

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



**KANATLI ENDÜSTRİSİ YAN ÜRÜNLERİNDEN BİYO-
BOZUNUR FİLM ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BÜŞRA ZEYNEP GÜLER

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ AYDIN ERGE

BOLU, HAZİRAN - 2023

KABUL VE ONAY SAYFASI

Büşra Zeynep GÜLER tarafından hazırlanan “**Kanatlı Endüstrisi Yan Ürünlerinden Biyo-Bozunur Film Üretimi ve Karakterizasyonu**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Kanatlı Hayvan Yetiştiriciliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği kabul edilmiştir.

12/06/2023

Jüri Üyeleri

İmza

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

.....

Üye
Prof. Dr. Muhammet YILDIRIM
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Doç. Dr. Furkan Türker SARICAOĞLU
Bursa Teknik Üniversitesi

.....

Üye
Unvanı Adı SOYADI
Üniversitesi

.....

Üye
Unvanı Adı SOYADI
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 21/06/2023 tarihinde Turnitin adlı intihal tespit programından enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 24 olarak tespit edilmiştir.

BÜŞRA ZEYNEP GÜLER

ÖZET

**KANATLI ENDÜSTRİSİ YAN ÜRÜNLERİNDEN BİYO-BOZUNUR FİLM
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BÜŞRA ZEYNEP GÜLER
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, HAZİRAN - 2023
XIV + 43**

Gıdalar üretimden tüketime kadar pek çok farklı şekilde kalite kaybına uğramaktadır. Bu nedenle; depolama, nakliye ve pazarlama süresince gıdaların duyuşsal özellikleri ve besin değeri korunurken söz konusu kalite kayıplarının önlenmesi esastır. Son yıllarda gıda endüstrisinde işletmeler öncelikle müşteri memnuniyetini sağlamak için yoğun şekilde rekabet etmektedirler. Diğer taraftan toplumsal eğitim seviyesinin gelişmesi ile günümüz tüketicisi daha güvenli, sağlıklı, katkısız, az işlenmiş ve kısa sürede bozulmayan gıdalar talep etmektedir. Aynı zamanda gıda ambalajı olarak ise çevre dostu, kolay ulaşılabilen, şeffaf ve sürdürülebilir gıda ambalajlarını tercih etmektedirler. Bu tez çalışmasında kanatlı sanayi artıklarından elde edilen tavuk jelatini, kafeik asit, rutin ve gliserol kullanılarak modifiye edilmiş; sonuçta tavuk jelatini temelli bir biyo-bozunur ve çevre dostu bir ambalaj üretilmiştir. Yapılan bu çalışmada hem kanatlı sanayi artıklarının kullanılması suretiyle hayvansal atıkların değerlendirilmesi ve çevreye olan zararlı etkilerinin minimuma indirilmesi; hem de petrol türevi plastik ambalajlara alternatif olarak çevre dostu biyobozunur bir ambalaj materyali geliştirilmesi amaçlanmamıştır. Elde edilen tavuk jelatini, farklı miktarlardaki kafeik asit, rutin ve gliserol kullanılarak çapraz bağlar oluşturulmuş ve ambalaj filmleri elde edilmiştir. Bu süreç, Yanıt Yüzey Yöntemine göre (Response Surface Methodology) Merkezi Birleşik Desen (Central Composite Design) kullanılarak optimize edilmiştir. Bu bağlamda 15 ayrı kombinasyondan elde edilen farklı özelliklere sahip tavuk jelatini bazlı biyobozunur filmlerin kalite özellikleri değerlendirilmiştir. Üretilmiş olduğumuz filmlerde nem ölçümü, kalınlık miktarı, ışık geçirgenlik özellikleri, renk özellikleri, suda çözünürlük, su buharı geçirgenliği, mekaniksel özellikler (gerilme direnci ve uzayabilirlik) gibi analizler yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Biyo-Bozunur Ambalaj, Jelatin, Kanatlı Sanayi Yan Ürünleri, Çapraz Bağ, Kafeik Asit, Rutin

ABSTRACT

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF BIODEGRADABLE FILM FROM POULTRY INDUSTRY BY-PRODUCTS

MSC THESIS

BÜŞRA ZEYNEP GÜLER

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

DEPARTMENT OF POULTRY SCIENCE

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

BOLU, JUNE 2023

XIV + 43

Foods suffer quality loss in many different ways from production to consumption. Because; It is essential to prevent the loss of quality while preserving the sensory properties and nutritional value of foods during storage, transportation and marketing. In recent years, businesses in the food industry have been competing intensely primarily to ensure customer satisfaction. On the other hand, with the development of social education level, today's consumers demand safer, healthier, additive-free, less processed and non-perishable foods. At the same time, they prefer environmentally friendly, easily accessible, transparent and sustainable food packaging as food packaging materials. In this thesis, chicken gelatin obtained from poultry industry residues was modified using caffeic acid, rutin and glycerol; As a result, a biodegradable and environmentally friendly packaging based on chicken gelatin was produced. In this study, both the evaluation of animal wastes by using poultry industry residues and minimizing their harmful effects on the environment; nor is it intended to develop an environmentally friendly biodegradable packaging material as an alternative to petroleum-derived plastic packaging. By using the obtained chicken gelatin, different amounts of caffeic acid, rutin and glycerol, cross-links were formed and packaging films were obtained. This process is optimized using the Central Composite Design according to the Response Surface Methodology. In this context, the quality characteristics of chicken gelatin-based biodegradable films with different properties obtained from 15 different combinations were evaluated. Analyzes such as moisture measurement, amount of thickness, light transmittance properties, color properties, water solubility, water vapor permeability, mechanical properties (tensile strength and extensibility) were made in the films we produced.

KEYWORDS: Biodegradable Packaging, Gelatin, Poultry By-products, Cross-linking, Caffeic Acid, Rutin

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
ETİK BEYAN.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ	x
FOTOĞRAF LİSTESİ	xi
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xii
TEŞEKKÜR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1 Biyo-Bozunur Ambalaj.....	3
2.1.1 Biyo-Bozunur Filmlerde Kullanılan Doğal Biyopolimerler.....	4
2.2 Jelatin.....	6
2.2.1 Jelatin Üretiminde Alternatif Kaynaklar ve Kanatlı Yan Ürünleri.....	6
2.2.2 Jelatin Bazlı Filmler	8
2.3 Kafeik Asit.....	9
2.4 Rutin	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 Çapraz Bağ Reaksiyonu ve Film Solüsyonlarının Hazırlanması.....	12
3.2.3 Filmlerin Hazırlanması	13
3.3 Analizler	14
3.3.1 Filmlerde Kalınlık Ölçümü.....	14
3.3.2 Filmlerde Nem Ölçümü	14
3.3.3 Filmlerin Işık Geçirgenlik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	14
3.3.4 Filmlerin Suda Çözünürlük 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	18
3.3.8 İstatistiksel Analizler	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	20
4.1 Değişkenlerin Film Kalınlıkları Üzerine Etkisi	20
4.2 Değişkenlerin Film Nem Değerleri Üzerine Etkisi	20

4.3 Değişkenlerin Filmlerin Suda Çözünürlük Değerleri Üzerine Etkisi	22
4.4 Değişkenlerin Filmlerde Su Buharı Geçirgenliği Değerleri Üzerine Etkisi	24
4.5 Değişkenlerin Filmlerde Gerilme Direnci Değerleri Üzerine Etkisi	25
4.6 Değişkenlerin Filmlerde Uzama Oranı Üzerine Etkisi	27
4.7 Değişkenlerin Filmlerde L Değeri Üzerine Etkisi	29
4.8 Değişkenlerin Filmlerde a Değeri Üzerine Etkisi.....	30
4.9 Değişkenlerin Filmlerde b Değeri Üzerine Etkisi	32
4.10 Değişkenlerin Film Işık Geçirgenlik (Opaklık) Özellikleri Üzerine Etkisi.....	33
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	35
6. KAYNAKLAR.....	37



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Biyo-bozunur polimerlerin geri halkası (Hazer, 2011; Thakur vd., 2018)	4
Şekil 2.2. Gıda ambalaj materyallerinde kullanılan biyo-bozunur polimerler (Shankar ve Rhim, 2018)	5
Şekil 2.3. Kafeik asitin yapısı	9
Şekil 2.4. Rutin kimyasal yapısı	10
Şekil 4.1. Nem değerine gliserol ve kafeik asit oranlarının etkisi	21
Şekil 4.2. Suda çözünürlük değerine gliserol ve rutin miktarlarının etkisi	23
Şekil 4.3. Su buharı geçirgenliğine gliserol ve kafeik asit miktarlarının etkisi	25
Şekil 4.4. Gerilme direncine gliserol ve kafeik asit miktarlarının etkisi	26
Şekil 4.5. Uzama oranına gliserol ve rutin miktarlarının etkisi	28
Şekil 4.6. L değerine rutin ve kafeik asit miktarlarının etkisi	30
Şekil 4.7. *a değerine rutin ve kafeik asit miktarlarının etkisi	31
Şekil 4.8. *b değerine rutin ve kafeik asit miktarlarının etkisi	33
Şekil 4.9. Opaklığa rutin ve kafeik asit miktarlarının etkisi	34

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Muamele kombinasyonları.....	12
Tablo 4.1. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film kalınlıkları üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları	20
Tablo 4.2. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film nem değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları	21
Tablo 4.3. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film suda çözünürlük değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları	22
Tablo 4.4. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film su buharı geçirgenliği değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları	24
Tablo 4.5. Kafeis asit, rutin ve gliserol oranının film gerilme direnç değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları	26
Tablo 4.6. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film uzama değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları	27
Tablo 4.7. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film L* renk değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları	29
Tablo 4.8. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film a* renk değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları	31
Tablo 4.9. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film b* renk değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları	32
Tablo 4.10. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film opaklıkları üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları	33

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. Etüvden çıkan örnekler	14
Fotoğraf 3.5. Desikatörden çıkarılan örnekler	16
Fotoğraf 3.6. Tekstür analiz cihazına yerleştirilen örnek.....	17
Fotoğraf 3.7. Tekstür analiz cihazında ölçümü yapılmış örnek.....	17
Fotoğraf 3.8. 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)
CH₄	: Metan
Cm	: Santimetre
CO₂	: Karbondioksit
EB	: Uzayabilirlik
F	: F Değeri
GL	: Gliserol
HCl	: Hidrojen Klorür
KA	: Kafeik Asit
K.O.	: Kareler Ortalaması
L*	: Parlaklık, Beyaz (100), Siyah (0)
MAKE	: Mekanik Ayrılmış Kanatlı Eti
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
N	: Maksimum Kuvvet
NaOH	: Sodyum Hidroksit
nm	: Nanometre
°C	: Santigrat
pH	: Potansiyel Hidrojen
PVC	: Poli Vinil Klorür
RSM	: Response Surface Methodology (Yanıt Yüzey Metodu)
RT	: Rutin
SBG	: Su Buharı Geçirgenliği
SD	: Serbestlik Derecesi
TS	: Gerilme Direnci
UV	: Ultraviole
X1	: Kafeik asit Konsantrasyonu
X2	: Rutin Konsantrasyonu

X3 : Gliserol Konsantrasyonu



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Aydın ERGE'ye, çalışmalarımızda katkılarını esirgemeyen Prof. Dr. Ömer EREN'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle yanımda olan aileme de teşekkür ederim.



1. GİRİŞ

Gıdaların minimum kalite kaybıyla ve en güvenli şekilde tüketiciye ulaştırılması gıda endüstrisinin öncelikli amaçlarından biridir. Gıdalar üretim ve depolama sırasında çeşitli sebepler nedeniyle bozulabilmektedir. Ambalaj malzemeleri de gıdaların muhafazası, depolama ve dağıtım zinciri boyunca korunması için önemli bir rol oynamaktadır (Popović vd , 2018).

Gıda endüstrisinde ambalaj, mühendislik teknolojileri kullanılarak ürünü her türlü etkiden koruyan bir bariyerdir. Aynı zamanda ürünün tanıtımını, taşınmasını, depolanmasını ve gerektiği durumlarda da geri çağırılmasını sağlayan önemli bir araçtır. Ambalaj sektörü de diğer sektörler gibi hızla gelişmektedir. Dünyamızda yaşanmaya devam eden küresel ısınma koşullarında sürdürülebilir çevre gibi konular giderek önem arz etmektedir. Ambalaj malzemesinin özelliklerinin belirlenmesi, ürünün barındırdığı özelliklerine göre yapılırken; günümüzde geri dönüşüm, tekrar kullanılabilirlik, sürdürülebilirlik ve sıfır atık yaklaşımı gibi bakış açıları ambalajın özelliklerini belirleyen koşullar haline gelmektedir (Keskin vd., 2018).

Petrol türevli ambalaj materyalleri, içerdikleri sentetik polimerler nedeniyle doğada çözünmeleri çok uzun süreler almaktadır. Doğada bozunmadıkları için UV ışınlarına fazlaca maruz kalırlar ve zehirleyici birtakım gazların açığa çıkmasına sebep olduklarından dolayı da çevresel kirliliğe neden olurlar (Atarés ve Chiralt 2016; Günkaya vd., 2016).

Dünyamızda geri dönüşümü olanaklı ve doğada çözünebilir materyallerin üretimi amacıyla yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Ambalaj endüstrisi de bu alanın içerisinde olup bu amaçla biyobozunur doğal polimerlerin kullanımı üzerinde durulmaktadır (Santos vd., 2018)

Biyobozunurluk kavramına anlam olarak bakıldığında bir maddenin mikroorganizmaların enzimatik faaliyetleriyle karbondioksit, su ve inorganik bileşiklere parçalanabilirliğidir (Bağış 2015).

Çoğunlukla da depolama ve taşıma aşamasında nem kaybını önlemek için kullanılan yenilebilir film ve kaplamalar, günümüzde gıdaların kalite özelliklerinin korunması ve raf ömrünün uzatılması için de kullanılabilmektedir (Çağrı Mehmetoğlu, vd., 2010).

Doğal polimerlerden çeşitli yollarla elde edilen filmlerin bariyer ve mekanik özellikleri zayıflık göstermektedir. Bunun için doğal polimerlerin yapılarının çeşitli organik veya inorganik katkıları kullanılması suretiyle güçlendirilmesine yönelik birçok çalışma yapılmaktadır (Romero-Bastida vd., 2016).

Bitkisel ve hayvansal kaynaklı lipit, polisakkarit ve proteinler, doğal polimer özelliğine sahip olarak film ve kaplama üretimlerinde kullanılabilirler. Film hazırlamak için kullanılan bu temel materyallerin kimyasal yapıları birbirlerinden farklılıklar göstermektedir. Dolayısıyla bunlardan elde edilen film özellikleri üzerine etkileri de farklı olmaktadır. Bugüne kadar yapılan çalışmalar genel olarak, lipit bazlı filmlerin su transferini azalttığını; polisakkarit bazlı filmlerde oksijen ve gaz geçişinin daha iyi kontrol edilebildiğini; protein temelli filmlerde ise mekanik dayanımın daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Film veya kaplama üretiminde doğal polimer olarak kullanılan bu üç ana materyal yanında plastikleştirici, emülsüfiye edici, çözücü, antioksidan ve antimikrobiyal ajanlar da kullanılmaktadır (Üstünol vd., 2009; Robertson, vd., 2013).

Jelatin, protein özelliğinde olup düşük maliyeti ile alternatif doğal polimer kaynaklarından birisi olarak gösterilmektedir. Film oluşturma ve biyobozunurluk özellikleri sayesinde gıda ambalajı üretiminde çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır (Kanmani ve Rhim, 2014).

Bu tez çalışmasında, kanatlı sanayi artıklarından elde edilen tavuk jelatini, farklı oranlardaki kafeik asit, rutin ve gliserol ile kombine edilerek biyobozunur özellikte ambalaj materyalleri üretimi ve bu sayede hayvansal bir artığın değerlendirilmesi suretiyle katma değer yaratılması ve çevre kirliliğinin önlenmesi, diğer taraftan ise petrol türevi ambalajlara alternatif çevre dostu ambalaj materyali üretimi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Biyo-Bozunur Ambalaj

Biyobozunma, doğada materyallerin maya ve bakteri gibi mikroorganizmalar yardımıyla parçalanması olarak tanımlanmaktadır (Gnanavel vd., 2012, Restrepo-Flórez vd., 2013).

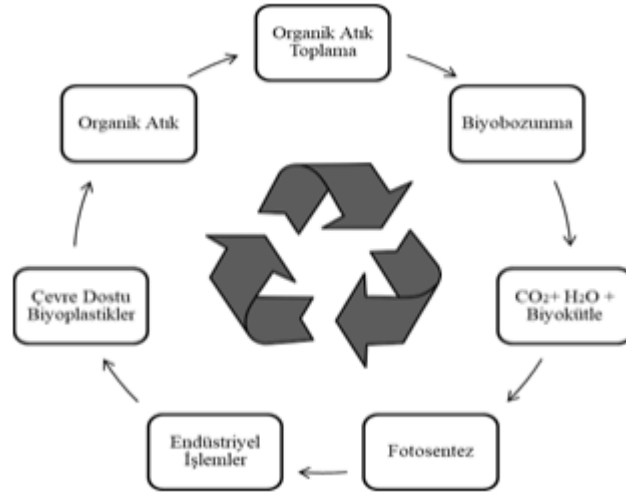
Son zamanlarda gıdaların ambalajlanması alanında ağırlık olarak biyobozunur ambalaj kullanımı ve geliştirilmesine yönelik çalışmalar mevcuttur. Biyobozunur ambalajlar, plastik ambalaj materyalleri yerine kullanılabilecek zararsız, çevre dostu, geri dönüştürülebilir maddelerdir (Tokiwa vd., 2009).

Biyobozunur polimerler mantar, alg ve bakteri gibi mikroorganizmaların enzimatik faaliyetlerinden dolayı biyoaktif bir çevrede bozunma gerçekleştirirler. Sonuç olarak geriye fazla miktarda kalıntı bırakmazlar. Biyobozunur malzemelerin biyodegradasyonu (organik bileşiklerin, canlı mikrobiyal organizmalar tarafından, enzimler ve yüzey aktif maddeler kullanarak küçük parçalara ayrılması) sonucunda polimerler biyokütle, su, humus, CO₂, CH₄, ve diğer doğal olan maddelere dönüşmektedir (Gross vd., 2002). Biyo-bozunur polimerlerin geri dönüşüm mekanizması Şekil 2.1’de verilmiştir.

Doğal kaynaklı filmler son yıllarda fazlaca araştırılmakta ve ilgi görmektedir. Aslında yenilebilir film ve kaplamaların gıdaların kaplanması kullanımı oldukça eskiye uzanmaktadır. 12. Yüzyıl başlarında Çin’de mumdan yapılan bazı kaplamaların kullanıldığı bilinmektedir. Yine Japonya’da da 15. Yüzyıl sonlarına doğru kaynamış soya sütünden üretilen filmler gıdaların korunması ve kalitesinin artırılması için kullanılmıştır (Pavlath vd., 2009).

İlk başlarda genel olarak gıdaların depolanması ve taşınması sırasında gerçekleşen nem kaybını azaltmak amacıyla kullanılmış olan kaplamalar, günümüz şartlarında gıdanın kalite özelliklerinin iyileştirilmesi ve de aynı zamanda raf ömrünün uzatılması için kullanılmaktadır (Çağrı Mehmetoğlu vd., 2010).

Gıdanın yüzeyinin ince bir film tabakasıyla kaplandığı ve gıdayla birlikte tüketilmesinde sorun teşkil etmeyen, sentetik bir içerik içermeyip tamamen doğal kaynaklardan elde edilen, uygulandığı gıdanın nem ve gaz geçirgenliğinin kontrolünü sağlayan filmler, yenilebilir nitelikteki ambalaj filmi olarak adlandırılır (Keleş, 2002).



Şekil 2.1. Biyo-bozunur polimerlerin geri dönüşüm halkası (Hazer, 2011; Thakur vd., 2018)

2.1.1 Biyo-Bozunur Filmlerde Kullanılan Doğal Biyopolimerler

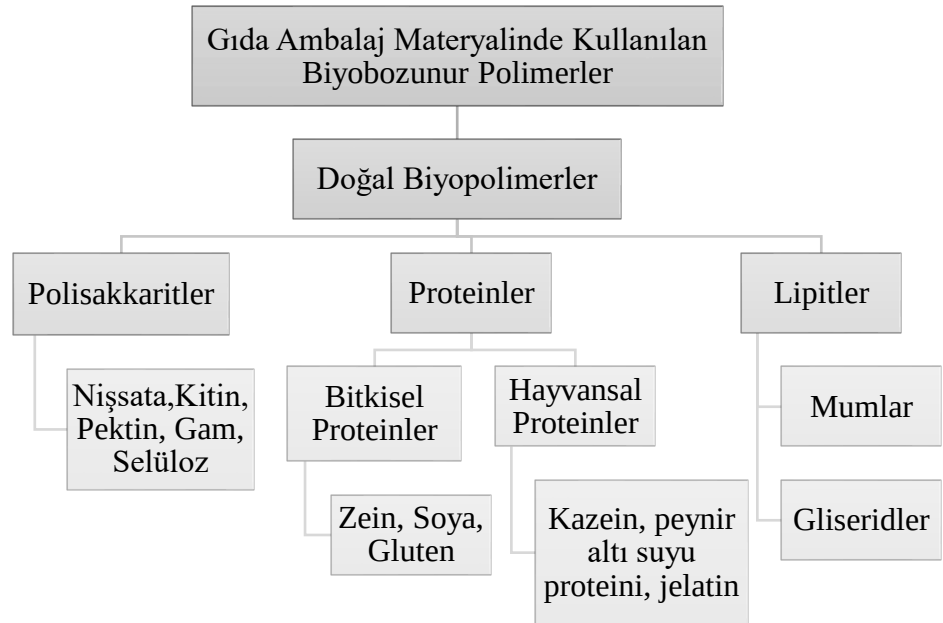
Doğada bulunan hayvansal ve bitkisel kaynakların yapısında (hayvan derisi, hayvan kemikleri, tohum, meyve, ağaçlar, yapraklar vb.) bir çok çeşit polimer bulunmaktadır. Bu polimerler çevreyle dost malzemeler olmasına rağmen çoğunun suda çözünürlük miktarlarının yüksek olması nedeniyle uzun müddetli kullanım gerektiren uygulamalar için yüksek dezavantajları bulunmaktadır. Gıda ambalajı üretiminde kullanılan biyo-bozunur polimerler Şekil 2.2’de verilmiştir.

Polisakkaritler, glikozidik bağlarla bağlanmış monosakkaritlerden oluşmuş kompleks yapıli karbonhidratlardır. Polisakkarit ve çeşitli türevleri maliyetlerinin düşüklüğü ve üretim kolaylığıyla film üretiminde tercih edilmektedir (Robertson vd., 2013). Polisakkarit filmlerdeki en önemli artı dayanıklılığı ve oksijen geçişinin az olmasıdır. Su geçirgenlikleri ise bir hayli azdır. Bu sebeple depolama sırasında ortaya çıkan ağırlık kaybını minimum miktara indirmek için gıda yüzeyine kalın katmanlı bir film şeklinde uygulanmaktadırlar (Pavlath vd., 2009). Karbonhidrat kökenli kaplamaların genel olarak gaz geçirgenliği düşüktür (Baldwin, 1994).

Polisakkarit yapıli kaplama ve yenilebilir film üretiminde nişasta, selüloz, aljinat, pektin, kitosan ve gamlar kullanılmaktadır (Robertson vd., 2013). Nişasta ve selüloz, biyobozunur ambalaj materyali üretiminde en çok kullanılan kaynakların başında gelmektedir (Gümüşderelioğlu, 2012). Nişasta genel olarak doğada en çok bulunan, yenilebilir özellik gösteren, biyolojik olarak kolay bir şekilde parçalanabilen ve düşük maliyetli bir doğal polimerdir (Bajpai, 2019).

Biyobozunur ambalaj üretiminde kullanılan protein yapıları polimerler bitkisel (gluten, zein, soya) ve hayvansal (jelatin, kazein, peyniraltı suyu) kaynaklı proteinler kullanılarak elde edilmektedir (Popović vd., 2018). Protein yapıları filmlerin çoğu mekanik özelliği oksijen transferine karşı iyi bir bariyer özelliği sunmaktadır. Fakat su buharı geçirgenlikleri yüksek olduğu belirtilmektedir (Cutter vd., 2006). Bu filmlerin bariyer özelliklerinin yüksek olması proteinlerin hidrofilik özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Robertson vd., 2013). Protein bazlı üretilen filmlerde, protein yapısına bağlı olarak geçirgenlik özelliği değişebilmektedir (Pavlath vd., 2009). Protein kaynaklı üretilen filmler kaplandıkları gıdanın besin değerini de artırmaktadır (Dursun vd., 2009).

Lipid esaslı biyopolimerlerin üretiminde kullanılan vaks ve gliseridler ambalaj malzemesine hidrofobik özellik kazandırarak su buharı geçişini aktif bir şekilde engellemektedir. Bu ambalaj filmlerinin fonksiyonelliği, doygunluk derecesi, fiziksel durum, vb. gibi lipidlerin karakteristik özelliklerinden etkilenmektedir (Ahmadzadeh ve Khaneghah, 2019). Lipitlerin polaritesi düşük olduğundan gıdadan nem kaybına ve dışarıdan nem transferine karşı oldukça koruyucudurlar. Yüzeylerinin kaygan oluşu, mumsu ve acı tatların dezavantajları olarak görülmektedir (Robertson vd., 2013).



Şekil 2.2. Gıda ambalaj materyallerinde kullanılan biyo-bozunur polimerler (Shankar ve Rhim, 2018)

2.2 Jelatin

Jelatin geçmiş yüzyıllarda ilk olarak zamlk üretmek amacıyla kullanılmıştır. İngiltere’de VIII. Henry (16. yüzyıl) zamanında özel tören yemekleri içerisinde jelatinin kullanıldığı belirtilmektedir. Jelatin retimi, zamanla endstriyellemiş ve günümüz şartlarında kendisine sayısız alanda uygulama alanı bulmuştur (Schrieber vd., 2007).

Jelatin, hayvansal bir protein olan kolajenin kontrollü ortamda hidrolizi sonucu elde edilen bir biyopolimerdir (Jimin vd., 2014). Kolajen yaklaşık 330 kDa molekül ağırlığında olup α -heliks ve fibriler yapıdadır. Suda çözünmeyen bir proteindir. Hayvansal dokular içerisinden kemik, deri, kıkırdak, tendon, ve dişlerde ana element olarak yüksek miktarlarda bulunur (Nelson vd., 2005).

Jelatinin iyonik yükü ve moleküler büyüklüğü elde edildiği kolajenin karakteristik özelliklerine göre değişmektedir (Ledward vd., 2000). Jelatinin iki ana fonksiyonel özelliği vardır. İlki jel oluşturma kabiliyetidir. Bu zellik yapıyı düzeltme, jelleşme ve su tutma kapasitesi gibi fonksiyonları içermektedir. İkinci zellik ise köpük oluşturma, emülsiyon, ve film oluşturma kapasitesi gibi yüzey ile ilgili özellikleri içerir (Gomez ve vd., 2011).

Dünya da üretilen jelatin büyük oranda gıda sanayi ve ilaç sanayi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Jelatin, gıda sanayisinde jelleştirici, koyulaştırıcı, su bağlayıcı, emülgatör, ve film materyali olarak kullanılmaktadır (Erge ve Zorba, 2016).

Jelatin dünyada çoğu yerde gıda katkı maddesi olarak sınıflandırılmaktadır. Jelatin kullanımının en önemli avantajlarından birisi de erime sıcaklığının insan vücut sıcaklığına yakın olmasıdır. Bu sayede ağızda rahatça eriyebilmekte ve dolayısıyla eklendiği gıdaya daha iyi aroma özelliği kazandırmaktadır. Bunlarla birlikte jelatinin, suda kolay şekilde çözünmesi, herhangi bir koku ve tat barındırmaması, birden fazla fonksiyonel özelliği bir arada gösterebilmesi nedeniyle tercih edilmektedir (Baziwane vd., 2003; Jones vd., 1977).

2.2.1 Jelatin retiminde Alternatif Kaynaklar ve Kanatlı Yan rnleri

Dünyada jelatin ihtiyacının % 46’sı domuz derisi, %29,4’ büyükbaş hayvan derisi , %23,1’i kemik ve %1,5’i balık ve kanatlı sanayi yan ürünleri gibi diğer

kaynaklardan elde edilmektedir. Bazı dini inançlara göre; İslamiyet ve Musevilikte domuz kaynaklı ürünlerin; Hindularda sığır kaynaklı ürünlerin yasak olması gibi sebeplerden dolayı ve sığır derisi gibi hayvansal kaynakların sınırlı miktarlarda olması nedeniyle son yıllarda jelatin üretiminde balık ve kanatlı endüstrisi yan ürünleri gibi farklı kaynak arayışları gündeme gelmektedir (Karayannakidis vd., 2016; Abedinia vd., 2020).

Jelatinin özellikleri, üretiminde kullanılan hammaddenin çeşidine, kollojen tipine göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin balık jelatininin avantajı olarak ağızda içerisinde kolayca çözünmesi ve damakta sakızimsı bir his bırakmaması gösterilebilir (Arnesen ve Gildberg, 2006). Fakat düşük seviyede reolojik özellik göstermesi, koku sorunu ve uygun hammaddenin yeterli şekilde teğmin edilememesi gibi dezavantajları da belirtilmektedir (Karim ve Bhat, 2009). Kanatlı kemiği uygun bir jelatin kaynağıdır. Fakat veriminin oldukça düşük olması önemli bir dezavantajdır. Kanatlı üretiminde ortaya çıkan derinin çeşitli et ürünleri üretiminde kullanılan önemli bir hammadde olması nedeniyle kanatlı derisinden jelatin üretiminin her zaman ekonomik olmadığı da belirtilmektedir (Schrieber ve Gareis, 2007).

Hızla büyüyen insan nüfusuyla birlikte üretimi kat kat artan hayvancılık endüstrisi, çevre için birçok sorun oluşturan hayli yüksek miktarlarda hayvansal atığın ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Tavukçuluk, ülkemiz hayvancılığı içerisinde en çok gelişme göstermiş sektördür. Kanatlı üretimi giderek artış göstermektedir. Son verilere bakıldığında dünya kanatlı üretimi %400 oranında artmıştır (Barbut, 2015). Kanatlı ve ürünleri üretimindeki bu yüksek miktarlardaki artış beraberinde atık sorunlarını getirmektedir. Dolayısıyla ortaya çıkan bu atıkların etkin bir şekilde katma değeri yüksek başka ürünlere dönüştürülerek değerlendirilmesi ve çevreye verilen olumsuz etkilerin en aza indirilmesi son yıllarda üzerinde önemle durulan konulardır.

Üretilen tavuk yan ürünlerinin yüksek oranda protein, enzim ve lipit içeriğine ilişkin birçok araştırma yapılmaktadır. Tavuk sanayiinde rendering işlemine gönderilen mekanik et posası, kemik, deri gibi unsurlardan katma değeri daha yüksek jelatin üretimine ilişkin araştırmalar yapılmaktadır. Mekanik kıyma posası gibi kanatlı yan ürünleri, potansiyel jelatin üretim kaynağı olarak gösterilmektedir. Kanatlı derisi uygun bir jelatin kaynağıdır. Bu tez çalışmasında kanatlı sanayisinde

açığa çıkan MAKE posasından elde edilen tavuk jelatini kullanılarak biyobozunur özellikte ambalajlar elde edilmiştir.

2.2.2 Jelatin Bazlı Filmler

Jelatinin diğer alternatiflerine göre kolay bulunup çok fonksiyonlu olması ve doğada kolay çözünebilmesi gibi avantajları sayesinde çevreye ekolojik olarak zarar vermeyen, doğa dostu bir ambalaj materyali olarak görülmektedir.

Diğer taraftan, jelatin bazlı filmler, sentetik ambalajlar ile kıyaslandığında düşük mekanik özellikler göstermesi gibi çeşitli dezavantajları da bulunmaktadır. Bunun için jelatin temelli ambalajların mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirilmesi amacıyla başka bileşenler ile kombine edilmesi veya farklı çapraz bağ işlemleri çeşitli işlemler uygulanabilmektedir (Fakhouria vd., 2015).

Erge ve Eren. (2021) yaptıkları çalışmada, elde ettikleri tavuk jelatini yapısını kafeik asit kullanılarak geliştirmişlerdir. Sonuç olarak kafeik asitin jelatin modifikasyonunda doğal bir polifenolik bileşik olarak etkili olduğu, jelatin jel sertliğinin geri dönüşsüz olarak arttığı ve jel renginin koyulaştığı rapor edilmiştir (Erge ve Eren., 2021).

Jelatine kitosan ilave edilmesiyle yapılan bir çalışmada kitin veya kitosan kullanılan filmlerde radyasyon uygulandığında filmlerin mekanik dayanımının ve kimyasal kararlılığı iyileşme gösterdiği görülmüştür (Elsabee vd., 2013).

Liu ve ark. (2007) yapmış oldukları çalışmada pektin ve jelatin/sodyum aljinat karışımına mısır yağı ve zeytinyağı ekleyerek ekstrüzyon yöntemiyle kaplama materyali elde etmişler ve bu materyalle sosisleri kaplamışlardır. Yapmış oldukları çalışma sonucunda karışıma yağ eklenmesiyle filmin kalite ve stabilitesinin arttığını tespit etmişlerdir.

Alehosseini vd., (2019) yapmış oldukları çalışmada jelatin ve zein temelli ambalaj materyali üretmişlerdir. Bu malzemeye, aktiflik özelliği kazandırmak amacıyla kurkumin ve yeşil çay ekstresi eklemişlerdir. Araştırma neticesinde jelatinin, yağlı ürünlerin muhafazasında, zeinin ise su oranı yüksek olan gıdaların muhafazasında daha etkili olduğunu rapor etmişlerdir (Alehosseini vd., 2019).

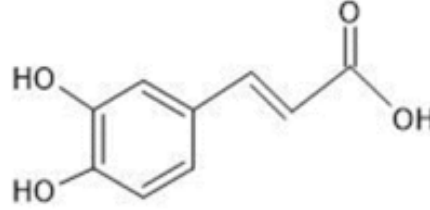
Bir başka çalışmada Cuive ark., (2018) ürettikleri jelatin temelli ambalaj materyaline zeytin yağı ve kitosan eklemişlerdir. Bu ambalaj materyalinin salatalıkların muhafazasında önemli bir antimikrobiyal etki gösterdiğini araştırma sonucu olarak bildirmişlerdir (Cui vd., 2018)

2.3 Kafeik Asit

Kafeik asit son yıllarda üzerinde çokça durulan doğal çapraz bağ yapıcı bileşiklerden birisidir (Kosaraju vd., 2010). Bu tez çalışmasında, elde edilen tavuk jelatini yapısının modifiye edilmesi ve geliştirilmesi amacıyla kafeik asit kullanılmıştır.

Kafeik asitler hidroksisinnamik asit sınıfına giren organik bir bileşiktir (Kot vd., 2015). İnsan beslenmesinde Kafeik asit yaygın olarak bulunur. Kekik, nane, kahve, çay, zeytin gibi gıdalarda karşılaşılmaktadır (Kępa vd., 2018; Araújo vd., 2019).

Luis ve ark., (2014) yapmış oldukları çalışmada gram (+) bakterilerle, biyofilm oluşturan *Staphylococcus aureus* bakterisine karşı kafeik asit ve farklı 2 fenolik bileşiğin daha antibiyofilm aktivitesini test etmişlerdir. Elde etmiş oldukları sonuçlara bakıldığında, kafeik asit 4 mg/mL-1 konsantrasyonda biyofilm kütlelerinin %80'ini azaltmayı başarmıştır. (Luis vd., 2014)

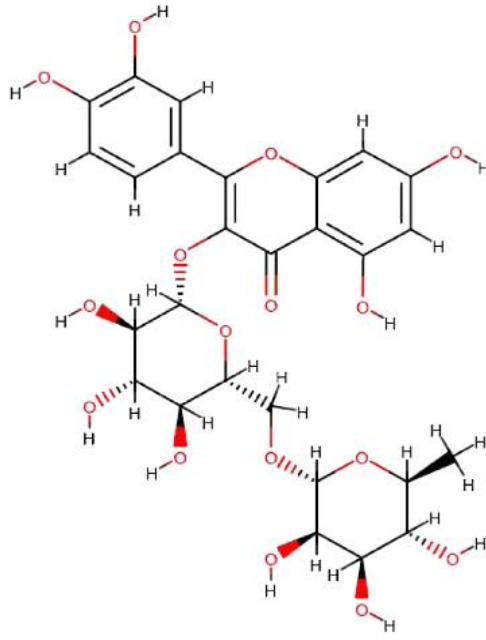


Şekil 2.3. Kafeik asitin yapısı

2.4 Rutin

Rutin, antimikrobiyel, antiinflamatuvar, antikanser ve antidiyabetik farmakolojik özellikleri barındıran besinsel bir flavanoiddir. Aynı zamanda çeşitli çalışmalarda proteinlerin çapraz bağ işlemlerinde başarıyla kullanıldığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında, elde edilen tavuk jelatini yapısının modifiye edilmesi ve geliştirilmesi amacıyla ikinci bir çapraz bağ yapıcı olarak rutin kullanılmıştır.

Rutin aynı zamanda adını, rutin içeren *Ruta graveolens* bitkisinden almıştır. Bitkilerde doğal olarak bulunur ve flavonol yapısına sahip lipofşlik özellikli bir maddedir (Saklani vd., 2016).



Şekil 2.4. Rutin kimyasal yapısı

3. MATERYAL VE YÖNTEM

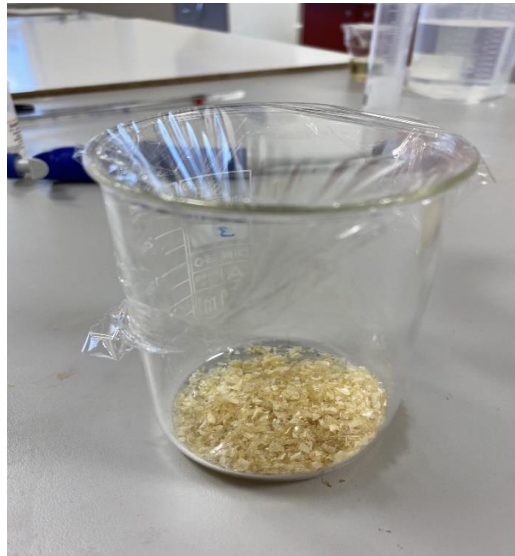
3.1 Materyal

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 (Sigma, ...) kullanılmıştır. Telatin temelli filmlerde plastikleştirici olarak ise gliserol (Sigma, ...) kullanılmıştır.

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. (Erge ve Zorba, 2018). Tavuk MAKE posa örnekleri, demineralizasyon için %3’lük HCl çözeltisi içerisinde 24 saat boyunca 10°C’de bekletilmiştir. Üretilen 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 Çapraz Bağ Reaksiyonu ve Film Solüsyonlarının Hazırlanması

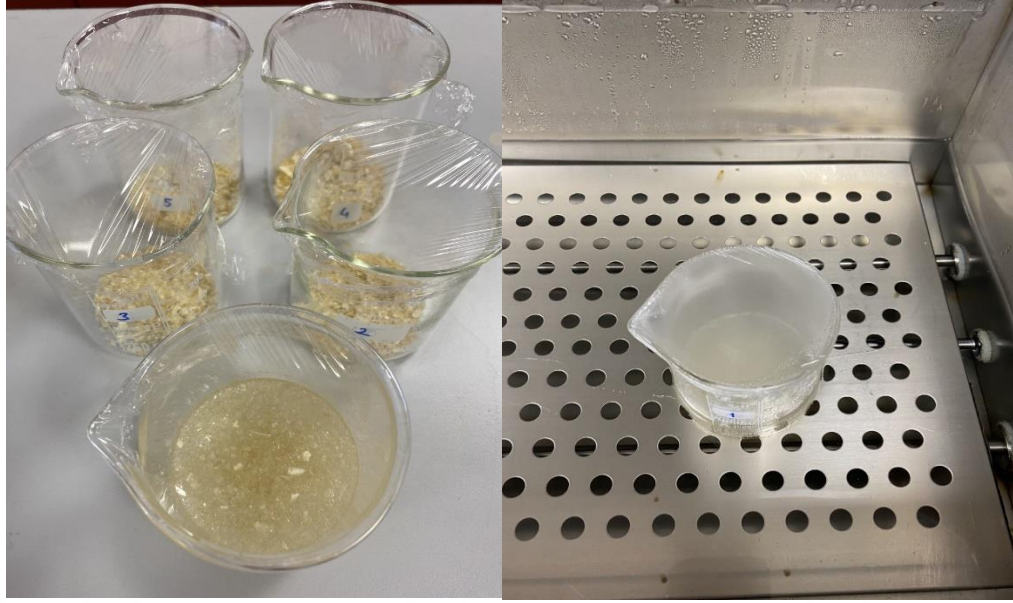
Önceki ekstraksiyondan elde edilen tavuk jelatini, Muamele Kombinasyonlarında (Tablo 3.1) belirtilmiş olan konsatrasyonlarda kafeik asit, rutin ve gliserol kullanılarak çapraz bağ yaptırılmış ve reaksiyonlar gerçekleştirilerek, film solüsyonları hazırlanmıştır.

Kafeik asit, rutin ve gliserol oranları, kullanılan tavuk jelatininin miktarına göre hesaplanarak oranlanmıştır. (%KA/jelatin, %RT/Jelatin, %GL/Jelatin). İlk önce kafeik asit ve rutin solüsyonları çapraz bağ yapıcı olarak %1'lik stok çözeltileri ayrı ayrı hazırlanmıştır. Bunun için (%1'lik) kafeik asit/rutin solüsyonları (w/w) manyetik karıştırıcıda 30 dk süresince karıştırılmış suda çözündürme şeklinde pH:9-10 aralığında hazırlanmıştır. Solüsyonun pH'sı 1M NaOH ile ayarlanmıştır. Sonrasında ayrı bir kaptan % 8.34'lük jelatin solüsyonu hazırlanmıştır (Fotoğraf 3.2). Bunun için de jelatin soğuk suda 15 dakika bekletilip sonrasında 65°C'de 25 dakika bekletilmiştir. Jelatin solüsyonuna, gliserol plastikleştirici olarak eklendikten sonra pH'sı 9-10 aralığına ayarlanmıştır. Daha sonra kafeik asit/rutin solüsyonları ve jelatin solüsyonları, muamele kombinasyonlarına göre karıştırıldıktan sonra 52,5°C'de, 20 dakika boyunca oksijen verilmiştir (Hikoneb OxyBreath 10 L, Türkiye). Bu işlemin yapılma amacı çapraz bağ oluşumunun gerçekleşmesidir.

Tablo 3.1. Muamele kombinasyonları

NO	%CA	%RUT	%GL
1	0	0	30
2	0	1,25	15
3	0	1,25	45
4	0	2,5	30
5	1,25	0	15
6	1,25	0	45
7	1,25	1,25	30
8	1,25	1,25	30
9	1,25	1,25	30
10	1,25	2,5	15
11	1,25	2,5	45
12	2,5	0	30
13	2,5	1,25	15
14	2,5	1,25	45
15	2,5	2,5	30

*CA: Kafeik asit, Rut: Rutin, GL:Gliserol



Fotoğraf 3.2. Tavuk jelatini solüsyonu

3.2.3 Filmlerin Hazırlanması

Hazırlanmış olan solüsyonlar, yaklaşık aynı kalınlıklarda (üniform) film üretmek amacıyla manuel plaka kaplayıcı (Fotoğraf 3.3) yardımıyla 20x20 cm'lik kare PVC levha üzerine dökülerek, 500 μ kalınlıkta kaplanmıştır. Plaka kaplayıcıda levha üzerine kaplanan filmler 38°C sıcaklıkta fanlı etüvde 48 saat süresince kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan plakalar rafta jelatini çıkarılmadan önce bekletilmiştir (Fotoğraf 3.4).



Fotoğraf 3.3. Plaka kaplayıcıda yayma yöntemiyle film üretimi



Fotoğraf 3.4. Etüvden çıkan örnekler

3.3 Analizler

3.3.1 Filmlerde Kalınlık Ölçümü

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

3.3.2 Filmlerde Nem Ölçümü

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

3.3.3 Filmlerin Işık Geçirgenlik Özelliklerinin 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 ışık geçirgenlik değeri belirlenmiştir (Núñez-Flores vd., 2013).

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

*600 nm dalga boyundaki absorbans değeri, X ise film kalınlığı (mm) olarak değerlendirilmiştir. Ölçümler üç tekrarlı şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.3.4 Filmlerin Suda Çözünürlük 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 (So) olarak belirlenmiştir. Tartımı yapılmış olan örneklerle 30 mL mikarında 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 ve ark., 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 metodu modifiye edilerek 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 sonrada sağlam olması için parafin 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 iki saatlik periyotlar halinde tartılmıştır (Fotoğraf 3.5). Tartımlar hassas terazi kullanılarak 0.0001 g duyarlılıkta yapılmıştır. Her bir film için üç paralli şekilde çalışılmıştır. Analiz öncesinde silika 180°C'de 3 saat süresince kurutulmuştur (Wu vd., 2013). Hesaplamalar için ağırlık–zaman grafiğinin lineer olduğu bölge (R2≥0.98)'de denklem aşağıdaki eşitliğe göre yapılmıştır.

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

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

*Burada 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 3.5. Desikatörden çıkarılan örnekler

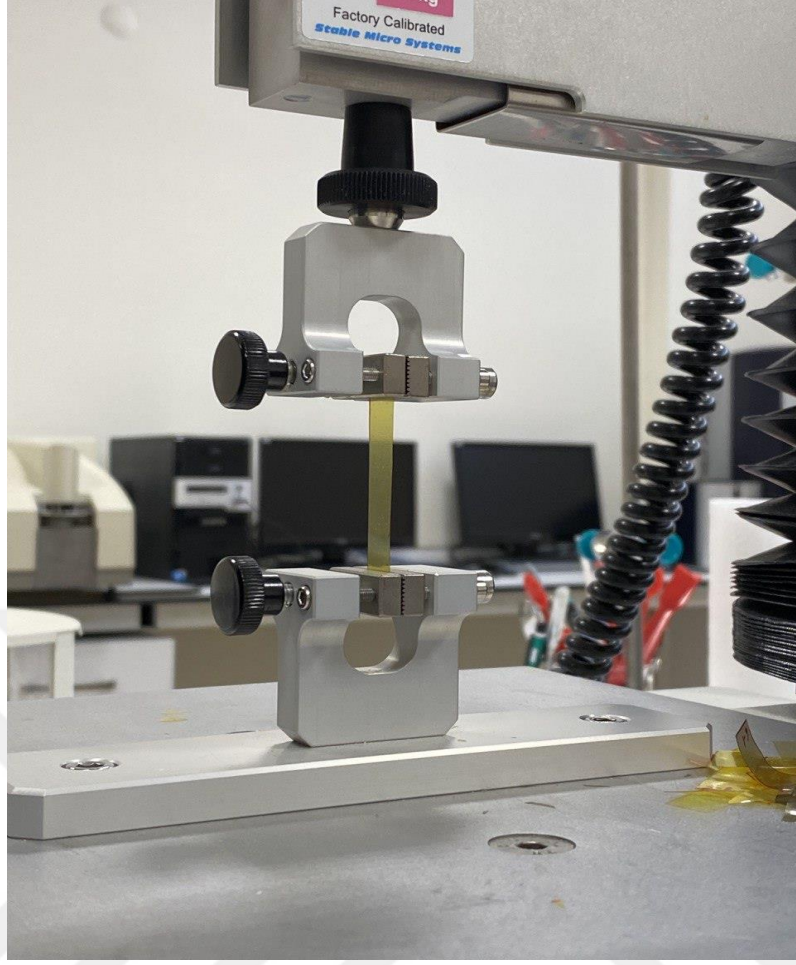
3.3.6 Filmlerin Mekaniksel Özelliklerinin Ölçülmesi

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 3.6 ve 3.7). Filmler 10x60 mm ölçütlerinde kesilmiş ve %30'lük 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 uzayabilirlik (Elongation at break -EB) değerleri sırasıyla aşağıdaki formüllerdeki gibi hesaplanmıştır (Liu vd., 2016).

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

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

*Burada L0 filmin ilk uzunluğu, L ise filmin kopma anındaki uzunluğudur.



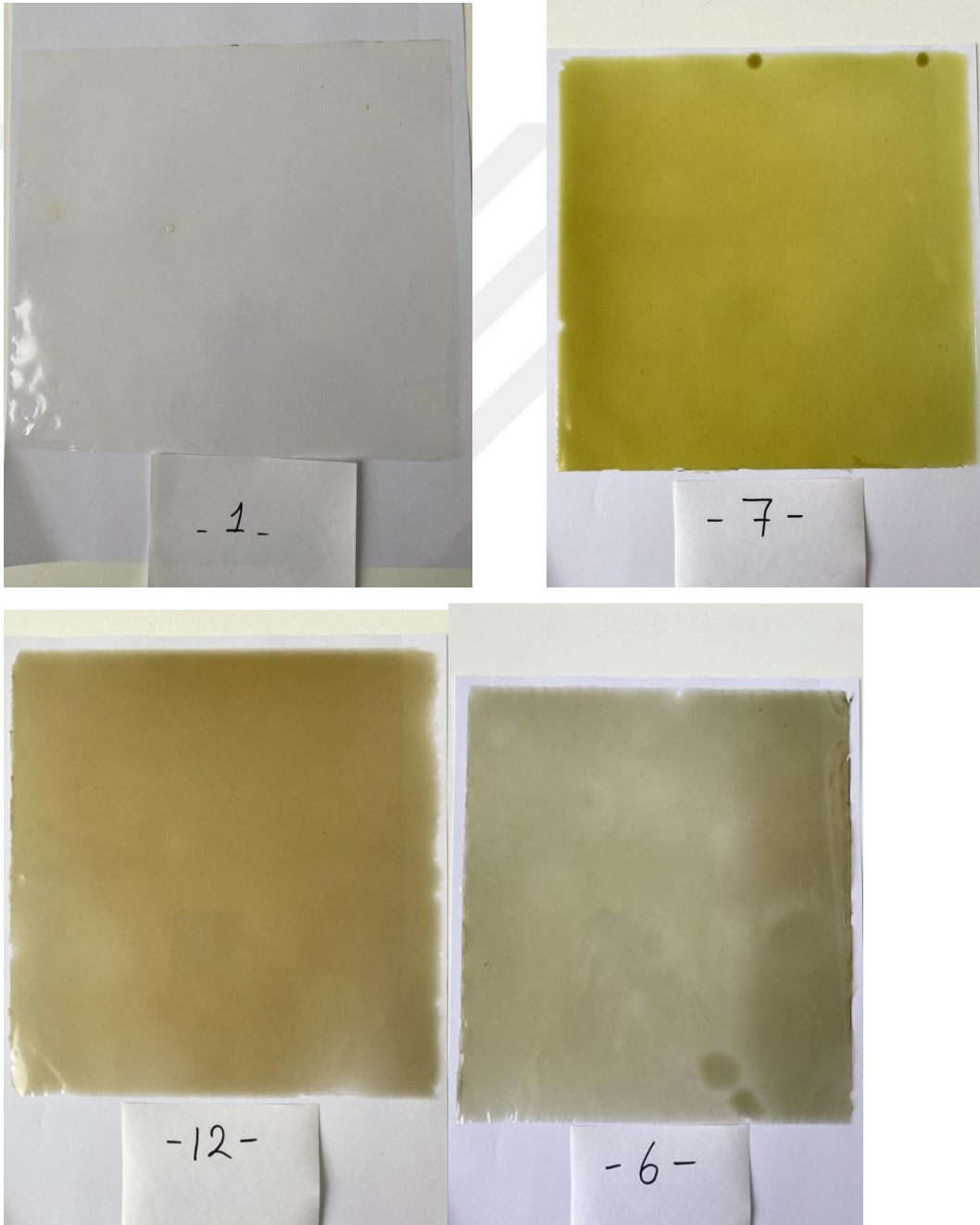
Fotoğraf 3.6. Tekstür analiz cihazına yerleştirilen örnek



Fotoğraf 3.7. 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, Japan) reflektans kolorimetresi kullanılarak direkt ölçülmüştür. Ölçüm öncesinde cihaz beyaz plakayla kalibre edilmiştir. L^* : aydınlık, a^* : (+) ise kırmızı, (-) ise yeşil, b^* : (+) ise sarı, (-) ise mavi koordinatlarını göstermektedir. Elde edilen her örnekte en az iki okuma yapılmış ve ortalaması alınmıştır (Erge ve Zorba, 2018). Deney desenindeki 1, 6, 7 ve 12 nolu kombinasyonlara ait film örnekleri Fotoğraf 3.8’de gösterilmiştir.



Fotoğraf 3.8. Renk ölçümü yapılmış örnekler

3.3.8 İstatistiksel Analizler

İstatistiksel analizler yanıt yüzeyi yöntemine (Response Surface Methodology) göre, 2 merkez noktalı merkezi bileşik desen (Central Composite Design) modeli esas alınarak deneme iki tekerrürlü olacak şekilde yürütülmüştür. Araştırmada kafeik asit, rutin ve gliserol konsantrasyonu olmak üzere üç faktörün etkisi de araştırılmıştır. Modele ait eşitlik aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1, j \neq i}^3 \beta_{ij} X_i X_j$$

Burada temsil edilen β_0 , β_i , β_{ii} , β_{ij} sabit ve modelin regresyon katsayısıdır. X_i ve X_j de bağımsız değişkenlerin seviyeleridir. Film solüsyonu içerisinde kafeik asit, rutin ve gliserol % oranları olmak üzere üç değişkenli, ikinci derece bir modelin bu denemeye uyumu yapıp sonuçta lineer, kuadratik ve ikili kombinasyonların interaksiyon etkileri ve önemlilik dereceleri paket program (SAS 6.12) kullanılarak belirlenmiştir. X dizayn matrisi ve Y yanıt vektörüne göre, En Küçük Kareler Eşitliği $b = (X'X)^{-1}X'Y$ şeklinde oluşmuştur (Canal, 2008). Faktörlerin iki boyutlu etkilerini gösteren grafikler aşağıda Şekil 'de gösterilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Değişkenlerin Film Kalınlıkları Üzerine Etkisi

Faktörlerin film kalınlıkları üzerine etkisini açıklayan polinomiyal modele ait eşitlik aşağıdadır.

$$Y = 0.062 - 0.00059X_1 + 0.0019X_2 + 0.0016X_3 - 0.0016X_1^2 + 0.00043X_2X_1 - 0.0012X_2^2 + 0.0021X_3X_1 - 0.0014X_3X_2 + 0.0011X_3^2$$

Faktörlerin film kalınlıkları üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film kalınlıkları üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	K.O	F
Model	9	0,00019673	0,8240
X ₁ (CA,%)	1	0,00000562	0,2120
X ₂ (RUT,%)	1	0,00005867	2,2116
X ₃ (GL,%)	1	0,00004216	1,5893
X ₁ *X ₁	1	0,00001836	0,6921
X ₂ *X ₁	1	0,00000149	0,0561
X ₂ *X ₂	1	0,00000997	0,3760
X ₃ *X ₁	1	0,00003443	1,2977
X ₃ *X ₂	1	0,00001601	0,6035
X ₃ *X ₃	1	0,00000845	0,3185
Uyum Eksikliği	3	0,00015716	2,3852
Genel	15		

**: P<0.01

*: P<0.05

Tablo 4.1'de gibi, film kalınlıkları üzerinde kafeik asit, rutin ve gliserol faktörlerinin istatistiksel bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

4.2 Değişkenlerin Film Nem Değerleri Üzerine Etkisi

Faktörlerin filmlerin nem değerleri üzerine etkisini açıklayan polinomiyal modele ait eşitlik aşağıdadır.

$$Y = 5.42 - 0.27X_1 - 0.22X_2 + 4.11X_3 + 0.102X_1^2 - 0.15X_2X_1 + 0.15X_2^2 + 0.16X_3X_1 - 0.22X_3X_2 + 2.63X_3^2$$

Faktörlerin film nem özellikleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.2.'de verilmiştir.

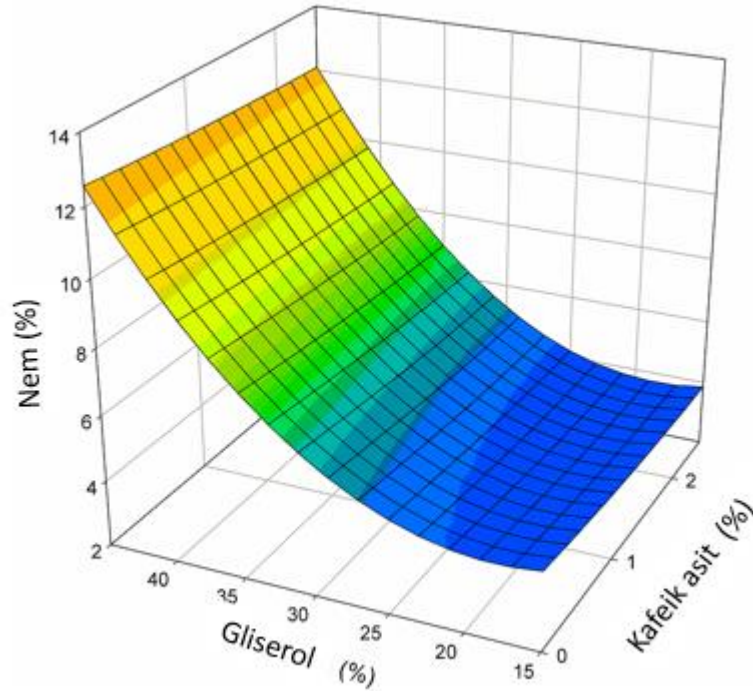
Tablo 4.2. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film nem değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	K.O	F
Model	9	324,06730	19,7270
X ₁ (CA,%)	1	1,15341	0,6319
X ₂ (RUT,%)	1	0,77786	0,4262
X₃ (GL,%)	1	270,18357	148,0226**
X ₁ *X ₁	1	0,07647	0,0419
X ₂ *X ₁	1	0,18170	0,0995
X ₂ *X ₂	1	0,15660	0,0858
X ₃ *X ₁	1	0,20953	0,1148
X ₃ *X ₂	1	0,40316	0,2209
X ₃ *X ₃	1	51,06473	27,9763**
Uyum Eksikliği	3	4,352277	0,7670
Genel	29		

** : P<0.01

* : P<0.05

Tablo 4.2’de, filmlerin nem değerleri üzerinde gliserol oranı lineer ve karesel etkilerinin istatistiksel olarak (P<0.01) önemli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. Nem değerine gliserol ve kafeik asit oranlarının etkisi

Gliserol higroskopik özelliğe sahip olduğundan dolayı, film içerisindeki konsantrasyonu arttıkça film nem miktarında da artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.1). Diğer taraftan nem değerleri üzerine kafeik asitin gözle görülür bir etkisinin olmadığı da saptanmıştır. Bu konuda literatüre bakıldığında Ji-Hyun Lee (2015),

yaptığı çalışmada jelatin yapılı filmlerde gliserol miktarının artmasıyla birlikte nem içeriğinin arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

4.3 Değişkenlerin Filmlerin Suda Çözünürlük Değerleri Üzerine Etkisi

Faktörlerin filmlerin suda çözünürlük oranları üzerine etkisini açıklayan polinomiyal modele ait eşitlik aşağıdadır.

$$Y = 23.99 + 0.31X_1 + 0.79X_2 + 4.58X_3 + 1.045X_1^2 - 0.25X_2X_1 - 0.02X_2^2 - 0.094X_3X_1 - 0.24X_3X_2 - 1.92X_3^2$$

Faktörlerin film suda çözünürlük değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.3.'te verilmiştir.

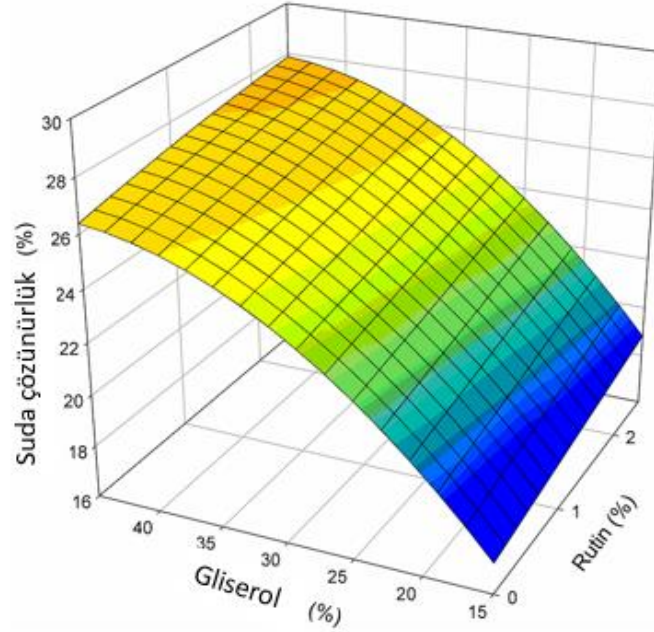
Tablo 4.3. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film suda çözünürlük değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	K.O	F
Model	9	385,92486	20,2305
X ₁ (CA,%)	1	1,58570	0,7481
X ₂ (RUT,%)	1	10,06081	4,7466*
X ₃ (GL,%)	1	335,54753	158,3074**
X ₁ *X ₁	1	8,06365	3,8043
X ₂ *X ₁	1	0,48888	0,2306
X ₂ *X ₂	1	0,00288	0,0014
X ₃ *X ₁	1	0,06995	0,0330
X ₃ *X ₂	1	0,46929	0,2214
X ₃ *X ₃	1	27,12716	12,7983**
Uyum Eksikliği	3	3,569075	0,5210
Genel	29		

** : P<0.01

* : P<0.05

Tablo 4.3'te görüldüğü gibi, filmlerin suda çözünürlük değerleri üzerinde gliserol oranı lineer ve karesel etkilerinin istatistiksel olarak (P<0.01) önemli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. Suda çözünürlük değerine gliserol ve rutin miktarlarının etkisi

Suda çözünürlük, ambalaj filmlerinin suya dayanımı ve özellikle su içeriği yüksek gıda maddelerinin muhafazasında bütünlüğünü koruması bakımından önemli bir kalite parametresidir.

Üç boyutlu grafik (Şekil 4.2) İncelendiğinde gliserol miktarı arttıkça filmlerin suda çözünürlük oranının da arttığı görülmektedir. Ayrıca, suda çözünürlük üzerinde gliserol etkisinin, rutine kıyasla daha yüksek olduğu da görülmüştür. Bu çalışmada en düşük çözünürlük değeri (%16.5), 5. Kombinasyona (%1.25 KA, %0 RUT, ve %15 GL) ait filmlerde görülmüştür (Ek1). Çözünürlükteki bu azalış, kafeik asit etkisiyle oluşan çapraz bağlara ve dolayısıyla daha sıkı bir film yapısının oluşmasına bağlanmıştır.

Inyoung Choi ve diğerleri, (2018), jelatin ve zerdeçal bazlı biyobozunur filmlerde kafeik asit ile çapraz bağlama işleminin suda çözünürlüğü azalttığını bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada Fei Liu ve ark. (2017), bizim çalışmamıza benzer olarak gliserolün jelatin temelli filmlerin suda çözünürlük değerleri üzerinde artırıcı bir etkisinin olduğunu, gliserol konsantrasyonundaki artışın çapraz bağlanma derecesini düşürdüğünü, buna bağlı olarak da filmlerin suda çözünürlüğünü artırdığını bildirmişlerdir.

4.4 Değişkenlerin Filmlerde Su Buharı Geçirgenliği Değerleri Üzerine Etkisi

Faktörlerin film su buharı geçirgenliği özellikleri üzerine etkisini açıklayan polinomiyal modele ait eşitlik aşağıdadır.

$$Y = 0.0012 + 0.00003X_1 + 0.00005X_2 + 0.00028X_3 + 0.00016X_1^2 - 0.00006X_2X_1 + 0.00012X_2^2 + 0.00007X_3X_1 - 0.000013X_3X_2 - 0.000023X_3^2$$

Faktörlerin film su buharı geçirgenliği değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.4.'te verilmiştir.

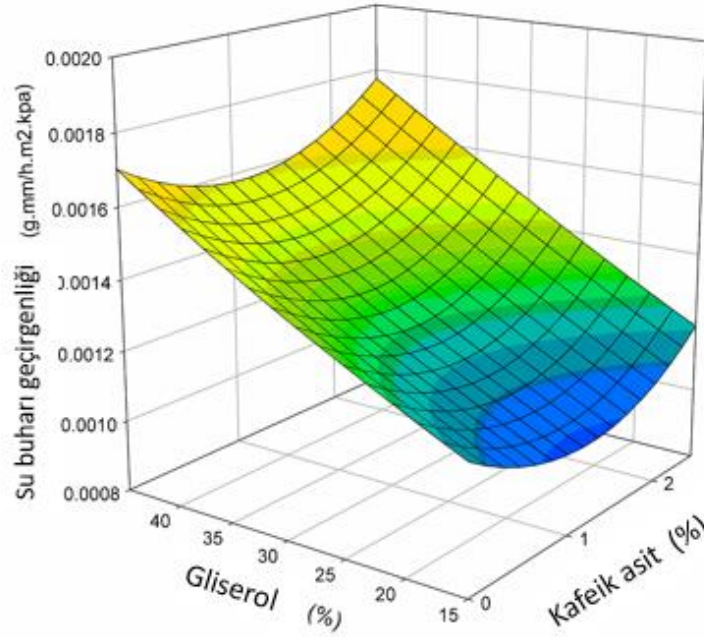
Tablo 4.4. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film su buharı geçirgenliği değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	K.O	F
Model	9	0,00000167	5,0178
X ₁ (CA,%)	1	1,29518e-8	0,3507
X ₂ (RUT,%)	1	3,65505e-8	0,9897
X ₃ (GL,%)	1	0,00000127	34,5177**
X ₁ *X ₁	1	1,915397	5,1863*
X ₂ *X ₁	1	2,859688	0,7743
X ₂ *X ₂	1	1,013217	2,7435
X ₃ *X ₁	1	4,058798	1,0990
X ₃ *X ₂	1	1,240419	0,0336
X ₃ *X ₃	1	3,990659	0,1081
Uyum Eksikliği	3	4,984518	0,4101
Genel	29		

** : P<0.01

* : P<0.05

Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi, filmlerin su buharı geçirgenliği üzerinde gliserol oranı (P<0.01) lineer ve kafeik asit karesel (P<0.05) etkilerinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. Su buharı geçirgenliğine gliserol ve kafeik asit miktarlarının etkisi

Bu parametreye ait üç boyutlu grafik (Şekil) İncelendiğinde gliserol miktarı arttıkça filmlerin su buharı geçirgenliği değerinin arttığı görülmektedir. Diğer taraftan, en düşük su buharı geçirgenliğinin ise yaklaşık %1 kafeik asit içeren örnekte olduğu aynı grafikte gözlenmektedir. Bu çalışmada en düşük su buharı geçirgenliği değerinin (0.0009 g.mm/h.m2.kpa) 9 nolu kombinasyona (%1.25 KA, %1,25 RUT, ve %30 GL) ait olduğu görülmüştür (Ek 1).

Jelatin filmlerinde gliserol miktarı arttıkça, su buharı geçirgenliği değerlerindeki artış, filmlerin gelişen hidrofilik karakter özelliği ile ilişkilendirilebilir.

Elde ettiğimiz sonuçlara paralel olarak Rivero ve ark. (2010), gliserol konsantrasyonunun %40'ın (g/100 g jelatin) üzerine çıkarılmasıyla jelatin bazlı filmin su buharı geçirgenliği değerlerinin arttığını bildirmiştir. Başka bir çalışmada Elnaz Parsaei ve ark. (2022), bazı fenolik asitler (Kafeik asit ve tanik asit) tarafından çapraz bağ yapılarak modifiye edilen balık jelatini bazlı filmlerin su buhar geçirgenliği seviyesinin önemli ölçüde azaldığını ($P < 0.05$) bildirmişlerdir.

4.5 Değişkenlerin Filmlerde Gerilme Direnci Değerleri Üzerine Etkisi

Faktörlerin filmlerin gerilme direnci değerleri üzerine etkisini açıklayan polinomiyal modele ait eşitlik aşağıdadır.

$$Y = 38.04 - 4.38X_1 + 2.178X_2 - 16.63X_3 + 6.55X_1^2 - 0.75X_2X_1 + 0.52X_2^2 + 5.32X_3X_1 - 2.18X_3X_2 - 1.112X_3^2$$

Faktörlerin film gerilme direnç değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.5.'te verilmiştir.

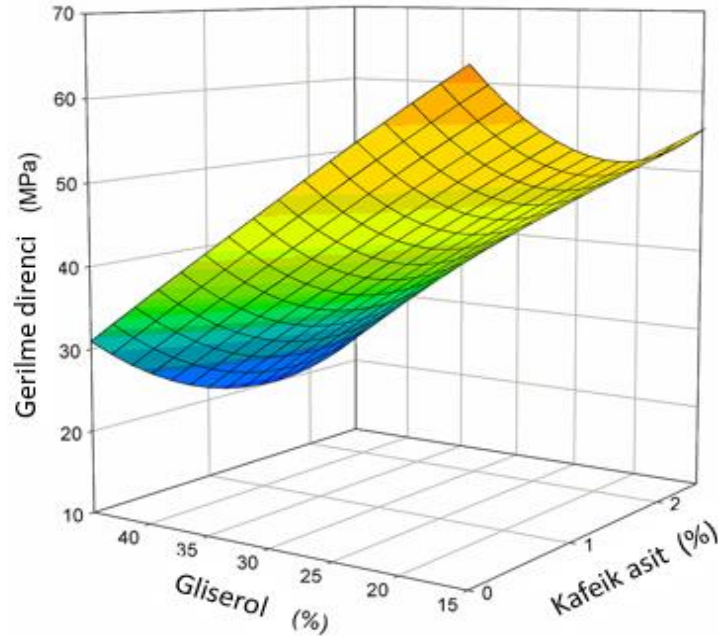
Tablo 4.5. Kafeis asit, rutin ve gliserol oranının film gerilme direnç değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	K.O	F
Model	9	5409,3096	7,9237
X ₁ (CA,%)	1	306,2500	4,0374
X ₂ (RUT,%)	1	75,8641	1,0001
X ₃ (GL,%)	1	4422,2500	58,3003**
X ₁ *X ₁	1	316,8991	4,1778
X ₂ *X ₁	1	4,4701	0,0589
X ₂ *X ₂	1	2,0225	0,0267
X ₃ *X ₁	1	226,2065	2,9822
X ₃ *X ₂	1	37,8450	0,4989
X ₃ *X ₃	1	9,1259	0,1203
Uyum Eksikliği	3	215,6842	0,9392
Genel	29		

** : P<0.01

* : P<0.05

Tablo 4.5'te görüldüğü gibi, filmlerin gerilme direnci değerleri üzerinde gliserol oranı (P<0.01) lineer etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.4. Gerilme direncine gliserol ve kafeik asit miktarlarının etkisi

Ambalaj malzemelerinin gerilme direnci, gıda ambalajlarının koruyuculuğunun önemli bir göstergesidir. Daha iyi bir sızdırmazlık ve yük

dayanımı için ambalaj filmlerinde genellikle gerilme direnci değerlerinin yüksek olması tercih edilmektedir (Said ve Sarbon, 2022).

Bu çalışmada, gliserolün, jelatin filmlerin gerilme direnci üzerindeki etkisinin anlamlı ($P<0.01$) olduğu gözlenmiştir (Tablo 2). Üç boyutlu grafik incelendiğinde gerilme direnci değerinin, gliserol miktarının artmasıyla azaldığı görülmüştür. En yüksek gerilme direnci değeri (84 MPa) 2. Kombinasyona ait örnekte (%0 KA, %1,25 RUT ve %15 GL) saptanmıştır (Ek 1). Jelatin filmlerin mekanik özellikleri ile yapılarında bulunan üçlü heliks oluşumları arasında bir korelasyon bulunmaktadır. Bu çalışmada gerilme direncindeki artış, çapraz bağ oluşumu neticesinde daha büyük molekül ağırlığına sahip yapıların meydana gelmesi ile ilişkilendirilmiştir. Çapraz bağlanmaların, jelatinin yapısında birçok yeni üçlü heliks yapının oluşmasına ve dolayısıyla jelatin peptit zincirlerinin birbirlerine daha fazla yaklaşmalarına neden oldukları düşünülmüştür (Kosaraju vd., 2010). Diğer taraftan, gliserolün gerilme direncini azaltması, protein zincirleri arasındaki interaksiyonların azalmasına bağlanmıştır. Araştırmamız, doğal fenoliklerle çapraz bağlayarak tavuk jelatini modifikasyonunun başarılı olabileceğini ve yüksek gerilme direnci değerlerine ulaşılabilirliğini göstermiştir.

4.6 Değişkenlerin Filmlerde Uzama Oranı Üzerine Etkisi

Faktörlerin filmlerin uzama oranları üzerine etkisini açıklayan polinomiyal modele ait eşitlik aşağıdadır.

$$Y = 5.97 - 1.33X_1 - 1.75X_2 + 15.57X_3 + 1.86X_1^2 - 0.33X_2X_1 - 1.704X_2^2 - 0.19X_3X_1 - 4.003X_3X_2 + 14.305X_3^2$$

Faktörlerin film uzama değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.6.'da verilmiştir.

Tablo 4.6. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film uzama değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları

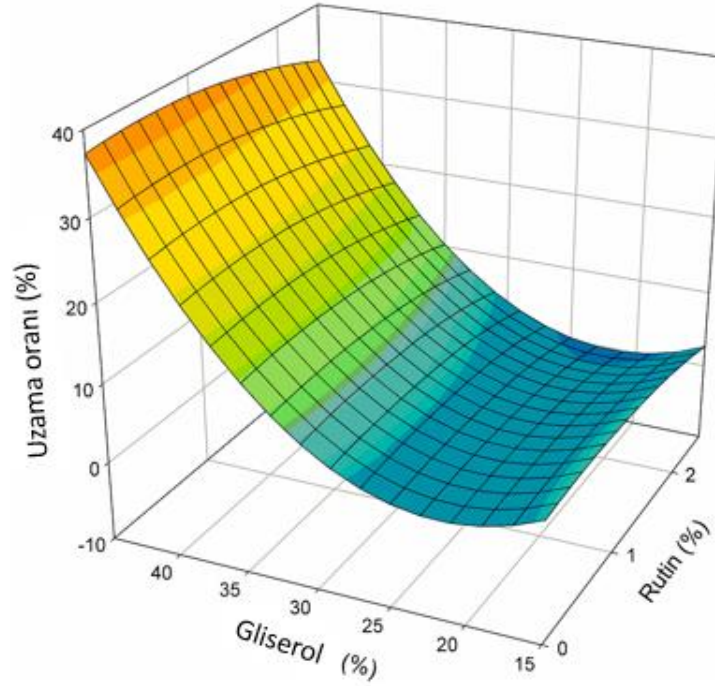
Varyasyon Kaynağı	SD	K.O	F
Model	9	905,7245	10,5139
X ₁ (CA,%)	1	4,54756	0,4751
X ₂ (RUT,%)	1	7,86803	0,8220
X ₃ (GL,%)	1	620,38356	64,8145**
X ₁ *X ₁	1	4,06662	0,4249
X ₂ *X ₁	1	0,13781	0,0144
X ₂ *X ₂	1	3,43141	0,3585
X ₃ *X ₁	1	0,04805	0,0050

$X_3 * X_2$	1	20,51201	2,1430
$X_3 * X_3$	1	241,78883	25,2609**
Uyum Eksikliği	3	18,42791	0,6036
Genel	29		

** : $P < 0.01$

* : $P < 0.05$

Tablo 4.6’da görüldüğü gibi, filmlerin uzama değerleri üzerinde gliserol oranı ($P < 0.01$) lineer ve kuadratik etkilerinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. Uzama oranına gliserol ve rutin miktarlarının etkisi

Bu parametreye ait üç boyutlu grafik (Şekil 4.5) incelendiğinde Gliserol miktarının artmasıyla birlikte uzama değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek uzama değeri (%51,08) 3. örnekte (%0 KA, %1,25 RUT ve %45 GL) ve en düşük uzama değeri ise (%2,58) 13. Örnekte (%2,5 KA, %1,25 RUT, %15 GL) bulunmuştur (Ek 1). Bulmuş olduğumuz bu sonuçlar, Suderman ve Sarbon (2022)’un bulguları ile uyumlu bulunmuştur. Onlar da yanı şekilde artan gliserol miktarı ile uzama oranının yükseldiğini rapor etmişlerdir. Bu sonuç, plastikleştiricilerin protein molekülleri arasındaki moleküller arası etkileşimleri azaltması sonucunda filmlerin uzayabilirlik ve elastikiyetlerinin artırması olarak ifade edilebilir.

4.7 Değişkenlerin Filmlerde L Değeri Üzerine Etkisi

Faktörlerin filmlerin L* değeri üzerine etkisini açıklayan polinomiyal modele ait eşitlik aşağıdadır.

$$Y = 71.94 - 10.64X_1 - 1.009X_2 + 0.29X_3 + 5.59X_1^2 + 0.065X_2X_1 - 0.49X_2^2 + 0.85X_3X_1 + 0.67X_3X_2 - 0.85X_3^2$$

Faktörlerin film L* renk değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.7.'de verilmiştir.

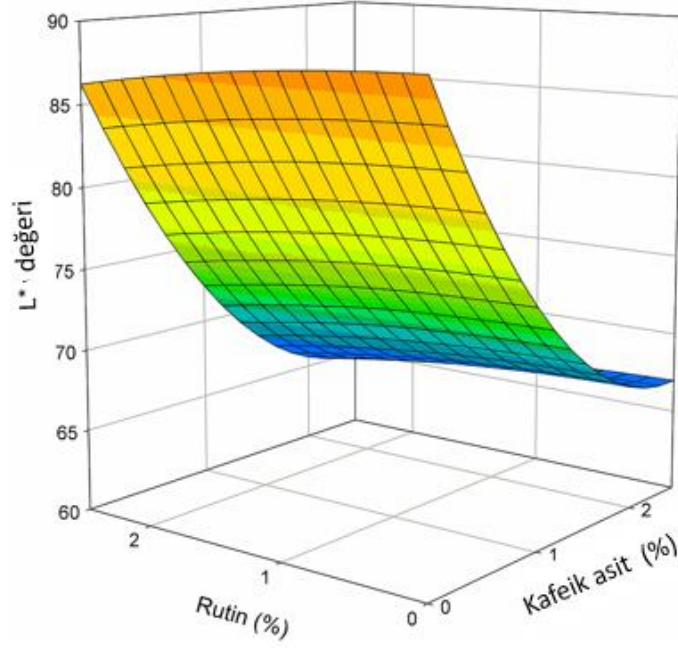
Tablo 4.7. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film L* renk değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	K.O	F
Model	9	2087,5875	48,4967
X ₁ (CA,%)	1	1812,4887	378,9530**
X ₂ (RUT,%)	1	16,3081	3,4097
X ₃ (GL,%)	1	1,3379	0,2797
X ₁ *X ₁	1	230,7151	48,2376**
X ₂ *X ₁	1	0,0342	0,0072
X ₂ *X ₂	1	1,7826	0,3727
X ₃ *X ₁	1	5,7743	1,2073
X ₃ *X ₂	1	3,5778	0,7480
X ₃ *X ₃	1	5,3624	1,1212
Uyum Eksikliği	3	3,206683	0,1965
Genel	29		

** : P<0.01

* : P<0.05

Tablo 4.7'de görüldüğü gibi, filmlerin L* renk değerleri üzerinde kafeik asit oranı (P<0.01) lineer ve kuadratik etkilerinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. L değerine rutin ve kafeik asit miktarlarının etkisi

Ambalaj filmleri renk özelliği, tüketici tercihi ve pazarlama açısından önemli bir kalite parametresidir. Bu çalışmada, çapraz bağ işleminin film renk karakteristiği üzerinde büyük bir etkisi olduğu görülmüştür. Kafeik asitin film rengini kahverengileştirdiği, diğer taraftan rutin ise sarılaştırdığı gözlenmiştir. Çapraz bağ işlemi uygulanmayan 1. Kombinasyona ait filmler ise saydam ve renksiz olarak elde edilmiştir. Bu parametreye ait üç boyutlu grafik (Şekil 4.6) incelendiğinde kafeik asit konsantrasyonu arttıkça film L* değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Film rengindeki bu renk koyulaşmasının, oksijen varlığında ve alkali ortam koşullarında jelatin ve fenolik bileşiklerin kombinasyonu neticesinde meydana gelen oksidasyon ve bu süreçte oluşan kinon (Quinone) bileşiklerinden kaynaklandığı ifade edilebilir (Zhang vd., 2010). Benzer şekilde Erge ve Eren (2021) yaptıkları çalışmada tavuk jelatinini modifiye etmek amacıyla kafeik asit ile çapraz bağ yapmışlardır. Sonuçta elde edilen jelatin jelleri renginin kahverengi ve jel sertliğinin ise daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

4.8 Değişkenlerin Filmlerde a Değeri Üzerine Etkisi

Faktörlerin filmlerin a* değeri üzerine etkisini açıklayan polinomiyal modele ait eşitlik aşağıdadır.

$$Y = -7.38 + 4.24X_1 - 3.42X_2 - 0.85X_3 + 0.64X_1^2 + 3.18X_2X_1 + 4.11X_2^2 - 0.49X_3X_1 - 0.25X_3X_2 - 0.051X_3^2$$

Faktörlerin film a* renk değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.8.'de verilmiştir.

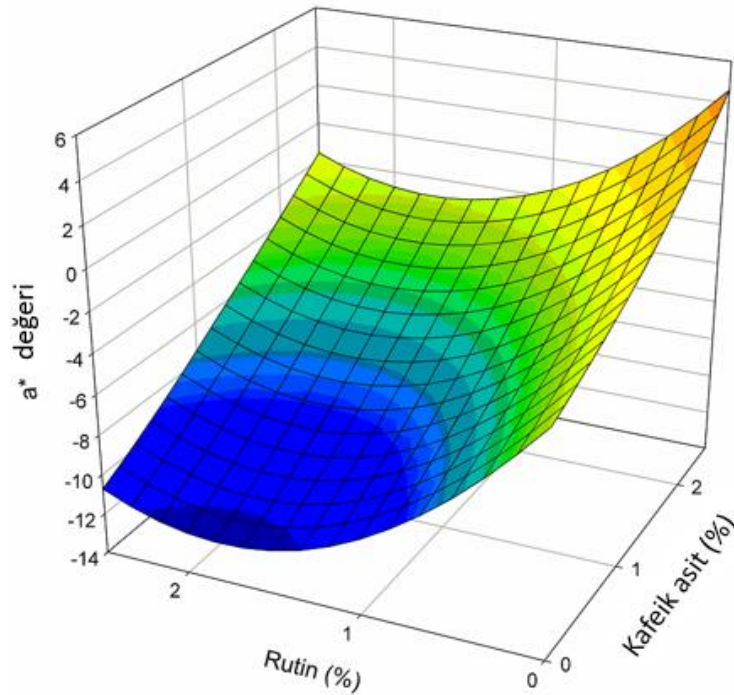
Tablo 4.8. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film a* renk değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	K.O	F
Model	9	695,76460	14,1785
X ₁ (CA,%)	1	287,16127	52,6667**
X ₂ (RUT,%)	1	187,25642	34,3437**
X ₃ (GL,%)	1	11,59402	2,1264
X ₁ *X ₁	1	2,99658	0,5496
X ₂ *X ₁	1	81,00523	14,8567**
X ₂ *X ₂	1	124,40887	22,8172**
X ₃ *X ₁	1	1,93389	0,3547
X ₃ *X ₂	1	0,50000	0,0917
X ₃ *X ₃	1	0,01977	0,0036
Uyum Eksikliği	3	70,35941	10,3053
Genel	29		

** : P<0.01

* : P<0.05

Tablo 4.8.'de görüldüğü gibi, filmlerin a* renk değerleri üzerinde kafeik asit ve rutin (P<0.01) lineer ve kuadratik etkilerinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. *a değerine rutin ve kafeik asit miktarlarının etkisi

Kafeik asit ve rutin interaksiyon etkisinin jelatin filmleri a* değeri üzerindeki etkileri de önemli bulunmuştur (P<0.01, Tablo 2). Bu parametreye ait üç boyutlu

grafik (Şekil ...) incelendiğinde Kafeik asit miktarındaki artış ile a^* değerinin arttığı, rutin'deki artış ile ise a^* değerinin azaldığı görülmüştür.

4.9 Değişkenlerin Filmlerde b^* Değeri Üzerine Etkisi

Faktörlerin filmlerin b^* değeri üzerine etkisini açıklayan polinomiyal modele ait eşitlik aşağıdadır.

$$Y = 42.86 + 0.41 X_1 + 20.72 X_2 + 1.78 X_3 + 1.06 X_1^2 - 9.56 X_2 X_1 - 10.30 X_2^2 - 1.49 X_3 X_1 - 0.44 X_3 X_2 + 2.34 X_3^2$$

Faktörlerin film b^* renk değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.9.'da verilmiştir.

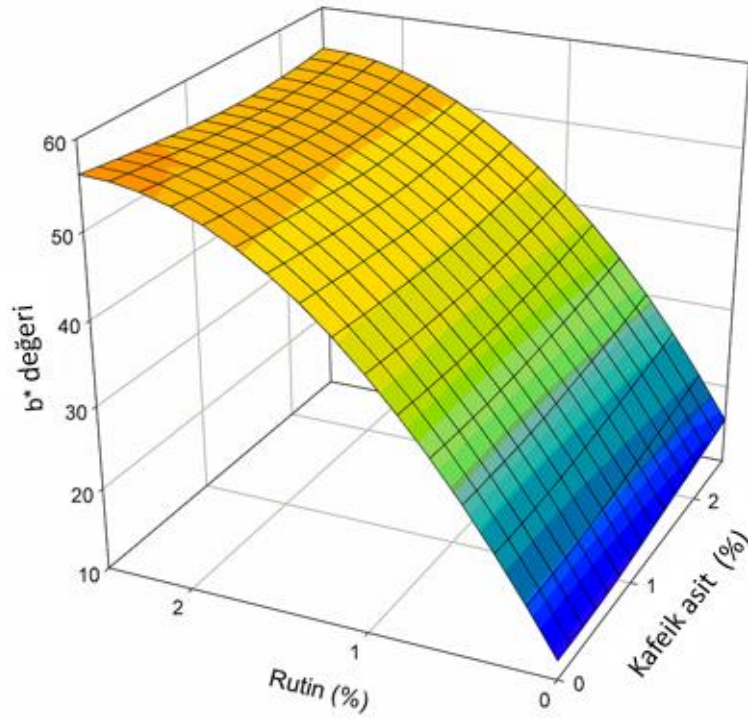
Tablo 4.9. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film b^* renk değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	K.O	F
Model	9	8550,7073	100,5115
X_1 (CA,%)	1	2,7445	0,2904
X_2 (RUT,%)	1	6871,5810	726,9639**
X_3 (GL,%)	1	50,5758	5,3506*
$X_1 * X_1$	1	8,2724	0,8752
$X_2 * X_1$	1	730,7027	77,3031**
$X_2 * X_2$	1	783,0430	82,8403**
$X_3 * X_1$	1	17,8503	1,8884
$X_3 * X_2$	1	1,5342	0,1623
$X_3 * X_3$	1	40,4664	4,2811
Uyum Eksikliği	3	129,10722	12,2054
Genel	29		

**, $P < 0.01$

*, $P < 0.05$

Tablo 4.9'da görüldüğü gibi, filmlerin b^* renk değerleri üzerinde kafeik asit ve rutin ($P < 0.01$) lineer ve kuadratik etkilerinin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($P < 0.01$, Tablo 2).



Şekil 4.8. *b değerine rutin ve kafeik asit miktarının etkisi

Bu parametreye ait üç boyutlu grafik (Şekil 4.8) incelendiğinde rutin miktarındaki artış ile b* değerinin yükseldiği görülmüştür. Yapılan bir çalışmada Roy & Rhim (2021), jelatin/kitosan temelli ambalaj filmine rutin eklemişler ve film renginin açık sarı olduğunu bildirmişlerdir.

4.10 Değişkenlerin Film Işık Geçirgenlik (Opaklık) Özellikleri Üzerine Etkisi

Faktörlerin filmlerin ışık geçirgenlik (opaklık) özellikleri üzerine etkisini açıklayan polinomiyal modele ait eşitlik aşağıdadır.

$$Y = 2.47 + 0.91X_1 - 0.20X_2 - 0.21X_3 - 0.62X_1^2 + 0.063X_2X_1 - 0.043X_2^2 - 0.071X_3X_1 + 0.071X_3X_2 + 0.021X_3^2$$

Faktörlerin film opaklık özellikleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.10.'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Kafeik asit, rutin ve gliserol oranının film opaklıkları üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları

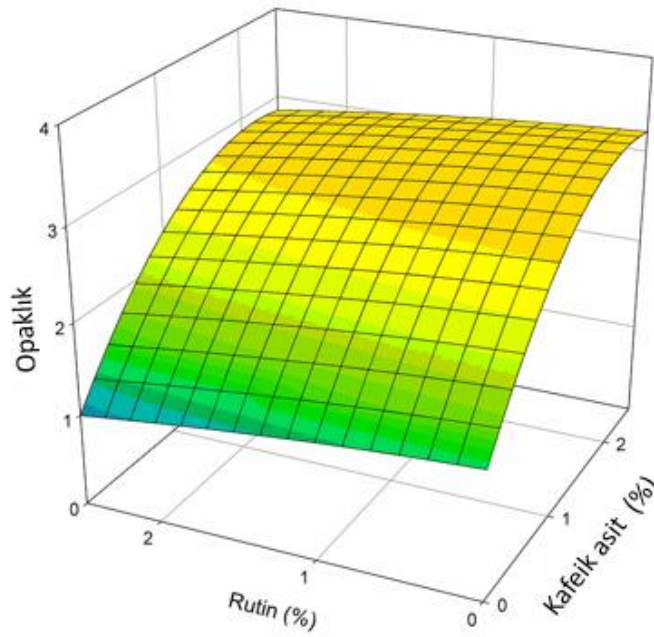
Varyasyon Kaynağı	SD	K.O	F
Model	9	17,693956	32,8268
X ₁ (CA,%)	1	13,340947	222,7575**
X ₂ (RUT,%)	1	0,628061	10,4869**
X ₃ (GL,%)	1	0,706365	11,7944**

$X_1 * X_1$	1	2,871373	47,9441**
$X_2 * X_1$	1	0,031418	0,5246
$X_2 * X_2$	1	0,013790	0,2303
$X_3 * X_1$	1	0,040522	0,6766
$X_3 * X_2$	1	0,040331	0,6734
$X_3 * X_3$	1	0,003138	0,0524
Uyum Eksikliği	3	0,2564082	1,5434
Genel	15		

** : $P < 0.01$

* : $P < 0.05$

Tablo 4.10’da görüldüğü gibi, filmlerin opaklık değerleri üzerinde tüm faktörlerin lineer etkilerinin ve kafeik asit karesel etkisinin istatistiksel olarak ($P < 0.01$) önemli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. Opaklığa rutin ve kafeik asit miktarlarının etkisi

Jelatin film şeffaflığı, düşük bir opaklık derecesi ile belirtilir. Bu çalışmada, Şekil 3’de gösterildiği gibi, opaklık kafeik asit artışından önemli ölçüde etkilenmiştir ($P < 0.01$) (Şekil 3). Film şeffaflığı, kırılma indeksini değiştirebilen ve ışığın film matrisinden geçme yeteneğini sınırlayabilen bileşim, yoğunluk ve jelatin moleküllerinin kümelenme veya hizalanma şeklindeki değişikliklerden etkilenmektedir (Suderman ve diğerleri, 2018). Önceki araştırmalar, fenolik maddelerin eklenmesinin, renklendirici bileşenleri ve film protein ağıının yeniden düzenlenmesi nedeniyle bir filmin opaklığını artırabileceğini göstermiştir (Said ve Sarbon, 2022).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elde edilen filmler, nem oranları bakımından incelendiğinde gliserol miktarı arttıkça, film nem değerinin de yükseldiği tespit edilmiştir. Bu etki, gliserolün higroskopik yapısına bağlanmıştır.

Suda çözünürlük, biyo-bozunur ambalaj filmleri için özellikle su oranı yüksek gıdaların muhafazası açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada gliserol oran yükseldikçe suda çözünürlüğü de arttığı görülmüştür. Ayrıca en düşük çözünürlük değeri, %16.5 ile 5 nolu kombinasyona (%1.25 KA, %0 RUT, ve %15 GL) ait filmlerde görülmüştür (Ek 1). Bu parametre bakımından değerlendirildiğinde %1.25 kafeik asit kullanılmasının çözünürlüğü düşürdüğü, gliserol oranının özellikle %30 ve üzeri olması durumunda ise çözünürlüğün arttığı sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla elde edilen tavuk jelatininin kafeik asit ile modifikasyonu sonucunda yapısının suda çözünürlük bakımından oldukça geliştirilebildiği kanıtlanmıştır.

Su buharı geçirgenliği bakımından sonuçlar değerlendirildiğinde, suda çözünürlük ile paralel olarak gliserol artışıyla su buharı geçirgenliğinin arttığı, en düşük geçirgenlik değerinin ise (0.0009 g.mm/h.m².kpa) 9 nolu kombinasyona (%1.25 KA, %1,25 RUT, ve %30 GL) ait olduğu görülmüştür (Ek 1). Bu kombinasyon özelinde %1.25 oranlarındaki kafeik asit ve rutin ile yapılan çapraz bağ işleminin su buharı geçirgenliğini düşürdüğü ifade edilebilir.

Film örnekleri renk değerleri açısından değerlendirildiğinde, kafeik asit ve rutin kullanılmamış olan film örneğinin (1 nolu kombinasyon) şeffaf ve renksiz olduğu görülmüştür. Öteki taraftan rutin kullanımının filmlerin rengini sarılaştırdığı, kafeik asitin ise film rengini kahverengileştirdiği görülmüştür. Bu çalışmada kafeik asit oranı arttıkça L* değerinin azaldığı ve a* değerinin ise arttığı görülmüştür. Diğer taraftan rutin oranı arttıkça a*değerinin azaldığı ve b* değerinin arttığı görülmüştür.

Film örnekleri gerilme direnci değerleri açısından değerlendirildiğinde, gliserol miktarındaki artış ile gerilme direncinin azaldığı; en yüksek gerilme direnci değerinin ise 84 MPa ile 2 nolu kombinasyona (%0 KA, %1,25 RUT ve %15 GL) ait film örneğinde olduğu tespit edilmiştir. Bu noktada %1.25 oranında rutin ile çapraz bağ kurulması ve düşük oranda gliserol kullanılması, gerilme direncini yükselttiği ifade edilebilir.

Film örnekleri uzama değerleri açısından değerlendirildiğinde, gliserol miktarındaki artış ile uzama oranının arttığı; en yüksek uzama değerinin ise %51,08 ile 3 nolu kombinasyona (%0 KA, %1,25 RUT ve %45 GL) ait film örneğinde olduğu görülmüştür (Ek 1). Bu sonuçlara göre mekanik özellikler bakımından gliserol oranının belirleyici bir faktör olduğu ifade edilebilir.

Tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde bu çalışma, öncelikle kanatlı sanayi artıklarından elde edilen tavuk jelatinin kafeik asit ve rutin ile modifiye edilerek ambalaj materyali üretilebileceğini göstermiştir. Bu noktada hayvansal bir artığın değerlendirilmesi ve katma değeri yüksek bir ürün eldesi mümkün olmuştur. Diğer taraftan bu çalışma, jelatin temelli bir ambalaj materyalinin, petrol türevi ambalajlara alternatif olabileceğini, fakat bu konuda özellikle suda çözünürlük ve su buharı geçirgenliği özellikleri bakımından ileriye yönelik geliştirici yeni çalışmaların da yapılması gerektiğini ortaya koymuştur.

6. KAYNAKLAR

(Bu tez çalışmasında APA atıf sistemi kullanılmıştır.)

- 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>
- Alehosseini, A., Gómez-Mascaraque, L. G., Martínez-Sanz, M., & López-Rubio, A. (2019). Electrospun curcumin-loaded protein nanofiber mats as active/bioactive coatings for food packaging applications. *Food Hydrocolloids*, 87, 758-771.
- Araujo, M. O., Freire Pessoa, H. L., Lira, A. B., Castillo, Y. P., & de Sousa, D. P. (2019). Synthesis, antibacterial evaluation, and QSAR of caffeic acid derivatives. *Journal of Chemistry*.
- Arnesen, J. A., & Gildberg, A. (2006). Extraction of muscle proteins and gelatine from cod head. *Process Biochemistry*, 41(3), 697-700.
- Atarés, L., & Chiralt, A. (2016). Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends Food Sci Technol*, 48, 51-62, doi: 10.1016/j.tifs.2015.12.001.
- Bağış, C. (2015). TiO₂ kullanımının pva esaslı biyobozunur kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine etkisi. *Selçuk-Tek Derg*, 14(2), 997-1004.
- 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 Rev Int*, 19 (4), 423-435.
- Boran, G., & Regenstein, J. M. (2010). Fish Gelatin, In: *Advances in Food and Nutrition Research*, Taylor SL (ed), Volume 60, Academic Press, UK, pp. 119-144
- Cui, H., Bai, M., Rashed, M. M. A., & Lin, L. (2018). "The antibacterial activity of clove oil/chitosan nanoparticles embedded gelatin nanofibers against *Escherichia coli* O157:H7 biofilms on cucumber", *International Journal of Food Microbiology*, 266, 69–78).
- 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.
- Çiçekgil, Z. (2014). Kümes Hayvancılığı ürün raporu, TC Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, Ankara.
- Duconseille, A., Astruc, T., Quintana, N., Meersman, F., & Sante-Lhoutellier, V. (2015). Gelatin structure and composition linked to hard capsule dissolution: A review. *Food Hydrocoll*, 43, 360-376.
- Dursun, S., & Erkan, N. (2009). Yenilebilir protein filmler ve su ürünlerinde kullanımı. *Journal of Fisheries Science* 3(4): 352-373.
- Elsabee, M. Z., & Abdou, E. S. (2013). Chitosan based edible films and coatings: A review. *Materials Science and Engineering C*, 33, 1819-1841.
- Erge, A., & Eren, Ö. (2021). "Chicken gelatin modification by caffeic acid: A response surface methodology investigation", *Food Chemistry*, 351, 129269. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129269>.
- Fadini, A. L., Rocha, F. S., Alvim, I. D., Sadahira, M. S., Queiroz, M. B., Alves, R. M. V., & Silva, L. B. (2013). Mechanical properties and water vapour permeability of hydrolysed collagen–cocoa butter edible films plasticised with sucrose. *Food Hydrocolloids*, 30, 625–631.
- Fakhouria, F. M., Martellia, S. M., Caonc, T., Velascod, J. I., Helena, L., & Mei, I. (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., 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. DOI:10.1016/j.tifs.2009.04.003
- Galus, S., & Kadzinska, J. (2015). Food applications of emulsionbased edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*. 45: 273-283. DOI:10.1016/j.tifs.2015.07.011.

- 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.
- Gómez-Guillén, M. C., Sarabia, A. I., Solas, M. T., & Montero, P. (2001). Effect of microbial transglutaminase on the functional properties of megrim (*Lepidorhombus boscii*) skin gelatin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(7), 665- 673. DOI:10.1002/jsfa.865.
- Gökçin, M. (2013). Uskumru (*Scomber scombrus*) ve Levrek (*Dicentrarchus labrax*) Kemiklerinden Jelatin Eldesi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı, Adana.
- 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.
- Günkaya, Z., Demirel, R., & Banar, M. (2016). Portakal kabuğu atıklarından üretilen biyokompozit ambalaj filminin aflatoksinlere karşı etkisinin incelenmesi. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 22(6), 513-519, doi: 10.5505/pajes.2016.92653.
- 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
- Kanmani, P. & Rhim, J. (2014). "Physicochemical properties of gelatin/silver nanoparticle antimicrobial composite films", *Food Chemistry* 148, 162–169.
- Kaplancağı, K. (2014). Biyoplastik malzemelerin ambalaj uygulamaları, *Uluslararası Plastik Ambalaj Teknolojileri Kongresi 17 Eylül 2014, İstanbul*.
- Karim, A. A., & Bhat, R. (2008). Gelatin alternatives for the food industry: recent developments, challenges and prospects. *Trends in Food Science & Technology*, 19: 644-656. DOI:10.1016/j.tifs.2008.08.001.
- Keles, F. (2002). Gıda Ambalajlama İlkeleri, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları No:189, Erzurum
- Kępa, M., Miklasínska-Majdanik, M., Wojtyczka, R. D., Idzik, D., Korzeniowski, K., Smoleń-Dzirba, J., & Wąsik, T. J. (2018). Antimicrobial potential of caffeic acid against *Staphylococcus aureus* clinical strains. *BioMed Research International*.
- Keskin, B., Altay, B., Akyol, M., Meral, G., & Uyar, O. (2018). Global Packaging Trends. 6. *Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu 01-03 Kasım, İstanbul Türkiye*, 483-503.
- Ledward, D.A. (2000). *Handbook of hydrocolloids*, Chapter-4, Edited by G. O. Philips and P. A. Williams. UK. Woodhead Publishing in Food Science and Technology, 450p.
- Liu, L., Kerry, J. F., & Kerry, J. P. (2007). Application and assessment of extruded edible casings manufactured from pectin and gelatin/sodium alginate blends for use with breakfast pork sausage. *Meat Science*, 75,2: 196-202. DOI:10.1016/j.meatsci.2006.07.008.
- Luis, Á., Silva, F., Sousa, S., Duarte, A. P., & Domingues, F. (2014). Antistaphylococcal and biofilm inhibitory activities of gallic, caffeic, and chlorogenic acids. *Biofouling*, 30(1), 69-79.
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2005). *Lehninger: Biyokimyanın İlkeleri*. Çeviri Editörü: Prof. Dr. Nedret Kılıç. Palme Yayıncılık. Syf 173-174. ISBN:975-8982-18-4.
- Nur Hanani, Z. A., Roos, Y. H., & Kerry, J. P. (2014). Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products. *Int J Biol Macromol*, 71, 94-102.
- Pan, I. F., Granda, X. C., & Mate, J. I. (2014). Antimicrobial efficiency of edible coatings on the preservation of chicken breast fillets. *Food Control* 36(1): 69-75.
- Pavlat, A. E., & Orts, W. (2009). *Edible Films and Coatings: Why, What, and How?* In *Edible Films and Coatings for Food Applications*, Edited by Milda E. Embuscado, Kerry C. Huber, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 403p.
- 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 *Biopolymers for Food Design* (pp. 223–277). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811449-0.00008-6>
- Robertson, G. L. (2013). *Food Packaging: Principle and Practice*. Third Edition, CRC Press, Boca Raton, 703p.
- Romero-Bastida, C. A., Tapia-Blácido, D. R., Méndez-Montealvo, G., Bello-Pérez, L. A., Velázquez, G., & Alvarez-Ramirez, J. (2016). Effect of amylose content and nanoclay incorporation order in physicochemical properties of starch/montmorillonite composites. *Carbohydr Polym*, 152, 351-360, doi: 10.1016/j.carbpol.2016.07.009.
- Saklani, R., Gupta, S. K., Mohanty, I. R., Kumar, B., Srivastava, S., & Mathur, R. (2016). Cardioprotective effects of rutin via alteration in TNF-alpha, CRP, and BNP levels coupled with antioxidant effect in STZ-induced diabetic rats. *Molecular and Cellular Biochemistry*. 420(1-2): 65-72.

- 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*, 539, 184–191.
- Schrieber, R., & Gareis, H. (2007). *Gelatin Handbook*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, Weinheim, 331 p.
- Tekle, Ş., Sandıç, O., Nursaçan, Ş., Yetim, H., & Erdem, M. (2013). Ülkemizde ve Dünyada Helal Gıda Hususunda Karşılaşılan Problemler. *Eur J Sci Technol*, 1, 1, 1-6.
- Tokiwa, Y., Calabia, B. P., Ugwu, C. U., & Aiba, S. (2009). Biodegradability of Plastics. *International Journal of Molecular Sciences*, 10: 3722-3742
- Tosh, S. M., Marangoni, A. G., Hallett, F. R., & Britt, I. J. (2003). Aging dynamics in gelatin gel
- Üstünol, Z. (2009). Edible Films and Coatings for Meat and Poultry. In *Edible Films and Coatings for Food Applications*, Edited by Milda E. Embuscado, Kerry C. Huber, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 403p. microstructure. *Food Hydrocolloid* 17: 503-513.
- Vargas, M., Albors, A., & Chiralt, A. (2011). Application of chitosan-sunflower oil edible films to pork meat hamburgers. *Procedia Food Science* 1(1): 39-43.
- Yan, M., Li, B., Zhao, X., & Yi, J. (2011). "Physicochemical properties of gelatin gels from walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) skin cross-linked by gallic acid and rutin", *Food Hydrocolloids*, 25, 907–917.





EK 1. Filmlerin Fizikokimyasal Özelliklerine Ait Ortalama Değerler

	Kombi nasyon	Kafeik asit (%)	Rutin (%)	Gliserol (%)	Kalınlık (mm)	Opaklık	Nem (%)	Suda Çözünürlü k (%)	Su Buharı Geçirgenliği (g.mm/h.m2 .kpa)	Gerilme Direnci (MPa)	Uzama (%)	L*	a*	b*
1. TEKERRÜR	1	0	0	30	0,060	1,02	7,03	24,48	0,0014	56,51	7,38	88,80	2,68	-1,03
	2	0	1,25	15	0,065	1,46	3,70	18,33	0,0010	63,53	4,20	87,99	-11,43	40,72
	3	0	1,25	45	0,064	0,92	9,10	29,63	0,0018	34,86	31,88	87,05	-13,49	55,16
	4	0	2,5	30	0,061	0,99	5,62	25,55	0,0015	53,06	7,98	86,11	-13,37	63,08
	5	1,25	0	15	0,053	3,60	4,12	16,49	0,0009	52,10	5,25	69,96	-2,08	16,66
	6	1,25	0	45	0,063	2,98	13,41	23,58	0,0013	20,26	46,80	71,31	-2,44	17,38
	7	1,25	1,25	30	0,068	2,79	5,70	24,21	0,0011	38,41	5,98	71,61	-7,29	43,31
	8	1,25	1,25	30	0,068	2,63	4,61	24,89	0,0012	34,46	6,63	70,06	-6,95	43,41
	9	1,25	1,25	30	0,056	2,96	5,58	23,99	0,0009	39,90	6,33	72,83	-7,46	42,18
	10	1,25	2,5	15	0,067	2,26	4,27	18,25	0,0010	56,60	4,90	68,27	-3,50	52,74
	11	1,25	2,5	45	0,063	2,41	11,39	26,39	0,0014	24,73	5,05	70,89	-6,22	54,69
	12	2,5	0	30	0,057	2,94	5,81	26,00	0,0016	56,19	6,08	67,52	2,27	22,54
	13	2,5	1,25	15	0,061	3,19	4,77	18,52	0,0011	43,74	2,58	67,23	-0,51	44,17

14	2,5	1,25	45	0,068	2,53	10,40	28,49	0,0019	33,71	37,63	65,83	-1,63	46,76
15	2,5	2,5	30	0,059	2,88	5,65	25,84	0,0016	39,84	5,50	60,47	2,08	48,16

2. TEKERRÜR

Kombi nasyo n	Kafeik asit (%)	Rutin (%)	Gliserol (%)	Kalınlık (mm)	Opaklık	Nem (%)	Suda Çözünürlü k (%)	Su Buharı Geçirgenliği (g.mm/h.m2 .kpa)	Gerilme Direnci (MPa)	Uzama (%)	L*	a*	b*
1	0	0	30	0,063	1,66	6,37	21,93	0,0012	31,44	4,225	88,73	2,59	-0,87
2	0	1,25	15	0,062	1,45	4,80	17,56	0,0013	84,08	10,45	87,26	-11,86	46,89
3	0	1,25	45	0,052	1,17	14,52	26,30	0,0015	23,01	51,075	87,55	-12,71	48,53
4	0	2,5	30	0,068	1,08	6,31	26,19	0,0016	42,87	6,5	86,54	-14,06	63,73
5	1,25	0	15	0,058	2,92	3,13	17,64	0,0013	44,5	3,175	74,52	-0,42	12,55
6	1,25	0	45	0,069	2,69	11,84	28,49	0,0019	20,51	34,65	70,06	-0,99	17,72
7	1,25	1,25	30	0,057	2,81	5,66	25,69	0,0014	39,78	5,7	71,29	-8,40	42,67
8	1,25	1,25	30	0,066	2,70	5,39	24,04	0,0013	38,76	6,1	73,41	-7,46	41,40
9	1,25	1,25	30	0,063	2,72	5,60	21,10	0,0013	36,92	5,1	72,45	-6,73	44,20

10	1,25	2,5	15	0,057	2,76	4,19	18,85	0,0012	61,13	3,95	70,09	-5,40	53,54
11	1,25	2,5	45	0,071	2,33	13,27	26,71	0,0019	19,77	44,8	69,70	-5,60	53,97
12	2,5	0	30	0,053	3,14	5,55	23,29	0,0015	31,32	5,25	67,73	1,87	23,37
13	2,5	1,25	15	0,064	3,67	3,58	18,38	0,0010	51,03	3,775	61,49	1,49	43,16
14	2,5	1,25	45	0,062	2,93	14,37	27,70	0,0016	13,86	35,475	69,04	-4,25	44,69
15	2,5	2,5	30	0,060	3,08	3,03	26,80	0,0016	49,67	6,075	70,42	-5,19	49,99