renk değerleri için (L^* , a^* ve b^*), CIE (International Commission on Illumination) renk ölçüm sistemine göre Minolta CR-400 (Osaka, Japonya) reflektans kolorimetresi kullanılarak jelatin filmlerin renk değerleri direkt ölçülmüştür (Fotoğraf 3.9). Ölçüm öncesinde cihaz beyaz

plakayla kalibre edilmiştir. L*:parlaklık, a*: (+) kırmızı, (-) yeşil, b*: (+) sarı, (-) mavi koordinatlarını göstermektedir. Her bir örnekte en az dört okuma yapıp ortalaması alınmıştır (Erge ve Zorba, 2018). Film örneklerine ait fotoğraflar Fotoğraf 3.10’da gösterilmiştir.



Fotoğraf 3.9. Renk ölçümü yapılan örnek



Fotoğraf 3.10. Renk ölçümü yapılmış örnekler

3.3.8 İstatistiksel Analizler

Denemeler tamamen rastgele bir deneme planına göre iki tekrarlı olarak kurulmuş ve uygulanmıştır. Araştırma verileri, SPSS (2008) kullanılarak Duncan çoklu karşılaştırma testi ile anlamlı olan varyasyon verileri karşılaştırılmış ve incelenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Kalınlık ve Nem

Filmlerdeki kalınlık ve nem değerlerine ait ortalama sonuçlar Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Film kalınlık ve nem değerleri

	Kalınlık (mm)	Nem (%)
Kontrol - TJEL /KAR (100/0)	0.105 ± 0.02 ^a	7.15 ± 1.22 ^b
TJEL /KAR (94/6)	0.100 ± 0.02 ^{ab}	8.73 ± 1.29 ^{ab}
TJEL /KAR (88/12)	0.094 ± 0.01 ^b	8.23 ± 0.42 ^{ab}
TJEL /KAR (82/18)	0.083 ± 0.008 ^c	8.58 ± 1.18 ^{ab}
TJEL /KAR (76/24)	0.062 ± 0.01 ^d	9.08 ± 2.01 ^a
TJEL /KAR (70/30)	0.062 ± 0.007 ^d	8.19 ± 0.31 ^{ab}

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

Bu çalışmada, film formülasyonuna KAR eklenmesi, kontrol örneği ile karşılaştırıldığında kalınlıkta bir azalmaya neden olmuştur (p<0.05) (Tablo 4.1)

TJEL / KAR (76/24) ve TJEL / KAR (70/30) örnekleri, kontrol örneğine kıyasla daha düşük (p<0.05) kalınlık değerleri sergilemiştir. TJEL ve KAR fonksiyonel grupları arasındaki yoğun moleküler etkileşimler, erişilebilir -OH gruplarının azalması ve nem emilimindeki azalma, bu örneklerdeki düşük film kalınlığı ile ilişkilendirilmiştir (Nouri vd., 2018).

Tablo 4.1’de belirtildiği gibi, nem değerleri %7.15 ila %9.08 arasında değişmektedir. Çalışmada TJEL / KAR (76/24) örneği en yüksek nem değeri gösterirken, kontrol örneği en düşük nem değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. TJEL / KAR (76/24) örneğinde, KAR eklenmesi kontrol ile karşılaştırıldığında nem değerlerinde bir artışa neden olmuştur. Bununla birlikte, KAR içeren örneklerde görülen nem seviyelerindeki değişiklikler istatistiksel olarak anlamlı görülmemiştir (p>0.05). Bu bulgular, KAR’ın hidrofilik özelliğinin filmlerin suyu tutma kapasitesini artırabileceğini göstermiştir. Bulgularımızla uyumlu olarak, Sogut ve ark. (2022), peynir altı suyu protein izolatu / karragenan bazlı filmlerin nem seviyesinin karragenan içeriğinin artmasıyla yükseldiğini bildirmişlerdir.

4.2 Renk ve Opaklık

Filmlerdeki renk ve opaklık değerlerine ait ortalama sonuçlar Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Film renk ve opaklık değerleri

	L*	a*	b*	Opaklık
Kontrol - TJEL /KAR (100/0)	68.00 ± 4.69 ^c	-4.24± 1.72 ^b	44.76 ± 1.12 ^b	2.82 ± 0.22 ^c
TJEL /KAR (94/6)	75.63 ± 6.89 ^a	-3.48 ± 1.54 ^{ab}	39.14 ± 6.48 ^{de}	2.37 ± 0.52 ^c
TJEL /KAR (88/12)	71.46 ± 3.74 ^{bc}	-3.27 ± 1.78 ^{ab}	42.42 ± 2.53 ^c	2.78 ± 0.38 ^c
TJEL /KAR (82/18)	71.36 ± 2.30 ^{bc}	-2.68 ± 1.11 ^a	41.35± 1.82 ^{cd}	3.41 ± 0.25 ^b
TJEL /KAR (76/24)	74.48 ± 2.54 ^{ab}	-3.83 ± 0.89 ^{ab}	37.85± 2.2 ^e	3.81 ± 0.31 ^b
TJEL /KAR (70/30)	75.36 ± 2.53 ^a	-3.15 ± 1.02 ^{ab}	36.91± 4.49 ^e	4.33 ± 0.41 ^a

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

Ambalaj film rengi, muhafaza edilen gıdanın pazarlanabilirliğini ve müşteri algısını etkileyen önemli bir özelliktir. Bu araştırmada, filmlerin renk özellikleri çapraz bağlama sürecinden önemli ölçüde etkilenmiştir. Rutin ve kafeik asitle çapraz bağlama işlemine tabi tutulan filmler, sarımsı-kahverengi bir renge sahip olmuştur (Fotoğraf 3.10). Jelatin ve fenolik bileşikler alkali bir ortamda okside olduklarında fenolik bileşiklerin yapısal bileşenleri oksitlenmekte ve koyu renk veren kinon bileşikleri oluşturmaktadır. Bu çalışmada jelatin filminin koyu kahverengi rengi buna bağlanmıştır (Zhang vd., 2010). Örneklerde L* değeri, KAR eklenmesiyle artmıştır (p<0.05). Bu sonuç, KAR'ın renksiz bir polisakkarit olmasıyla açıklanmıştır. a* değeri, TJEL / KAR (82/18) örneğinde kontrol ve diğer örneklerle karşılaştırıldığında (p<0.05) artmıştır. Bunun aksine, b* değeri tüm işlemlerde KAR eklenmesiyle azalmıştır. Minimum b* değeri, TJEL / KAR (70/30) örneğinde belirlenmiştir. KAR'ın b* değerini azaltması, KAR'ın renksiz ve şeffaf karakteriyle ilişkilendirilebilir (Cheng vd., 2022).

Film opaklığı, ışık geçirgenliğinin azalması suretiyle filmin gıdayı koruma yeteneğini artırabilmektedir. Bu çalışmada, Tablo 4.2’de gösterildiği gibi, KAR varlığında filmlerin opaklığı önemli ölçüde artmıştır (p<0.05). KAR'ın eklenmesi, filmi daha opak, bulanık ve ışığı geçiremez hale getirmiştir. Maksimum opaklık değeri (4.33), TJEL / KAR (70/30) örneğinde tespit edilmiştir. Bu opaklık değerinin, kontrol örneğine kıyasla %54 daha yüksek olduğu görülmüştür. KAR

varlığında oluşan yüksek opaklık, gıdalarda lipit oksidasyonunu durdurması bakımından TJEL / KAR kompozit filmlerin etkili bir ambalaj filmi olabileceğini göstermektedir. Oksidasyona yatkın olan gıda ürünleri, daha iyi ışık bariyer özelliklerine ve yüksek opaklık değerlerine sahip ambalaj filmlerinde muhafaza edilmektedir (Núñez-Flores vd., 2013). Polisakkaritlerin ışığı dağıtma özelliği, KAR'ın neden olduğu yüksek opaklık değerinin nedeni olduğu düşünülmektedir (Cao vd., 2021).

4.3 Suda Çözünürlük (SÇ)

Filmlerdeki suda çözünürlük değerlerine ait ortalama sonuçlar Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Suda çözünürlük değerleri

	Suda Çözünürlük(%)
Kontrol - TJEL /KAR (100/0)	23.00 $\pm$ 0.50 ^d
TJEL /KAR (94/6)	25.00 $\pm$ 1.80 ^c
TJEL /KAR (88/12)	24.00 $\pm$ 0.82 ^{cd}
TJEL /KAR (82/18)	24.75 $\pm$ 0.50 ^c
TJEL /KAR (76/24)	25.00 $\pm$ 0.50 ^c
TJEL /KAR (70/30)	27.00 $\pm$ 0.41 ^b

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

Gıda muhafazasında kullanılan ambalajların düşük suda çözünürlük ve yüksek film bütünlüğüne sahip olması beklenmektedir (Yavari Maroufi vd., 2021). Bu çalışmada TJEL / KAR kompozit filmlerin suya direnci ve film bütünlük özelliklerini değerlendirmek için SÇ testi yapılmıştır. Tablo 4.3'e göre, KAR oranındaki artış, örneklerde SÇ değerlerini de artırmıştır (p<0.05). Bu etki, KAR'ın hidrofilik özelliğine bağlanmıştır. Bu çalışmada, kontrol örneği en düşük SÇ değerine (%23 $\pm$ 0.5), diğer yandan, %2 KAR içeren TJEL / KAR (70/30) örneği ise en yüksek SÇ değerine (%27 $\pm$ 0.41) sahip olduğu tespit edilmiştir.

Literatürde, Roy ve Rhim (2021), Alizadeh Sani vd. (2022) ve He vd. (2020) tarafından yapılan çalışmalarda, jelatin / karragenan kompozit filmler için SÇ değerlerinin 31.92 $\pm$ 1.49 ile 67.7 $\pm$ 1.9 % arasında değiştiği görülmüştür. Roy

ve Rhim (2020) tarafından yapılan başka bir araştırmada, karragenan bazlı filmin %91.0 SÇ değeri ile karbonhidrat temelli filmler arasında suya en dayanıksız film olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada agar bazlı filmin %41.7 ve kitosan filmin ise %24.2 SÇ değerlerine sahip olduğu rapor edilmiştir. SÇ özelliği bakımından araştırmamızın bulguları, çapraz bağlı tavuk jelatini ve karragenan temelli filmlerin, sığır jelatini filmlere bir alternatif olabileceğini göstermiştir.

4.4 Su Buharı Geçirgenliği (SBG)

Filmlerdeki su buharı geçirgenliği (SBG) değerlerine ait ortalama sonuçlar Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.5. Su buharı geçirgenliği değerleri

	Su buharı geçirgenliği (g.mm/h.m².kPa)
Kontrol - TJEL /KAR (100/0)	0.0024 ^a
TJEL /KAR (94/6)	0.0022 ^{ab}
TJEL /KAR (88/12)	0.0020 ^b
TJEL /KAR (82/18)	0.0019 ^b
TJEL /KAR (76/24)	0.0014 ^c
TJEL /KAR (70/30)	0.0012 ^c

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

Doğal polimer esaslı filmlerin yüksek SBG değerleri, başlıca dezavantajları arasında gösterilmektedir. Düşük SBG sahip filmler, ürün ile evre ortamı arasında nem transferini engelleme kapasitesine sahiptirler. Bu çalışmada elde edilen filmlere ait SBG değerleri Tablo 4.4’de sunulmuştur. Bulgular, KAR eklenmiş filmlerin SBG değerinin belirgin bir şekilde azaldığını göstermiştir (p<0.05). Çalışmada kontrol rneği en yüksek SBG değerine (0.0024 g.mm/saat.m².kPa), diğer yandan, %2 KAR içeren TJEL / KAR(70/30) rneği en düşük SBG değerine (0.0012 g.mm/saat.m².kPa) sahip olduğu görülmüştür. %2 KAR içeren film örneğinin (TJEL / KAR (70/30)), kontrol örneğinin neredeyse yarısı kadar bir SBG değerine sahip olması dikkat çekicidir. KAR ile azalan SBG, KAR ve TJEL arasındaki zincir moleküller arası etkileşimlerin bir sonucu olarak gazlar ve suyun geçirgenliğinin azalmasıyla sonuçlanan daha güçlü bir film yapısı

ile ilişkilendirilebilir (de Lima Barizão vd., 2020). Kompozit filmlerin SBG değerlerindeki azalma etkisi üzerine benzer sonuçlar Fathiraja vd. (2022); Hashemi Tabatabaei vd. (2018) ve Yavari Maroufi vd. (2021) tarafından rapor edilmiştir. Konvansiyonel ticari sığır jelatini filmlerine alternatif olması bakımından, araştırmamız, TJEL ile KAR kombinasyonunun daha düşük SBG değeri sağlayabileceğini göstermiştir, bu da tavuk jelatinin gıda ambalajı olarak tercih edilebilir bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

4.5 Mekanik Özellikler

Filmlerdeki mekanik özelliklere ait ortalama sonuçlar Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.6. Film mekanik özellikleri

	Gerilme Direnci (GD) (MPa)	Kopma Uzaması (KU) (%)	Delinme Direnci (DD) (g)	Delinme Mesafesi (DM) (mm)
Kontrol - TJEL /KAR (100/0)	48.65 ± 3.43 ^{ab}	169.45 ± 7.38 ^a	6291.67 ± 661.56 ^b	5.10 ± 0.79 ^{bc}
TJEL /KAR (94/6)	42.63 ± 12.13 ^{bc}	162.65 ± 13.22 ^a	6278.06 ± 898.97 ^b	5.63 ± 0.6 ^b
TJEL /KAR (88/12)	39.67 ± 7.92 ^{bc}	136.71 ± 18.77 ^b	5189.65 ± 1453.84 ^c	4.88 ± 1.05 ^c
TJEL /KAR (82/18)	37.51 ± 10.37 ^c	130.59 ± 19.97 ^b	4565.64 ± 483.88 ^c	4.69 ± 0.37 ^c
TJEL /KAR (76/24)	43.06 ± 11.93 ^{bc}	129.72 ± 15.19 ^b	3347.96 ± 280.98 ^d	3.91 ± 0.3 ^d
TJEL /KAR (70/30)	52.21 ± 6.85 ^a	127.45 ± 8.82 ^b	3325.06 ± 179.84 ^d	3.90 ± 0.65 ^d

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

TJEL / KAR esaslı filmlerin mekanik özellikleri Tablo 4.5'te belirtilmiştir. Gerilme direnci (GD), gıda ambalajının gıdayı dış etkenlere karşı koruması ve darbelere karşı direnç göstermesi bakımından önemli bir mekanik özelliktir. Ambalaj filmleri, genellikle taşıma veya gıda işleme sırasında uygulanan dış strese dayanabilmesi için yüksek gerilme direncine sahip olması beklenir (Said ve Sarbon, 2022). Bu çalışmada, %2 KAR içeren TJEL / KAR (70/30) örneği en yüksek gerilme direnç değerine (52.21 ± 6.85 MPa), diğer yandan, %1.2 KAR içeren TJEL / KAR (82/18) örneği ise en düşük gerilme direncine (37.51 ± 10.37 MPa) sahip olduğu görülmüştür. %2 KAR konsantrasyonunda, iki biyopolimerin moleküler olarak güçlü bir etkileşim gösterdiği, dolayısıyla TJEL / KAR (70/30) örneğinin daha yüksek gerilme direncine sahip olduğu belirtilebilir. Bu durum, jelatinin karboksil grubu (–COO) ve karragenanın (–OH) grubu arasında oluşan

ester bağları ile açıklanabilir (Roy vd., 2021). Bu bulgular, Cheng vd. (2022) tarafından da doğrulanmıştır. Yaptıkları çalışmada jelatin ve karragenan esaslı üretilen jelde karragenan konsantrasyonunun artmasıyla jel direnci de artmıştır. Bir başka çalışmada Sinthusamran ve Benjakul (2018), %50 karragenan eklenen jelin sertliğinin 1.28 kat artırdığını rapor etmişlerdir. Kompozit jel yapıyı güçlendiren potansiyel mekanizmalar arasında hidrojen bağlanma, hidrofobik etkileşimler, elektrostatik etkileşimler ve KAR ile jelatinin üçlü sarmalı yapısı arasındaki iyonik etkileşimler yer almaktadır (Derkach vd., 2018). Alizadeh Sani vd. (2022), jelatin/KAR kompozit filmin gerilme direncinin 53.9 MPa olduğunu rapor etmiştir. Yavari Maroufi vd. (2021) tarafından, zein ve modifiye edilmiş KAR nanopartiküllerinin jelatin esaslı filmlerin fonksiyonel özellikleri üzerine etkisinin incelendiği başka bir araştırma yapılmıştır. Bu araştırmacılar, KAR içeriğinin artmasıyla gerilme direnci değerlerinde artış gözlemlemişler ve uzama değerlerinde ise bir azalma bildirmişlerdir. Gerilme direnci artışı, gıda ambalajı sektörü için önemlidir. Biyokompozitlerin tipik gerilimlere dayanması, gıda işleme, transit ve nakliye sırasında ambalajın dayanıklı olması anlamına gelmektedir. Bu bakış açısına göre, yapmış olduğumuz çalışmada üretilen gıda TJEL / KAR kompozit kombinasyonu, gerilme direnci değerleri bakımından ambalaj endüstrisi için başarılı bir alternatif olarak düşünülebilir. Biyopolimer filmlerin önemli bir diğer mekanik özelliği ise kopma öncesi filmin esnekliğini ölçen kopma uzamasıdır (Said ve Sarbon, 2022).

Bu çalışmada, KAR konsantrasyonunun artmasıyla kopma uzama değeri azalmıştır ($p < 0.05$) (Tablo 4.5). Kontrol örneği (169.45 ± 7.38 %) uzama değeri ile en yüksek kopma uzama değerine, diğer yandan, %2 KAR içeren TJEL / KAR (70/30) örneği ise (127.45 ± 8.82 %) değeriyle en düşük kopma uzama değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. KAR ile azalan uzama değeri, genellikle yüksek gerilme direnci sonrası ortaya çıkmaktadır. Bu durum, uzun zincirli polisakkarit moleküllerinin jelatin ile çapraz bağ yapması sonucunda gerilme direncinin artması ve beraberinde moleküller arası boşlukların daralması ve uzama değerlerinin azalması ile ifade edilebilir. (Pranoto vd., 2007). Fathiraja vd. (2022), farklı agar, aljinat ve karragenan konsantrasyonlarında üretilen biyopolimer filmlerin fonksiyonel özelliklerini değerlendirdikleri çalışmada yüksek karragenan konsantrasyonlarında kopma uzama değerlerinde artış gözlemlemişlerdir. Bu

bulgular bizim bulgularımızla çelişmektedir. Buna karşın Roy ve Rhim (2020) tarafından yapılan bir başka çalışmada, agar ve kitosan gibi karbonhidrat filmlerine kıyasla karragenanın en sert polimer olduğunu rapor etmişlerdir. Elde edilen bu sonuçlar bizim bulgularımızla uyumludur.

Bir ambalaj malzemesinin delinmeye karşı direnci, onu delmek için gereken en yüksek kuvveti ifade etmektedir. Delinme özellikleri (Delinme direnci ve delinme mesafesi), filmlerin yüzeysel çukurluklarına veya ambalaj kenarlarına ne kadar dirençli olduğu hakkında bilgi verebilmektedir (Fathiraja vd., 2022). Bu çalışmada, KAR'ın delinme direnci ve delinme mesafesi değerleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). KAR konsantrasyonu arttıkça, delinme direnci ve delinme mesafesi değerleri azalmıştır (Tablo 4.5). KAR içeriğinin artmasıyla delinme direnci ve delinme mesafesi değerlerindeki azalma, KAR'ın kırılma film yapısına bağlanabilir. KAR esaslı filmler, özellikle sentetik filmlerle karşılaştırıldığında daha az esnektirler (Sedayu vd., 2019; Zarina ve Ahmad, 2015). Bu bulgulara dayanarak, TJEL / KAR kompozit filmi sert bir ambalaj malzemesi olarak nitelendirilebilir. Bu noktada plastikleştirici konsantrasyonunu arttırmak, esnek bir ambalaj malzemesi geliştirmenin başka bir yolunu oluşturabilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tavuk jelatini (TJEL) ve karragenan (KAR) kombinasyonu, biyo-bozunur ambalaj filmi oluşturmak için yenilikçi bir yaklaşım olarak düşünülmüştür. Bu çalışmada KAR'ın eklenmesiyle TJEL'in özelliklerinin değiştiği gözlenmiştir. Gerilme direnci değeri, KAR'ın artışı ile artmıştır. Ancak, KAR konsantrasyonundaki artış, kopma uzaması, delinme direnci ve delinme mesafesi gibi diğer mekanik film özellikleri üzerinde ters etki yaratmıştır (azaltmıştır). KAR konsantrasyonu arttıkça su buhar geçirgenliği azalmıştır. %2.0 KAR içeren örneğin su buhar geçirgenlik değeri ($0.0012 \text{ g.mm/h.m}^2.\text{kPa}$), kontrol örneğinin yaklaşık yarısı kadar olduğu görülmüştür. Renk özellikleri açısından, KAR'ın eklenmesi L^* değerini arttırırken, b^* değerini azaltmıştır ($p<0.05$). Şeffaflık özellikleri açısından, KAR'ın varlığı, opaklık değerinde belirgin bir ($p<0.05$) artışa neden olmuştur. Bu etki, ışık bariyeri oluşturmak suretiyle gıdanın muhafazasında olumlu bir faktör olarak değerlendirilmiştir.

Genel olarak, bu çalışmanın sonuçları, tavuk jelatini ve k-karragenan kombinasyonu ile etkili bir film formülasyonu geliştirme fırsatı olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan çapraz bağ işlemi ile modifiye edilmiş tavuk jelatini filmlerinin biyo-bozunur film üretiminde sığır jelatinine iyi bir alternatif olabileceği de görülmüştür. Son olarak bu araştırmada kanatlı sanayi yan ürünlerinden elde edilen biyopolimer filmlerin, doğal ve yenilenebilir kaynakların daha sürdürülebilir malzemeler üretilmesi amacıyla değerlendirilebileceğini göstermiştir.

6. KAYNAKLAR

(Bu tez çalışmasında APA atıf sistemi kullanılmıştır.)

- Abedinia, A., Mohammadi Nafchi, A., Sharifi, M., Ghalambor, P., Oladzadabbasabadi, N., Ariffin, F., & Huda, N. (2020). Poultry gelatin: Characteristics, developments, challenges, and future outlooks as a sustainable alternative for mammalian gelatin. *Trends in Food Science & Technology*, *104*, 14-26. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.001>
- Abedinia, A., Ariffin, F., Huda, N., & Mohammadi Nafchi, A. (2018). Preparation and characterization of a novel biocomposite based on duck feet gelatin as alternative to bovine gelatin. *International Journal of Biological Macromolecules*, *109*, 855-862.
- Ahmadzadeh, S., & Khaneghah, A. M. (2019). Role of green polymers in food packaging. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.10576-4>
- Alizadeh Sani, M., Tavassoli, M., Salim, S. A., Azizi-lalabadi, M., & McClements, D. J. (2022). Development of green halochromic smart and active packaging materials: TiO₂ nanoparticle- and anthocyanin-loaded gelatin/ κ -carrageenan films. *Food Hydrocolloids*, *124*, 107324. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107324>
- Alias, S. A., & Sarbon, N. M. (2019). Rheological, physical, and mechanical properties of chicken skin gelatin films incorporated with potato starch. *npj Science of Food*, *3*, 26. <https://doi.org/10.1038/s41538-019-0059-7>
- ASTM. (1990). Standard test methods for water vapour transmission of materials. Designation: E96-90 Annual book of American standards testing methods standard. Philadelphia.
- ASTM. (2002). Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting. Standard designation: D882 Annual book of American standards testing methods. Philadelphia.
- Azizi-Lalabadi, M., Alizadeh-Sani, M., Divband, B., Ehsani, A., & McClements, D. J. (2020). Nanocomposite films consisting of functional nanoparticles (TiO₂ and ZnO) embedded in 4A-Zeolite and mixed polymer matrices (gelatin and polyvinyl alcohol). *Food Research International*, *137*, 109716. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109716>
- Bajpai, P. (2019). Properties of biobased packaging material. *Biobased Polymers*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818404-2.00003-5>
- Baziwane, D., & He, Q. (2003). Gelatin: The paramount food additive. *Food Reviews International*, *19*(4), 423-435.
- Benbettaïeb, N., Gay, J. P., Karbowiak, T., & Debeaufort, F. (2016). Tuning the functional properties of polysaccharide-protein bio-based edible films by chemical, enzymatic, and physical cross-linking. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *15*, 739-752. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12210>
- Bylaite, E., Ilgunaite, Z., Meyer, A. S., & Adler-Nissen, J. (2004). Influence of λ -carrageenan on the release of systematic series of volatile flavor compounds from viscous food model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52*, 3542-3549.
- Cao, C., Feng, Y., Kong, B., Xia, X., Liu, M., Chen, J., Zhang, F., & Liu, Q. (2021). Textural and gel properties of frankfurters as influenced by various κ -carrageenan incorporation methods. *Meat Science*, *176*, 108483. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108483>
- Cheng, C., Chen, S., Su, J., Zhu, M., Zhou, M., Chen, T., & Han, Y. (2022). Recent advances in carrageenan-based films for food packaging applications. *Frontiers in Nutrition*, *9*. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1004588>
- Cheng, Z., Zhang, B., Qiao, D., Yan, X., Zhao, S., Jia, C., Niu, M., & Xu, Y. (2022). Addition of

- κ -carrageenan increases the strength and chewiness of gelatin-based composite gel. *Food Hydrocolloids*, **128**, 107565. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107565>
- 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>
- Cutter, C. N. (2006). Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods. *Meat Science*, **74**(1), 131-142.
- Çağrı Mehmetoğlu, A. (2010). Yenilebilir filmlerin ve kaplamaların özelliklerini etkileyen faktörler. *Akademik Gıda*, **8**(5), 37-43.
- de Lima Barizão, C., Crepaldi, M. I., Junior, O. de O. S., de Oliveira, A. C., Martins, A. F., Garcia, P. S., & Bonafé, E. G. (2020). Biodegradable films based on commercial κ -carrageenan and cassava starch to achieve low production costs. *International Journal of Biological Macromolecules*, **165**, 582-590. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.150>
- Derkach, S. R., Ilyin, S. O., Maklakova, A. A., Kulichikhin, V. G., & Malkin, A. Y. (2015). The rheology of gelatin hydrogels modified by κ -carrageenan. *LWT - Food Science and Technology*, **63**(1), 612-619.
- Derkach, S. R., Voron'ko, N. G., Kuchina, Y. A., Kolotova, D. S., Gordeeva, A. M., Faizullin, D. A., Gusev, Y. A., Zuev, Y. F., & Makshakova, O. N. (2018). Molecular structure and properties of κ -carrageenan-gelatin gels. *Carbohydrate Polymers*, **197**, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.05.063>
- Dursun, S., & Erkan, N. (2009). Yenilebilir protein filmler ve su ürünlerinde kullanımı. *Journal of Fisheries Science*, **3**(4), 352-373.
- Erge, A., & Zorba, Ö. (2016). Jelatin ve fizikokimyasal özellikleri. *Akademik Gıda*, **14**(4), 431-440.
- Erge, A., & Zorba, Ö. (2018). Optimization of gelatin extraction from chicken mechanically deboned meat residue using alkaline pre-treatment. *LWT - Food Science and Technology*, **97**, 205-212. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.057>
- Erge, A., Güler, B. Z., & Eren, Ö. (2024). Optimization and characterization of biodegradable films from chicken gelatin crosslinked with oxidized phenolic compounds. *Food Chemistry*, **438**. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137923>
- Fakhouri, F. M., Martelli, S. M., Caon, T., Velasco, J. I., & Mei, H. L. (2015). Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. *Postharvest Biology and Technology*, **109**, 57-64.
- Farris, S., Schaich, K. M., Liu, L. S., Cooke, P. H., Piergiovanni, L., & Yam, K. L. (2011). Gelatin-pectin composite films from polyion-complex hydrogels. *Food Hydrocolloids*, **25**, 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.05.006>
- Fathiraja, P., Gopalrajan, S., Karunanithi, M., Nagarajan, M., Obaiah, M. C., Durairaj, S., & Neethirajan, N. (2022). Response surface methodology model to optimize concentration of agar, alginate and carrageenan for the improved properties of biopolymer film. *Polymer Bulletin*, **79**, 6211–6237. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03797-5>
- Gnanavel, G., JayaValli, M. V. P., Thirumarimurugan, M., & Kannadasan, T. (2012). Degradation of plastics using microorganisms. *International Journal of Pharmaceutical and Chemical Sciences*, **1**, 691-694.
- Gomez-Guillen, M. C., Gimenez, B., Lopez-Caballero, M. E., & Montero, M. P. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, **25**, 1813-1827. DOI:10.1016/j.foodhyd.2011.02.007.

- Gross, R. A., & Kalra, B. (2002). Biodegradable polymers for the environment. *Science*, 297(5582), 803-807.
- Gümüşderelioğlu, M. (2012). Biyoplastikler. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 76-79.
- He, F., Kong, Q., Jin, Z., & Mou, H. (2020). Developing a unidirectionally permeable edible film based on κ -carrageenan and gelatin for visually detecting the freshness of grass carp fillets. *Carbohydrate Polymers*, 241, 116336. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116336>
- İlter, I., Akyıl, S., Koç, M., & Kaymak-Ertekin, F. (2016). Alglerden elde edilen stabilize edici maddeler. *Akademik Gıda*, 14(3), 315-321.
- Jia, N., Lin, S., Yu, Y., Zhang, G., Li, L., & Zheng, D. (2022). The Effects of Ethanol and Rutin on the Structure and Gel Properties of Whey Protein Isolate and Related Mechanisms. *Foods*, 11. <https://doi.org/10.3390/foods11213480>
- Jones, N. R. (1977). Uses of Gelatin in Edible Products. In: *The Science and Technology of Gelatin*, Ward AG, Courts A (eds), Academic Press, USA, pp. 366-392
- Keleş, F. (2002). Gıda Ambalajlama İlkeleri, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları No:189, Erzurum
- Kit, İ., & Kahyaoğlu, L. N. (2022). Kurkumin tabanlı biyopolimer filmlerin görünür ışık altında geliştirilmesi. *GIDA / The Journal of Food*, 47(6), 1104-1117. <https://doi.org/10.15237/gida.GD22079>
- Kobyas, M., Şentürk, E., & Bayramoğlu, M. (2006). Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 133(1-3), 172-176.
- 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>
- 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>
- Nazmi, N. N., Isa, M. I. N. and Sarbon, N. M. 2017. Preparation and characterization of chicken skin gelatin/CMC composite film as compared to bovine gelatin film. *Food Bioscience* 440: 149-155
- Nazmi, N. N. M., Isa, M. I. N., & Sarbon, N. M. (2020). Characterisation of biodegradable protein based films from gelatin alternative: a review. *International Food Research Journal*, 27(6), 971-987.
- Nouri, A., Tavakkoli Yarak, M., Ghorbanpour, M., & Wang, S. (2018). Biodegradable κ -carrageenan/nanoclay nanocomposite films containing Rosmarinus officinalis L. extract for improved strength and antibacterial performance. *International Journal of Biological Macromolecules*, 115, 227-235. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.051>
- Núñez-Flores, R., Giménez, B., Fernández-Martín, F., López-Caballero, M. E., & Montero, M. P. (2013). Physical and functional characterization of active fish gelatin films incorporated with lignin. *Food Hydrocolloids*, 30, 163-172. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.017>
- Parsaei, E., Mohammadi Nafchi, A., Nouri, L., & Al-Hassan, A. A. (2022). The effects of tannic and caffeic acid as cross-linking agents on the physicochemical, barrier, and mechanical characteristics of cold-water fish gelatin films. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16, 3926-3934. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01495-y>
- Pavlat, A. E., & Orts, W. (2009). Edible Films and Coatings: Why, What, and How? In M. E. Embuscado & K. C. Huber (Eds.), *Edible Films and Coatings for Food Applications* (pp.

403– 422). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-92924-8_19

- Popovic, S. Z., Lazic, V. L., Hromiš, N. M., Suput, D. Z., & Bulut, S. N. (2018). Biopolymer Packaging Materials for Food Shelf-Life Prolongation. In S. N. Bulut & V. P. Misra (Eds.), *Biopolymers for Food Design* (pp. 223– 277). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811449-0.00008-6>
- Pranoto, Y., Lee, C. M., & Park, H. J. (2007). Characterizations of fish gelatin films added with gellan and κ -carrageenan. *LWT - Food Science and Technology*, 40, 766–774. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.04.005>
- Rafieian, F., Keramat, J., & Kadivar, M. (2013). Optimization of gelatin extraction from chicken deboner residue using RSM method. *Journal of Food Science and Technology*, 50(2), 374–380. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0355-7>
- Restrepo-Flórez, J. M., Bassi, A., & Thompson, M. R. (2014). Microbial degradation and deterioration of polyethylene—A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 88, 83–90.
- Robal, M., Brenner, T., Matsukawa, S., Ogawa, H., Truus, K., Rudolph, B., & Tuvikene, R. (2017). Monocationic salts of carrageenans: Preparation and physico-chemical properties. *Food Hydrocolloids*, 63, 656–667. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.032>
- Robertson, G. L. (2013). *Food Packaging: Principle and Practice* (3rd ed.). CRC Press.
- Roy, S., Ezati, P., & Rhim, J. W. (2021). Gelatin/Carrageenan-Based Functional Films with Carbon Dots from Enoki Mushroom for Active Food Packaging Applications. *ACS Applied Polymer Materials*, 3, 6437–6445. <https://doi.org/10.1021/acsapm.1c01175>
- Roy, S., & Rhim, J. W. (2021). Preparation of Gelatin/Carrageenan-Based Color-Indicator Film Integrated with Shikonin and Propolis for Smart Food Packaging Applications. *ACS Applied Bio Materials*, 4, 770–779. <https://doi.org/10.1021/acsabm.0c01353>
- Roy, S., & Rhim, J. W. (2020). Preparation of carbohydrate-based functional composite films incorporated with curcumin. *Food Hydrocolloids*, 98, 105302. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105302>
- Roy, S., & Rhim, J. W. (2020). Preparation of antimicrobial and antioxidant gelatin/curcumin composite films for active food packaging application. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 188, 110761. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.110761>
- Said, N. S., & Sarbon, N. M. (2022). Physical and Mechanical Characteristics of Gelatin-Based Films as a Potential Food Packaging Material: A Review. *Membranes*, 12. <https://doi.org/10.3390/membranes12050442>
- Santos, J. P., Esquerdo, V. M., Moura, C. M., & Pinto, L. A. A. (2018). Crosslinking agents effect on gelatins from carp and tilapia skins and in their biopolymeric films. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 539, 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.12.018>
- Sarbon, N. M., Badii, F., & Howell, N. K. (2015). The effect of chicken skin gelatin and whey protein interactions on rheological and thermal properties. *Food Hydrocolloids*, 45, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.015>
- Schrieber, R., & Gareis, H. (2007). *Gelatine Handbook: Theory and Industrial Practice*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9783527610969.fmatter>
- Sedayu, B. B., Cran, M. J., & Bigger, S. W. (2019). A Review of Property Enhancement Techniques for Carrageenan-based Films and Coatings. *Carbohydrate Polymers*, 216, 287–302. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.021>
- Shankar, S., & Rhim, J.-W. (2018). Bionanocomposite Films for Food Packaging Applications. In

Reference Module in Food Science. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21875-1>

- Sinthusamran, S., & Benjakul, S. (2018). Physical, rheological and antioxidant properties of gelatin gel as affected by the incorporation of β -glucan. *Food Hydrocolloids*, 79, 409–415. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.018>
- Sogut, E., Filiz, B. E., & Seydim, A. C. (2022). Whey protein isolate- and carrageenan-based edible films as carriers of different probiotic bacteria. *Journal of Dairy Science*, 105, 4829–4842. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21245>
- Soo, P. Y., & Sarbon, N. M. (2018). Preparation and characterization of edible chicken skin gelatin film incorporated with rice flour. *Food Packaging and Shelf Life*, 15, 1–8.
- Sow, L. C., Kong, K., & Yang, H. (2018). Structural Modification of Fish Gelatin by the Addition of Gellan, κ -Carrageenan, and Salts Mimics the Critical Physicochemical Properties of Pork Gelatin. *Journal of Food Science*, 83, 1280–1291. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14123>
- Suganya, T., Varman, M., Masjuki, H. H., & Renganathan, S. (2016). Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A bio refinery approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 909–941.
- Stanley, N. (1987). Production, properties and uses of carrageenan. In D. J. McHugh (Ed.), *Production and utilization of products from commercial seaweeds* (pp. 116–146). Food and Drug Administration of the United Nations.
- Tavassoli-Kafrani, E., Goli, S. A. H., & Fathi, M. (2017). Fabrication and characterization of electrospun gelatin nanofibers crosslinked with oxidized phenolic compounds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103, 1062–1068. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.152>
- Tokiwa, Y., Calabia, B. P., Ugwu, C. U., & Aiba, S. (2009). Biodegradability of Plastics. *International Journal of Molecular Sciences*, 10, 3722–3742.
- Topuz, F. C., & Boran, G. (2018). Jelatin Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplamalar. *Akademik Gıda*, 16(3), 332–339. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.475370>
- Voron'ko, N. G., Derkach, S. R., Vovk, M. A., & Tolstoy, P. M. (2016). Formation of κ -carrageenan–gelatin polyelectrolyte complexes studied by ^1H NMR, UV spectroscopy and kinematic viscosity measurements. *Carbohydrate Polymers*, 151, 1152–1161. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.060>
- Wu, J., Chen, S., Ge, S., Miao, J., Li, J., & Zhang, Q. (2013). Preparation, properties and antioxidant activity of an active film from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloids*, 32, 42–51.
- 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>
- Yeşil, N. I. (2020). Characterization of Carrageenan Films Incorporated with Flaxseed Oil. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü.
- Zarina, S., & Ahmad, I. (2015). Biodegradable composite films based on κ -carrageenan reinforced by cellulose nanocrystal from kenaf fibers. *BioResources*, 10, 256–271. <https://doi.org/10.15376/biores.10.1.256-271>
- Zhang, X., Do, M. D., Casey, P., Sulistio, A., Qiao, G. G., Lundin, L., & Lillford, P. (2010). Chemical cross-linking gelatin with natural phenolic compounds as studied by high-resolution NMR spectroscopy. *Biomacromolecules*, 11, 1125–1132. <https://doi.org/10.1021/bm1001284>