

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA ATIKLARINDAN FARKLI BİTKİSEL KATKI
MADDELERİ KULLANARAK YENİLEBİLİR FILM
ÜRETİMİ

Berika GİRGİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL

Haziran, 2023

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA ATIKLARINDAN FARKLI BİTKİSEL KATKI
MADDELERİ KULLANARAK YENİLEBİLİR FILM
ÜRETİMİ

Berika GİRGİN tarafından hazırlanan tez çalışması 22.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Emek MÖRÖYDOR DERUN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Tülin Banu İYİM, Üye
İstanbul Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Gıda Atıklarından Farklı Bitkisel Katkı Maddeleri Kullanarak Yenilebilir Film Üretimi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Berika GİRGİN

İmza



Bu alışma, “Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü’nün FBA-2022-4960” numaralı projesi ile desteklenmiştir.



Aileme

ve

benden desteğini esirgemeyen arkadaşlarıma

TEŞEKKÜR

“Gıda Atıklarından Farklı Bitkisel Katkı Maddeleri Kullanarak Yenilebilir Film Üretimi” isimli yüksek lisans tez çalışma konumun belirlenmesi, planlanması ve yürütülmesinde desteğini ve ilgisini bir an bile esirgemeyen, ilerleyeceğim yolda çok kıymetli görüşlerini, tecrübelerini, bilgisini sakınmadan beni aydınlatan çok sevgili tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL’a, tez hazırlama sürecimde benden bilgisini ve desteklerini esirgemeyen Melis ABAHUNİ UÇAR ve Emek MÖRÖYDOR DERUN’a, hayatımın her anında sevgi ve inançlarıyla yürüdüğüm yolda bana destek olan çok sevgili aileme, bu süreçte yanımda olan ve benden desteklerini esirgemeyen bütün arkadaşlarıma, Buse Tanç’a, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Berika GİRGIN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	v
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
2 KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1 Literatür Özeti	3
3 MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1 MATERYAL VE YÖNTEM	17
4 DENEYSEL SONUÇLAR	27
4.1 Deneysel Sonuçlar	27
5 SONUÇ	50
KAYNAKÇA	53
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	60

SİMGE LİSTESİ

Mpa	Basınç Birimi
rpm	Birim Zamandaki Dönüş Hızı
g	Gram
kg	Kilogram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
°C	Santigrat derece
cm	Santimetre
cm ²	Santimetrekare
s	Saniye
p	Yoğunluk
%	Yüzde

KISALTMA LİSTESİ

AMP	Ampicilin
CaCl ₂	Kalsiyum Klorür
C1	Ceviz Kabuğu Gliserol
C2	Ceviz Kabuğu Sorbitol
CL1	Ceviz Kabuğu Gliserol Limon Aloe Vera
CL2	Ceviz Kabuğu Sorbitol Limon Aloe Vera
CT1	Ceviz Kabuğu Gliserol Tarçın Aloe Vera
CT2	Ceviz Kabuğu Sorbitol Tarçın Aloe Vera
CK1	Ceviz Kabuğu Gliserol Karanfil Aloe Vera
CK2	Ceviz Kabuğu Sorbitol Karanfil Aloe Vera
E.coli	Escherichia Coli
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen
M1	Mango Kabuğu Gliserol
M2	Mango Kabuğu Sorbitol
ML1	Mango Kabuğu Gliserol Limon Aloe Vera
ML2	Mango Kabuğu Sorbitol Limon Aloe Vera
MT1	Mango Kabuğu Gliserol Tarçın Aloe Vera
MT2	Mango Kabuğu Sorbitol Tarçın Aloe Vera
MK1	Mango Kabuğu Gliserol Karanfil Aloe Vera
MK2	Mango Kabuğu Sorbitol Karanfil Aloe Vera
P1	Portakal Kabuğu Gliserol
P2	Portakal Kabuğu Sorbitol
PET	Polietilen Tereftalat
PL1	Portakal Kabuğu Gliserol Limon Aloe Vera
PL2	Portakal Kabuğu Sorbitol Limon Aloe Vera
PT1	Portakal Kabuğu Gliserol Tarçın Aloe Vera
PT2	Portakal Kabuğu Sorbitol Tarçın Aloe Vera
PK1	Portakal Kabuğu Gliserol Karanfil Aloe Vera
PK2	Portakal Kabuğu Sorbitol Karanfil Aloe Vera
PP	Polipropilen

S.Aureus	Staphylococcus Aureus
UV	Ultraviyole
Vb	Ve Benzeri



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Hassas terazi	17
Şekil 3.2 Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı	18
Şekil 3.3 Ultrasonik Homojenizatör	18
Şekil 3.4 Ultrasonik su banyosu	19
Şekil 3.5 Etüv	19
Şekil 3.6 Biyogüvenlik Kabini	20
Şekil 3.7 Yenilebilir film üretimi akım şeması.....	21
Şekil 4.1 Amp diski kontrol grubu S.aureus.....	35
Şekil 4.2 S.aureus CT1 ve CT2 inhibisyon alanı.....	35
Şekil 4.3 S.aureus CK1 ve CK2 inhibisyon alanı.....	36
Şekil 4.4 Amp diski kontrol grubu E.coli	36
Şekil 4.5 E.Coli CT1 ve CT2 inhibisyon alanı	37
Şekil 4.6 E.coli CK1 ve CK2 inhibisyon alanı	37
Şekil 4.7 C1-CL1-CT1-CK1 film çözeltileriyle kaplanmış meyveler (7 gün)	43
Şekil 4.8 C2-CL2-CT2-CK2 film çözeltileriyle kaplanmış meyveler (7 gün)	43
Şekil 4.9 M1-M2-ML1-ML2 film çözeltileriyle kaplanmış meyveler (7 gün)	45
Şekil 4.11 P1-P2-PL1-PL2 film çözeltileriyle kaplanmış meyveler (7 gün).....	47
Şekil 4.12 PT1-PT2-PK1-PK2 film çözeltileriyle kaplanmış meyveler (7 gün)...	47
Şekil 4.13 Kaplanmamış meyveler (7 gün)	47

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Yenilebilir filmlerin gıda üzerinde etkisinin gözlemlenmesi çalışmaları	4
Tablo 2.2	Plastikleştiricilerin yenilebilir filmlere etkisi	12
Tablo 3.1	Ceviz Kabuğu Filmleri Bileşimleri.....	22
Tablo 3.2	Mango Kabuğu Filmleri Bileşimleri.....	23
Tablo 3.3	Portakal Kabuğu Filmleri Bileşimleri.....	23
Tablo 4.1	Nem Testi Sonuçları	27
Tablo 4.2	Çözünürlük Testi Sonuçları	29
Tablo 4.3	Su Buharı Geçirgenliği Hızı Testi Sonuçları	31
Tablo 4.4	Şişme İndeksi Testi Sonuçları.....	33
Tablo 4.5	İnhibisyon Alanı Ölçüm Sonuçları (S.aureus).....	38
Tablo 4.6	İnhibisyon Alanı Ölçüm Sonuçları (E.coli)	38
Tablo 4.7	Meyvelerin 7 gün içerisindeki kütle kayıp yüzde miktarları (ceviz kabuğu)	39
Tablo 4.8	Meyvelerin 7 gün içerisindeki kütle kayıp yüzde miktarları (mango kabuğu)	40
Tablo 4.9	Meyvelerin 7 gün içerisindeki kütle kayıp yüzde miktarları (portakal kabuğu)	40
Tablo 4.10	Meyvelerin 7 gün içerisindeki renk değişim ölçüm sonuçları (ceviz kabuğu)	42
Tablo 4.11	Meyvelerin 7 gün içerisindeki renk değişim ölçüm sonuçları (mango kabuğu)	44
Şekil 4.10	MT1-MT2-MK1-MK2 film çözeltileriyle kaplanmış meyveler (7 gün)	45
Tablo 4.12	Meyvelerin 7 gün içerisindeki renk değişim ölçüm sonuçları (portakal kabuğu-kontrol).....	46
Tablo 4.13	Film Kalınlık Ölçüm Sonuçları.....	49

GIDA ATIKLARINDAN FARKLI BİTKİSEL KATKI MADDELERİ KULLANARAK YENİLEBİLİR FILM ÜRETİMİ

Berika GİRĞİN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL

Petrol bazlı sentetik plastik malzemeler doğada biyolojik olarak parçalanamazlar. Plastik kullanımının sebep olduğu çevre problemlerinin azaltılmaya çalışılmasıyla beraber daha doğal ve biyolojik olarak parçalanabilir biyopolimerlerin kullanımı son yıllarda artış göstermektedir. Değişen tüketici alışkanlıkları da göz önüne alınarak yapılan çalışmalarla gıdaların raf ömrünün uzatılması, gıda bozulmasının en aza indirgenmesi ve gıda kalitesinin arttırılması amaçlanmaktadır. Protein, polisakkarit ve lipit bazlı biyopolimerler yenilebilir film ve kaplama üretiminde ambalaj malzemesi olarak kullanım bulmaktadır. Birbirleriyle harmanlanarak elde edilen yenilebilir kompozit filmler, alternatif bir ambalaj malzemesi, gıda koruyucu malzeme olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada gıda atıklarının değerlendirilerek alternatif bir ambalaj malzemesi ve gıda koruyucu malzeme üretilmesi amaçlanmıştır. Ceviz, mango ve portakal kabukları atık olarak değerlendirilmiştir. Gliserol ve sorbitolün, esansiyel yağ ve aloe vera katkısının film üzerindeki etkileri incelenmiştir. Gıda ambalaj malzemesi olarak gelecekte kullanım alanı bulabilmesi en olası malzemenin ceviz kabuğu kullanılarak hazırlanan filmler olduğu belirlenmiştir. Ceviz kabuğu, tarçın ve karanfil esansiyel yağı kullanılarak hazırlanan filmlerin S.aureus ve E.coli

bakterilerine karşı iyi bir antibakteriyel özellik gösterdiği ölçülmüştür. Ceviz ve mango kabuğu ile hazırlanan filmlerin gıda koruyucu malzeme olarak kullanım alanı bulabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenilebilir film, gıda atıkları, esansiyel yağ, aloe vera



EDIBLE FILM PRODUCTION USING DIFFERENT HERBAL ADDITIVES FROM FOOD WASTE

Berika GİRĞİN

Department of Chemical Engineering

Master of Science

Supervisor: Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL

Petroleum-based synthetic plastic materials are not biodegradable in nature. With the efforts to reduce the environmental problems caused by the use of plastic, the use of more natural and biodegradable biopolymers has been increasing in recent years. It is aimed to extend the shelf life of foods, to minimize food spoilage and to increase food quality, with studies carried out by taking into account the changing consumer habits. Protein, polysaccharide and lipid-based biopolymers find use as packaging materials in the production of edible films and coatings. Edible composite films obtained by blending with each other can be used as an alternative packaging material, food preservative material.

In this study, it is aimed to produce an alternative packaging material and food preservative material by evaluating food waste. Walnut, mango and orange peels are considered as waste. The effects of glycerol and sorbitol, essential oil and aloe vera additive on the film were investigated. It has been determined that the most likely material to be used in the future as a food packaging material is the films prepared using walnut shells. It was measured that the films prepared using walnut shell, cinnamon and clove essential oil showed good antibacterial properties against *S.aureus* and *E.coli* bacteria. It is foreseen that the films prepared with walnut and mango peels can find use as food preservatives.

Keywords: Edible film, food wastes, essential oil, aloe vera



1.1 Literatür Özeti

Gıda paketlenmesinin amacı, gıdanın hava, su buharı ya da UV ışık ile temasını engellemek ve gıda ile herhangi kimyasal ya da mikrobiyolojik bulaşmaları önleyerek gıdanın kalitesini korumak ve raf ömrünü uzatmaktır (Wang Y. L., 2023). PP, LDPE, HDPE, PET ve naylon gibi sentetik plastik malzemeler uzun ömürlü olmaları, güçlü mekanik özellikleri, oksijen ve suya karşı iyi bir bariyer olması, iyi optik özellikleri olması sebebiyle yıllardır paketlenme malzemesi olarak kullanılmaktadır (Dash K. A., 2019) (Chavan, 2023). Bahsedilen malzemelerin çeşitli şekillerde kalıplanabilmesi, yenilen işlenebilmeleri de aynı zamanda onları gıda paketlenmesi için daha uygun kılmaktadır (Chavan, 2023). Gıda paketlenmesi için kullanılan malzemelerin birçoğu, fosil kaynaklardan elde edilen, atıkları yıllar boyu çevrede kalabilen ve doğada biyolojik olarak parçalanamayan sentetik plastik malzemelerden üretilmektedir (Zibaei, 2021) (Liu, 2020) (Dash K. A., 2019).

Global plastik pazarına bakacak olursak gıda paketlenmesi sektörü önemli bir rol oynamaktadır; Yıllık plastik üretiminin %47'si genellikle tek kullanımlık gıda ambalajlarıyla ilgilidir ve bu plastiklerin %5'inden azının geri dönüştürülebildiği bilinmektedir (Joshi, 2023) (Zibaei, 2021). Paketlenme malzemeleri yıllık üretilen toplam plastik atığın büyük bir bölümünü oluşturmasıyla beraber ciddi çevresel etkiler meydana getirmektedir (Joshi, 2023).

Doğada parçalanabilen, çözünebilen polimerler genellikle çevre dostu, yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Sentetik plastik malzemelere alternatif olarak çevre dostu gıda paketlenme malzemesi olarak birçok biyopolimer kullanılmaktadır. Polisakkaritler, proteinler ve lipitler kullanılarak elde edilen ve biyolojik olarak parçalanabilen yenilebilir filmler ve kaplamalar bu polimerlere örnek olarak gösterilebilir (Khedri, 2021) (Liu, 2020). Son yıllarda özellikle film ve kaplama şeklindeki yenilebilir paketlenme malzemeleri uygun, güvenli ve sağlıklı gıda seçeneklerine yönelik artan tüketici talebinin yanında sentetik plastik paketlenme malzemelerinin çevresel etkilerine karşı artan kamuoyu endişesinin bir sonucu olarak daha da popülerleşmektedir (Chavan, 2023) (Khedri, 2021).

Yenilebilir filmler kaplamalar meyvelerin, sebzelerin, süt ürünlerinin, et ve tavuk gibi ürünlerin kaplanarak korunmasında kullanılabilmektedir. Bazı pratik gıda paketleme uygulamalarında hazır gıdalar, hazır kahve, hindistan cevizi tozu, çay yaprağı, diğer gıda katkı maddeleri, süt tozu, noodle, içecek için çeşni ve tatlandırıcı katkı maddeleri gibi toz halindeki malzemeler için yenilebilir filmler çözünür keseler, torbalar, paketler veya poşetler halindeki formları tercih edilir (Liu, 2020).

Yapılan araştırmalar sonucunda yenilebilir film ve kaplamaların protein, lipit veya polisakkaritleri tek başına kullanarak ya da bu bileşenlerden birden fazlasını harmanlayarak elde edilebileceği belirtilmiştir (Candan, 2018) (Khedri, 2021). Bununla beraber filmlerin içerisine antioksidan, antimikrobiyal, prebiyotik, probiyotik malzemeler eklenerek biyoaktif koruyucu paketleme malzemesi de elde etmenin mümkün olduğu belirtilmektedir (Candan, 2018) (Khedri, 2021).

Yenilebilir filmlerin özellikleri, filmin kalınlığına, oksijen, su, karbondioksit, ışık geçirgenliği gibi etkenlere karşı koruyuculuğuna, antimikrobiyalliği, antioksidanlığı gibi etkenlere bağlıdır (Candan, 2018).

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı gıda atıklarının değerlendirilerek güçlü mekanik ve fizikokimyasal özelliklere sahip, antimikrobiyal özellikleri yüksek, uygun maliyetli yenilebilir filmler elde etmektir. Bu alışma kapsamında ceviz, mango ve portakal kabuğu gıda atığı olarak değerlendirilmiştir. Ceviz, mango ve portakal kabuğuna limon, tarçın, karanfil esansiyel yağları ve aloe vera jeli eklenerek yenilebilir filmlerin gıda paketleme ve koruma endüstrisindeki etkinliği araştırmıştır.

1.3 Hipotez

Yenilebilir filmler ve kaplamaların amacı gıdaların kalitesini arttırıp raf ömrünü uzatmaktır. Bu alışma kapsamında portakal, ceviz ve mango kabukları ğtlerek küçük moleküller haline getirilmiş, limon, tarçın ve karanfil esansiyel yağları ile harmanlanarak filmlerin e.coli ve s.aureus bakterilerine karşı antibakteriyel etkinliği araştırmıştır. Filmlerin kalınlıkları, şişme indeksleri, buhar geçirgenlik hızları, nem içerikleri, suda çözünürlükleri, meyve kaplamasındaki kütle kayıpları ve antibakteriyel etkinlikleri karşılaştırılmıştır.

2.1 Literatür Özeti

2.1.1 Yenilebilir Gıda Paketleme

Gıda paketleme sistemlerinin temel amacı, gıdanın bozulma ajanları ile etkileşimini azaltıp, istenilen bileşiklerin kaybını ve bozulmayı önleyerek gıdaların raf ömrünü uzatmaktır (Zibaei, 2021).

Paketleme kavramı geleneksel paketleme malzemelerinin antioksidan, antibakteriyel veya oksijen tutma gibi özelliklere sahip olabileceği şekilde evrilmiştir. Yenilebilir filmler ve kaplamalar bunlara örnek olarak gösterilebilir. Yenilebilir film ince, katı bir levha olarak üretilebilir ve daha sonra gıda yüzeyine sarılabilir ya da gıda yüzeyine doğrudan sıvı halde daldırma, püskürtme veya fırçalama gibi yöntemler kullanılarak kaplanabilir (Gaspar, 2023).

Yenilebilir ambalaj, ya doğrudan gıda yüzeyinde oluşturulan ya da ince tabaka/film olarak ayrı ayrı oluşturulan ve daha sonra gıda yüzeyine kaplanan ince bir tabakadır (Jeevahan, 2020). Film ve kaplama terimleri, birbirlerinin yerine kullanılsa da film tek başına bir ambalaj malzemesi olarak tanımlanır. Kaplama ise doğrudan gıda yüzeyinde oluşturulan ince bir tabakadır (Abdollahzadeh, 2021). Birincisine yenilebilir kaplama, ikincisine ise yenilebilir film denir (Jeevahan, 2020). Herhangi bir gıdanın kaplanması, film oluşturucu bir çözelti içerisine daldırma ya da püskürtme işlemleriyle gerçekleştirilebilir (Abdollahzadeh, 2021). Kaplama ile yenilebilir film arasındaki fark, filmlerin katı laminantlar olarak elde edilmesi, kaplamaların ise sıvı olarak gıda üzerine uygulanmasıdır (Mohamed, 2020).

Yenilebilir paketleme ürünlerinin en önemli avantajı, insan tarafından da tüketilebilir ürünler kullanılarak elde edildiği için, sürdürülebilir ve atık bertaraf problemi olmamasıdır (Jeevahan, 2020). Diğer paketleme malzemeleri gibi neme, oksijene, sıcaklığa, UV ışınlarına dayanıklı olan bu malzemeler herhangi bir yan etki olmadan gıdanın raf ömrünü uzatabilir (Zibaei, 2021). Yenilebilir paketleme malzemeleri insan tarafından tüketilmese bile doğada biyolojik olarak parçalanabilir (Jeevahan, 2020). Yenilebilir filmler, kaplamalar antibakteriyel

özellikleriyle gıda üzerinde mikroorganizma büyümesini ve oksidasyonu önleyebilir. Gıdanın kalitesini, besin değerini koruyabilir ve raf ömrünü uzatabilir (Gaspar, 2023).

Tablo 2.1’de yenilebilir filmlerin gıda üzerindeki etkisinin gözlemlenmesine dair yürütülmüş literatür çalışmaları verilmiştir.

Tablo 2.1 Yenilebilir filmlerin gıda üzerinde etkisinin gözlemlenmesi çalışmaları

Film Kompozisyonu	Katkı Malzemesi	Meyve	Etki	Referans
Sodyum aljinat	Gliserol, tween 80, CaCl ₂	Mum elması	10 günlük soğuk depolama boyunca mum elmasının solunum hızını ve ağırlık kaybı önemli ölçüde azalmıştır. Malondialdehit ve hidrojen peroksit içeriğini ve lipoksijenaz aktivitesini içeriğini azaltarak mum elmasının görsel görünümünü önemli ölçüde iyileştirmiş ve üşüme hasarını geciktirmiştir.	(Duong, 2022)
Nişasta, karagenan	Sükroz ester, gliserol	Pembe elma	Hasat sonrası depolama esnasında elmaların lezzet ve fitokimyasal profili etkilmeden ağırlık kaybı, solunum hızı, sıklık, kabuk rengi değişikliği ve meyve yağlılığında bir azalma göstermiştir.	(Thakur R. P., 2019)
Sodyum aljinat	Gliserol, aloe vera jeli, sarımsak yağı	Domates	Aljinat filmlere aloe vera ve sarımsak yağının eklenmesi UV koruması, bariyer, termal ve antimikrobiyal güçlerini önemli ölçüde arttırmıştır. Kaplanmış domatesler kaplanmamış domateslere göre renk, doku, çürüme de önemli ölçüde azalma göstermiş, raf ömrü uzatılmıştır.	(Aziz, 2021)

Tablo 2.1 Yenilebilir filmlerin gıda üzerinde etkisinin gözlemlenmesi çalışmaları
(devamı)

Kitosan	Gliserol	Çilek	Bir hafta boyunca kaplanan çileklerde bakteri üremesi veya mantar oluşumu gözlemlenmedi, filmler mantar öldürücü ve bakterisit aktivite gösterdi. Kitosan filmler, çileklerin görünüş, aroma, doku ve lezzetini değiştirmedir.	(Pavinatto, 2021)
Mısır nişastası, jelatin	Sorbitol, gliserol	Kırmızı üzüm	Kaplanmış üzümler 21 gün saklanmış ve duyuşal değerlendirme sonucunda iyileştirilmiş bir görünüm gözlemlenmiştir. Toplam ağırlık kaybı azaltılmış, üzümlerin raf ömrü uzatılmış ve meyve kalitesi korunmuştur.	(Fakhouri, 2015)
Pirinç nişastası, karagenan	Gliserol	Kırmızı erik	Kontrol meyvesi iki haftada sertlik kaybı nedeniyle pazarlanabilirliğini kaybetmiş, kaplanmış erikler ise oda sıcaklığında üç haftaya kadar sert kalmış, renk kaybı gözlemlenmemiştir.	(Thakur R. P., 2018)
Peynir altı suyu proteini izolatu, ksantan sakızı	Sodyum hipoklorit, gliserol monostearat, karanfil yağı	Domates	20 °C'de 15 gün boyunca depolanan domateslerin kalite özellikleri korunmuş ve raf ömrü uzatılmıştır (kaplanmayan domatesler pazarlanabilirliğini 15 gün içerisinde kaybetmiştir). Kaplanmış domateslerde solunum hızı yavaşlamış, yaşlanma gecikmiştir.	(Kumar, 2021)
Cleistocalyx operculatus ekstratu, kitosan, arap sakızı	Asetik asit, NaOH, H ₂ SO ₄	Muz	Kaplanan muzlar pürüzsüz bir yüzey göstermiş, 21 güne kadar muzların tazeliğini korumasını etkili bir şekilde uzatmıştır.	(Le, 2021)

Tablo 2.1 Yenilebilir filmlerin gıda üzerinde etkisinin gözlemlenmesi çalışmaları
(devamı)

Chia tohumu	Bakteriyel selüloz nano fiber	Çilek	Kaplama, çileklerin fenolik, flavonoid, askorbik asit ve antioksidan aktivitesini daha da korumuştur. Çileklerde fenolik bileşiklerin bozulmasına ve kahverengi renge neden olan polifenol oksidaz ve peroksidaz enzimlerinin aktivitesi de kaplama ile etkin bir şekilde kontrol edilmiştir.	(Mousavi, 2021)
-------------	-------------------------------	-------	---	-----------------

Tablo 2.1’de verilen çalışmalar incelendiğinde gliserol ve sorbitolün yenilebilir filmlere plastikleştirici katkı malzemesi olarak eklenmesinin en yaygın kullanım olduğu görülmektedir. Bununla beraber yenilebilir film malzemeleri polisakkaritler, lipitler ve proteinler olarak birbirleriyle kombinasyonları halinde kullanıldığında gıda üzerindeki etkisinin geliştirilmeye açık iyi etkiler gösterdiği gözlenmiştir. Yenilebilir gıda koruma endüstrisindeki çalışmalar gıdanın kalitesini arttırmaya, raf ömrünü uzatmaya ve potansiyel bakterilere karşı koruyuculuğunu arttırmaya yöneliktir.

2.1.1 Yenilebilir Film Üretiminde Kullanılan Malzemeler

2.1.1.1 Hidrokolloidler

Yenilebilir polimerler genellikle lipitler, hidrokolloidler ve bunların kompozitleri olarak sınıflandırılır. Hidrokolloidler, suda dağıldıklarında jeller veya viskoz dispersiyonlar oluşturabilen, genellikle polisakkaritler ve bazı proteinler olarak bilinen uzun zincirli polimerlerin heterojen bir grubudur. Bütün hidrokolloidler su parçacıklarını kalınlaştırabilir fakat çok azı jel oluşturabilir. Oluşan jelin dokusal ve duyusal özellikleri hidrokolloidin türüne bağlıdır. Hidrokolloidler gıda ürünlerinin doku özelliklerini değiştirebilen yapı etkileri, reoloji özellikleri nedeniyle gıda endüstrisinde, teknolojisinde yoğunlaştırma veya viskozite sağlamak için yaygın olarak kullanılır. Bununla beraber hidrokolloidlerin hidrofilik yapıları nedeniyle, su buharına karşı iyi bir bariyer değildirler. (Kraithong, 2023) (Yemenicioglu, 2020) (Mohamed, 2020).

2.1.1.2 Polisakkaritler, Portakal, Mango, Ceviz Kabuğu

Polisakkaritler biyobozunur film araştırmalarında önemli malzemelerdir. Özellikle selüloz ve nişasta, doğada yüksek oranda bulunmaları nedeniyle biyobozunur film üretiminde önemli bir rol oynamaktadırlar. Polisakkarit polimerler çok sayıda hidroksil (-OH) grubu ya da polielektrolitlerin varlığı sayesinde doğal olarak suda dağılıbilir. Bu özellik onları sulu koşullar için oldukça dinamik hale getirir. Gıda, ilaç, kozmetik, kaplama, kapsülleme, paketleme vb. gibi çeşitli endüstriyel alanlarda çeşitli yararlı işlevleri yerine getirmek için kullanılabilirler (Harini, 2018) (Kraithong, 2023).

Ceviz kabuğu, cevizin yenilebilir kısmı tüketildikten sonra cevizden kalan atık maddedir. Ceviz kabuğu ağırlıkça yaklaşık %50 lignin içermesi sebebiyle en zengin lignoselülozik tarımsal gıda atığıdır. Lignin antimikrobiyal, antioksidan, UV ışık absorpsiyonuna sahip hidrofobik bir biyopolimerdir. Bu özellikler ceviz kabuğunun yenilebilir film için kullanımını teşvik etmektedir. Ceviz kabuğu tozunun iyi emici özelliklere sahip olduğu ve iyi bir takviye malzemesi olduğu bulunmuştur. Ceviz kabuğu tarımsal atık olarak kabul edildiğinden ticari değeri yoktur. Bu tarımsal atık malzemeler (nişasta ve selüloz açısından zengin), ticari olarak değerli yan ürünlerin (biyobozunur ambalaj filmleri) geliştirilmesi için önemli bir rol oynar (Harini, 2018) (Quilez-Molina, 2022).

Mango oldukça çabuk bozulur ve mango işleme esnasında yalnızca yüksek kalitesi mangolar seçilir. Zarar görmüş veya çürümüş mangolar kullanılmaz. Kullanılmayan meyveler çevreye atık olarak sınıflandırılmaktadır. Mango kabukları gıda kalitesini oksidasyon ve mikrobiyal saldırılardan koruyarak, dokusunu geliştiren antioksidanlar taşımaktadır ve bu sayede depolanmasını kolaylaştırabilir. Mango yüksek miktarda pektin içermektedir, bu içerik doğal bir jöle veya koyulaştırıcı malzeme işlevi görebilir. Atık olarak sınıflandırılan mango kabuklarının gıda koruyucu malzemeler olarak ya da yenilebilir ambalaj malzemelerinde kullanımıyla atık miktarları en aza indirilebilir (Susmitha, 2021).

Portakal kabuğu yüksek miktarda pektin içerir. Farklı film yapıcı bileşenlerin kombinasyonu yenilebilir filmlerin mekanik mukavemetini, bu buharı bariyerini geliştirebilen değişiklikler oluşturabilir. Ticari pektin, üronik asidin metil gruplarına esterlendiğı galakturonik asit birimlerinin bir homopolimeridir. Zaman

ve sıcaklık koşullarının değişmesiyle esterleşme derecesi, pektin ekstraktlarının jelleşme davranışlarını etkiler (Jridi M. A., 2020). Yenilebilir filmlerde antimikrobiyal özelliklerin artırılması için farklı kaynaklardan elde edilen pektinlerle hidrofobik malzemelerin birleşimini kullanarak farklı yenilebilir film çalışmaları yapılmıştır.

(Jridi M. B., 2019) ve arkadaşları kan portakalı kabuğundan elde edilen fenolik ekstratlar içeren gri tetik balığı derisi jelatin filmlerini geliştirmeyi amaçlamışlardır. Farklı konsantrasyonlarda portakal kabuğu ekstratı ve gliserol ile birleştirilmiş jelatin filmlerin fizikokimyasal, termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Taze portakal kabuğu ekstratı kullanılarak elde edilen filmlerin termal olarak kurutulmuş portakal kabuğu ekstratı ile hazırlanan filmlere göre daha yüksek bir antibakteriyel aktivite gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu çalışma kapsamında kan portakalı kabuklarının iyi bir ambalaj ve gıda koruyucu malzeme olabileceğini belirtmişlerdir.

(Quilez-Molina, 2022) ve arkadaşları ceviz kabuğu ve hidrolize ceviz kabuğu ile termoplastik nişastayı poligliserol ile birleştirerek kompozit filmler elde etmişlerdir. Hidrolize ceviz kabuğu içeren termoplastik nişasta kompozit filmlerinin yağlı gıdaları korumak için UV ışığını bloke etme özellikleri sayesinde iki hafta boyunca sürekli antioksidan aktivite sergilediklerini belirlemişlerdir. Asetik asit ile hidrolizlenen ceviz kabuklarının parçacık boyutlarının küçüldüğünü ve hidroksil gruplarının açığa çıkarıldığını bu sayede termoplastik nişasta ile uyumluluklarının geliştiğini, mekanik ve su buharı bariyeri özelliklerini iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir.

(Susmitha, 2021) ve arkadaşları, mısır nişastası/jelatin bazlı filmler mango kabuğu, mango püresi ve ananas posasıyla ayrı ayrı zenginleştirilmiş, fizikokimyasal ve antimikrobiyal özellikleri incelenmiştir. Mısır nişastası/jelatin filmlerin zenginleştirilmesi işleminin filmlerin kalınlığını, nem içeriğini, şişme indeksini ve optik özelliklerini iyileştirdiğini not etmişlerdir. Filmlerin yan ürün (zenginleştirme ürünü) konsantrasyonunun artmasıyla antimikrobiyal aktivitelerinin arttığı, bütün filmlerin 15 gün sonunda %50'den fazla biyobozunurluk gösterdiği, hazırlanan filmlerin ise gıda kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliğinin olduğunu fakat büyük ölçekte kullanılabilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir.

Bir başka gerçekleştirilen çalışmada ise (Arquellau, 2019) ve arkadaşları, olgun muz kabuğu unu ve mısır nişastası farklı oranlarda birleştirilerek yenilebilir filmler elde etmişlerdir. Su buharı geçirgenliği mısır nişastası miktarının artmasıyla artmış, daha yüksek gerilme ve delinme mukavemeti gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Olgun muz kabuğunun yenilebilir filmler için ümit verici bir malzeme olduğunu belirtmişlerdir.

2.1.1.3 Proteinler

Protein, peptit bağları ile bağlanmış yüzden fazla amino asitten oluşan bir heteropolimerdir. Bu amino asitlerin her biri, bir karboksil grubu, bir hidrojen, bir amino grubu ve R-grubuna bağlı bir merkezi karbon içerir (Mohamed, 2020).

Protein yapılı yenilebilir filmler, yapılarından dolayı polisakkaritlerden daha iyi mekanik özelliklere sahiptir. Oksijen ve karbondioksit difüzyonu için bariyer oluşturarak gıdanın hidrofilik yüzeyine yapışır bu sayede su buharı geçirgenlikleri polisakkarit filmlere göre daha iyidir. Proteinden elde edilen yenilebilir filmlerin ana kaynakları bitkiler ve hayvanlardır. Jelatin ve peynir altı suyu vb (Zhang Z. F., 2022) (Mohamed, 2020).

(Roshandel-hesari, 2022) ve arkadaşları kitosan, kazein ve kekik esansiyel yağı kullanarak yenilebilir film elde etmişlerdir. Filmlerin fizikokimyasal, bariyer, antimikrobiyal, antioksidan ve yapısal özelliklerini (FTIR, SEM) incelemişlerdir. Çeri domatesleri hazırlanan film çözeltileri ile kaplamışlardır. En iyi mekanik ve fiziksel özelliklerin 1 ml/3 ml oranlarında birleştirilerek elde edilen kitosan/kazein filminde gözlemlendiğini, fizikokimyasal, antibakteriyel ve antioksidan aktivite testlerine bakılarak en iyi etkiyi %1.5 oranında eklenen kekik yağlı film olduğunu belirtmişlerdir. Esansiyel yağ kullanılarak hazırlanan film çözeltisiyle kaplanan çeri domateslerin, yağ kullanılmadan hazırlanan film çözeltisiyle kaplanan filmlere göre kalitesinin daha iyi olduğu belirtilmiş, bunun kekik esansiyel yağının meyve kalitesi üzerindeki biyoaktif özelliklerini doğruladığını belirtmişlerdir. Çeri domateslerin raf ömrünün soğuk depolamada 32 güne kadar uzadığını belirtmişlerdir.

(Liu, 2020) ve arkadaşları, soya fasulyesi/jelatin karışımı yenilebilir filmleri plastikleştirici olarak gliserol kullanarak dökme yöntemiyle elde etmişlerdir. Filmlerin mekanik, termal, bariyer ve optik özelliklerini incelemişlerdir. Isıl geçirgenliğin, esnekliğin ve kırılmaya karşı dayanıklılığın önemli bir ölçüde

geliştirildiğini, termal stabilitenin arttırıldığını, su çözünürlüğünün, sertliğin ve su buharı geçirgenliğinin azaldığını not etmişlerdir. FT-IR sonuçlarına göre soya fasulyesi polisakkaritleri ve jelatin arasında güçlü bağlar olduğunu gözlemlemişler, optik özelliklerinin belirli bir karışıma kadar uyumlu olduğunu aynı zamanda jelatin kütesinin artmasıyla transparanlığın arttığını not etmişlerdir.

2.1.1.4 Lipitler

Lipitler, hayvanlar, böcekler ve bitkiler gibi doğal kaynaklardan kaynaklanan bileşiklerdir. Lipit fonksiyonel gruplarının çeşitliliği, fosfolipidler, fosfatid, mono-, di- ve tri-gliseritler, terpenler, serebrositler, yağ alkolü ve yağ asitlerinden oluşur. Son zamanlarda, yenilebilir filmler ve kaplamaların gıda koruma endüstrisinde lipitlerin uygulanmasına dikkat çekilmektedir. Kaplamalardaki ve yenilebilir filmdeki lipitler nem kaybını en aza indirir, maliyeti ve ambalajın karmaşıklığını azaltır, parlaklık ve birçok özellik daha sağlar (Mohamed, 2020).

Yenilebilir filmlere lipitlerin eklenmesiyle genellikle hidrofiliklerinin azaldığı ve yenilebilir filmleri gıda ambalaj malzemesi olarak daha uygulanabilir hale getirdiği düşünülmektedir. Yenilebilir filmler için kullanılan lipitler sıvı yağlar, katı yağlar ve mumlar olarak ayrılmaktadır. Bu üç farklı lipit tipi farklı erime noktalarına sahiptir bu nedenle film matrisindeki lipitlerin boyutu ve dağılımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Sıvı yağ erimiş halde bulunur ve film kalıplama sırasında film yüzeyinden kolayca dışarı akar. Eritilen katı yağlar ve mum film yapısını bozan hızlı bir kristalleşme gösterirler (Cheng, 2021).

(Çakmak, 2020) ve arkadaşları peynir altı suyu proteini, limon ve bergamot esansiyel yağlarını kullanarak hazırladıkları yenilebilir filmlerin antibakteriyel özelliklerini, protein yüzdesi sabit tutulup esansiyel yağ ve gliserol konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Filmler su buharı ve oksijen geçirgenliğine karşı olağanüstü tepkiler göstermiş, uçucu yağ konsantrasyonu belirlenen değerden yüksek olduğu için bu miktarın S.aureus ve E.coli bakterilerine karşı etkili olduğunu belirtmişlerdir.

2.1.2 Katkı Malzemeleri

2.1.2.1 Sodyum Aljinat

Sodyum aljinat β -D-mannuronik ve α -L-guluronattan oluşan doğrusal (1 $\rightarrow$ 4) bağlı bir poliüronik asittir, yüksek uyumluluğa ve film oluşturma kapasitesine sahiptir.

Saf sodyum aljinat filmlerin kalsiyum iyonları ile suda çözünmeyen polimerler oluşturmaya rağmen gıda paketlenme malzemesi olarak düşük mekanik ve mikrobiyal aktiviteye sahip olduğu bilinmektedir (Chen, 2021).

Sodyum aljinat kullanılarak yenilebilir film gıda ambalaj malzemesi elde etmek için çeşitli çalışmalar yürütülmüştür.

(Fan, 2021) ve arkadaşları, pektin, sodyum aljinat, ksantan sakızı kullanarak bir kompozit yenilebilir film geliştirmişlerdir. Plastikleştirici malzeme olarak gliserol ve çapraz bağlama maddesi olarak $CaCl_2$ kullanmışlardır. Kompozit yenilebilir filmlerin gerilme direncinin 29.65 Mpa olarak ölçüldüğünü, filmlerin taze kesilmiş patatesler üzerinde iyi bir koruma etkisine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçların belirtilen malzemelerin yenilebilir kompozit filmlerin geliştirilmesi için umut verici olduğunu belirtmişlerdir.

(Chen, 2021) ve arkadaşları timol ve sodyum aljinat filmlerin fiziksel, fonksiyonel özelliklerini ve taze kesilmiş elmalar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Timol/sodyum aljinat filmlerin timol içermeyen sodyum aljinat film ile karşılaştırıldığında yüksek gerilme mukavemetine, kopma uzamasına, UV ışığını bloke etme kabiliyetine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Timol/sodyum aljinat filmlerin sodyum aljinat filmlere göre daha düşük su buharı geçirgenliğine, suda çözünürlüğüne ve şişme oranına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Kompozit filmlerin E.coli ve S.aureus bakterilerinin büyümesini önemli bir düzeyde önlediğini, taze kesilmiş elma dilimlerinin kütle kaybını azalttığını ve yüzey rengini koruduğunu ve timol içeren sodyum aljinat filmlerin gıda koruyucu streç film malzemesi olarak iyi bir potansiyele sahip olduğunu belirtmişlerdir.

2.1.2.2 Plastikleştiriciler

Plastikleştiriciler mekanik özelliklerin iyileştirilmesi, su buharı geçirgenliği, filmlerin elastikliği için önemli bir faktördür. Plastikleştiriciler film bütünlüğünü korur, film kırılma hızına yol açan gözenek ve çatlak oluşumunu önler. Yenilebilir filmlerin fonksiyonel, besleyici ve mekanik özellikleri plastikleştiriciler gibi katkı malzemeleriyle geliştirilebilir. Plastikleştirici, hidrojen bağları yoluyla polisakkaritlerin içerisindeki glikoz birimleri ile etkileşime girer. Böylece film oluşumu sırasında oluşan güçlü moleküller arası ve moleküller arası zincir etkileşimlerini bozar. Film formülasyonunda plastikleştirici-su arasındaki

etkileşim, moleküller arası mesafenin artmasına neden olur. Plastikleştiriciler, polimerlerin üç boyutlu yapısını değiştirebilen ve moleküller arası çekici kuvveti azaltarak ve zincir hareketliliğini artırarak esnekliklerini arttırabilen küçük moleküllerdir. Moleküller arası yüksek kuvvetler nedeniyle film kırılgenliğini azaltmak için plastikleştirici takviyesine ihtiyaç vardır. Plastikleştiriciler moleküller arası mekanik kuvvetleri azaltarak polimer zincirlerine hareketlilik sağlar ve film esnekliğini, uzamasını geliştirir. Plastikleştirme işlemi gaz ve buhar geçirgenliğini arttırabilir. Sonuç olarak plastikleştiricinin eklenmesi yenilebilir filmi yumuşak ve esnek hale getirir (Aslan, 2014) (Jeevahan, 2020) (Zibaei, 2021) (Putri, 2023).

Yenilebilir filmleri yapmak için plastikleştirici olarak farklı türde gıda sınıfı polioller, glikoller, şekerler ve lipitler kullanılır. Film hazırlamada yaygın olarak gliserol, sorbitol, etilen glikol gibi plastikleştiriciler kullanılmaktadır (Aslan, 2014) (Jeevahan, 2020).

Farklı plastikleştirici türlerinin farklı yenilebilir filmlere etkisi Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Plastikleştiricilerin yenilebilir filmlere etkisi (Jeevahan, 2020)

Film Kompozisyonu	Plastikleştirici	Film üzerindeki etkisi	Referans
Yulaf nişastası	Gliserol, sorbitol, üre, sukroz	Plastikleştirici farklılığı filmlere önemli bir fark katmadı.	(Galdeano, 2009)
Bezelye nişastası	Monosakkaritler (glikoz, früktoz, mannoz), polioller	Monosakkaritler poliollere göre daha güçlü, esnekliği yüksek, düşük su buharı geçirgenliğine sahip filmler oluşturmuşlardır.	(Zhang Y. H., 2006)

Tablo 2.2 Plastikleştiricilerin yenilebilir filmlere etkisi (Jeevahan, 2020) (devamı)

Bezelye nişastası cum guar sakızı	Glikoller (etilen glikol, propilen, polietilen glikol 400), şekerler (früktoz, galaktoz, glikoz, sukroz), polioller (gliserol, sorbitol, mannitol, ksilitol, maltitol)	Polietilen glikol 400 plastikleştiricisi kullanılmış film dışındaki bütün filmler şeffaf, düz, homojendir. Gliserol ile yapılan filmlerin esnekliği daha iyidir. Monosakkaritler ile elden edilen filmlerin, optik, mekanik ve bariyer özellikleri daha iyidir.	(Saberi, 2017)
Manyok nişastası	Früktoz, trietilen glikol, üre, trietonolamin	Fruktozlu filmler, pürüzsüz, yüksek su dirençli ve yüksek yoğunluklu filmler oluşturmuştur.	(Edhirej, 2016)
Kappa-irlanda yosunu	Gliserol, sorbitol, polietilen glikol 300	Gliserol katılan filmler sorbitol katılanlara göre daha kalın, yüksek nem içeriğine sahiptir. Sorbitol katılan filmler daha iyi mekanik kuvvet ve su bariyeri özelliği gösterir.	(Balqis, 2017)
Yerli mısır, mumlu mısır, yerli pirinç, mumlu pirinç	Sukroz, maltoz, D-allüloz	Şekerler kristalliteyi ve homojenliği geliştirdi fakat kırılgenlik gösterdi.	(Ploypetchara, 2008)
Selüloz nanokristaller takviyeli aljinat	Gliserol, dietilen glikol, polietilen glikol	Gliserol aljinat filmler diğerlerine göre düşük mekanik kuvvet, düşük termal özellikler, yüksek su hassasiyeti göstermiştir.	(El-Miri, 2018)

Tablo 2.2 Plastikleştiricilerin yenilebilir filmlere etkisi (Jeevahan, 2020) (devamı)

Müsilaj polisakkarit	Gliserol, sorbitol, polietilen glikol (200 ve 400)	Sorbitol katkılı filmler diğer filmlere göre 3 kat daha düşük su buharı geçirgenliği göstermiş, polietilen glikol katkılı filmler ise 2 kat daha yüksek mekanik kuvvet sergilemiştir.	(Gheribi, 2018)
----------------------	--	---	------------------------

Tablo incelendiğinde plastikleştiricilerin yenilebilir filmler üzerindeki etkileri birlikte kullanıldıkları malzemeye göre farklı olmuştur. Çizelge üzerinde incelenen çalışmalara göre sorbitol kullanılan yenilebilir filmlerin diğer plastikleştiricilere göre daha fazla mekanik mukavemet sağladığı gözlemlenmiştir.

2.1.2.3 Esansiyel Yağlar

Esansiyel yağlar aromatik bileşiklerin kabuk, tohum, çiçek, kabuk, meyve, kök, yaprak, odun, meyve, bütün bitki gibi çeşitli kısımlarından ekstrakte edilen ve elde edildiği bitkiye göre adlandırılan uçucu sıvılardır. İçeriğindeki terpenoidler, terpenler ve diğer aromatik bileşiklerden dolayı önemli bir antimikrobiyal aktiviteye sahiptirler. Esansiyel yağlar hidrofobik yapıları, doğal malzemeler olmaları, raf ömrünü uzatabilen antibakteriyel özellikleri nedeniyle yenilebilir filmler için ilgi çekici malzemelerdir. Uluslararası Standardizasyon Örgütü'ne (ISO) göre uçucu yağ, "bitkisel kaynaklı doğal bir hammaddeden, buharla damıtma, turunçgillerin epikarpından mekanik işlemlerle veya sulu olanın ayrılmasından sonra kuru damıtmayla elde edilen bir üründür." Uçucu yağlar, hidro-damıtma, buhar damıtma, hidro-difüzyon ve solvent ekstraksiyonu gibi yöntemlerle ekstrakte edilebilir (Sharma, 2021) (Yousuf, 2021) (Mohamed, 2020).

Esansiyel yağların yenilebilir filmlere katkısı ve gıda üzerindeki antibakteriyel aktivitelerini araştırmak için çeşitli çalışmalar yürütülmüştür.

(Lin, 2020) ve arkadaşları, okara çözünür diyet lifi, pektin, sodyum karboksimetil selüloz ve kekik esansiyel yağı ile antibakteriyel yenilebilir filmler elde etmişlerdir. Çalışmalarındaki amacın atık kaynaklardan biyobozunur filmler elde etmek olduğunu belirtmişlerdir. Farklı miktarlardaki pektinin esansiyel yağ içeren ve

içermeyen kompozit filmlerin özelliklerini, yapısal karakterizasyonlarını incelemişlerdir. Esansiyel yağ eklenmesinin kompozit filmlerin özelliklerini geliştirebileceği belirtilmiştir. Pektin ilavesinin çekme mukavemetini 14.396 ± 1.17 MPa'dan 21.419 ± 2.22 MPa'a yükselttiğini fakat antibakteriyel özelliğini azalttığını raporlamışlardır. Esansiyel yağ içeren filmlerin içermeyen filmlere kıyasla daha iyi özellikler sergilediğini belirtmişlerdir.

(Zhang M. L., 2022) ve arkadaşları tarçın esansiyel yağı nanokapsülleri, nisin ve sodyum aljinat ile yenilebilir film çözeltileri elde etmişler ve film çözeltileri ile sığır eti kaplamışlardır. Sığır etini 15 gün boyunca buzdolabında saklayarak fizyokimyasal ve antibakteriyel özelliklerini incelemişlerdir. Tarçın esansiyel yağı nanokapsülleri/nisin karışımının sodyum aljinat ile birleştirilmesinin mikroorganizmaların büyümesini geciktirdiğini ve lipid oksidasyonunu azalttığını belirtmişlerdir. Sığır etinin raf ömrünün kaplama ile beraber 9 günden 15 güne çıkartıldığını, sığır etlerinin kütle kaybının azaldığını, renk, doku, koku kalitesinin iyileştiğini gözlemlemişlerdir. Bu kaplama işleminin sığır etinin 4°C'de depolama ile bozulmasını geciktirmek ve raf ömrünü uzatmak için iyi bir yaklaşım olabileceğini belirtmişlerdir.

2.1.2.4 Aloe Vera

Aloe vera insan sağlığına olan faydaları ve iyileştirici özellikleri ile uzun yıllardır kullanılan sulu bir bitkidir. Aloe vera antimikrobiyal, antioksidan özellikleri ve doğada parçalanabilir olmaları nedeniyle gıda koruma endüstrisinde yapılan araştırmalarda ilgi çekmektedir (Nicolau-Lapeña, 2021) (Sarker, 2021).

Aloe vera jeli polisakkaritlerden oluşan doğal bir hidrokolloiddir. Gazlar ve su buharı için yarı geçirgen bir bariyer görevi görebilir, meyvenin solunumunu ve olgunlaşma sürecini azaltır bu sayede meyvenin ağırlığını, sıklığını ve içerisindeki değerli bileşenleri korur. Sahip olduğu antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri aloe veranın sebze ve meyvelerin raf ömrünü ve kalitesini arttırmak için iyi bir koruyucu malzeme olmasını sağlamaktadır (Nicolau-Lapeña, 2021) (Sarker, 2021).

(Jodhani, 2021)Ve arkadaşları tropikal bölgelerdeki yüksek sıcaklığın muz üzerinde doku yumuşaması, kararma, kabukta lekelenme, koku ve bazı hastalıklar yaratması nedeniyle aloe vera jeli, limon kabuğu özütü ile yenilebilir film çözeltisi elde etmişler ve kaplanmış muz üzerindeki etkisini gözlemlemişlerdir. Oda

sıcaklığındaki depolama süresince %50 aloe vera jeli + %15 limon kabuğu özütü içeren film çözeltileri ile kaplanan muzların içerisindeki askorbik asit miktarının korunduğunu belirtmişlerdir. Kaplamanın muzun raf ömrünü 9 güne kadar uzattığını, meyvelerin kütle kaybının ve çürüme oranlarının azaldığını raporlamışlardır. Aloe vera jel ve limon kabuğu özütü ile hazırlanan yenilebilir kaplamanın muz üzerindeki kalite kaybını azaltmak ve raf ömrünü uzatmak için kimyasal koruyuculardan çok daha iyi ve etkili bir alternatif olduğunu belirtmişlerdir.

(Tang, 2023) ve arkadaşları bir başka çalışmada aloe vera, β -hidroksi- β -metilbütirat kalsiyum ve nanoselüloz bazlı bir yenilebilir film elde etmişlerdir. Filmin SEM, FTIR ve XRD sonuçlarının β -hidroksi- β -metilbütirat kalsiyum ile hidrojen bağları oluşturduğunu ve termal kararlılığa sahip yoğun bir çapraz bağlı yapı oluşturduğunu belirtmişlerdir. Kompozit filmlerin sadece aloe vera polisakkariti içeren filmlere kıyasla fizikokimyasal ve mekanik özelliklerinin daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. β -hidroksi- β -metilbütirat kalsiyum eklenmesinin filmlerin antibakteriyel özelliğini geliştirdiğini gözlemlemişlerdir. Oluşturulan filmler ile yaban mersinleri kaplanmış, kaplamanın meyvenin solunum oranını ve kütle kaybını azalttığını belirlemişlerdir. Hazırladıkları kompozit filmlerin gıda ambalaj endüstrisi için iyi bir alternatif malzeme olduğunu rapor etmişlerdir.

3.1 MATERYAL VE YÖNTEM**3.1.1 Materyal**

Bu çalışmada kullanılan kuru ceviz kabukları Zonguldak, Türkiye yerel pazarından ücretsiz olarak temin edildi. Portakal ve mango kabukları İstanbul, Türkiye yerel pazarından ücretsiz temin edildi. Aloe vera yaprakları İstanbul, Türkiye'deki yerel marketten (Migros, İstanbul) satın alındı. Gliserol Merck'ten (Almanya), sodyum aljinat AFG Bioscience'dan (ABD), D-sorbitol Carlo Erba'dan (Fransa), limon, tarçın ve karanfil esansiyel yağları Arifoğlu'ndan (Türkiye) satın alındı.

3.1.2 Kullanılan Cihazlar**3.1.2.1 Hassas Terazı**

Hazırlanan reçetelerde belirtilen miktarlardaki tartımların alınmasını gerçekleştiren cihazdır. Virgülden sonra 5 basamağa kadar gösteren hassas tartım gerçekleştirir.



Şekil 3.1 Hassas terazi

3.1.2.2 Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı

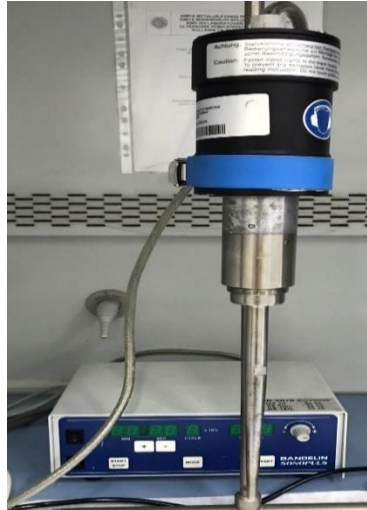
Tablalar üzerindeki çözeltilerin manyetik alan ve ısıtıcı yardımıyla belirlenen sıcaklık ve devirde karışmasını sağlar.



Şekil 3.2 Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı

3.1.2.3 Ultrasonik Homojenizatör

Ultrasonik homojenizatör, çözelti içerisindeki parçacıkların daha küçük parçacıklar haline getirilmesini ve homojen bir şekilde dağılmasını ultrasonik dalgalar yardımı ile gerçekleştirir.



Şekil 3.3 Ultrasonik Homojenizatör

3.1.2.4 Ultrasonik Su banyosu

Ultrasonik su banyosu, ultrasonik dalgalar yardımıyla çözeltilerdeki kabarcıkların giderilmesi, küçük parçacıkların homojen dağılması ve parçalanması işlevlerini yerine getirir.



Şekil 3.4 Ultrasonik su banyosu

3.1.2.5 Etüv

Kurutma, ilgili ürünü sterilize etme, ısıtma ve pişirme gibi işlevleri yerine getiren laboratuvar fırını olarak tasvir edilir.



Şekil 3.5 Etüv

3.1.2.6 Biyogüvenlik Kabini

Filtre ve havalandırma sistemine sahip biyogüvenlik kabini ilgili malzemeyi, kullanıcıyı ve etkilenmesi olası olan çevreyi olası kirliliklerden, kontaminasyon risklerinden ve diğer tehlikeli malzemelerden korur.



Şekil 3.6 Biyogüvenlik Kabini

3.1.3 Portakal, Mango ve Ceviz Kabuklarının Hazırlanması

Yenilebilir film çözeltisinde kullanılacak olan portakal ve mango kabukları herhangi bir yüzey safsızlığını gidermek amacıyla önce soğuk musluk suyu ile daha sonra saf su ile yıkandı ve soyuldu daha sonra 50 ve 40 °C’de bir gün boyunca etüvde kurutuldu. Kurutulan kabuklar öğütücü (Siemens Kahve Değirmeni, MC23200) ile 180 µm parçacık boyutuna getirildi. Kuru ceviz kabukları öğütücü ile 180 µm parçacık boyutuna gelene kadar öğütüldü.

3.1.4 Aloe Vera Jelinin Hazırlanması

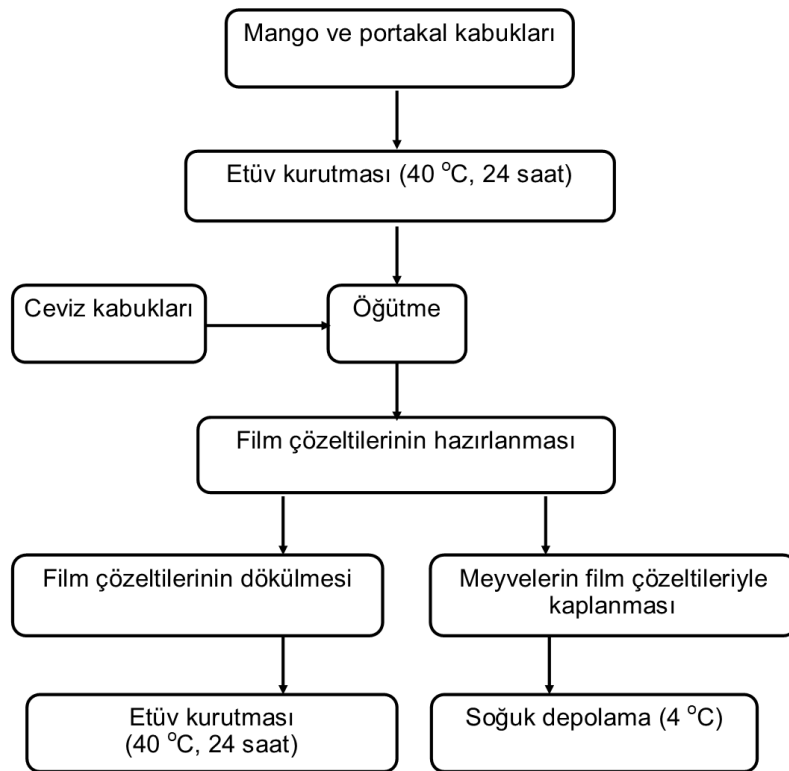
Aloe vera yaprakları, herhangi bir yüzey safsızlığını gidermek amacıyla önce soğuk musluk suyuyla, ardından saf su ile yıkandı. Aloe vera yapraklarının dışındaki yeşil renkli kabuk bıçak yardımıyla soyularak içerisindeki sıvı aloe vera ayrı bir cam kaba koyuldu. Yapraklarından ayrılan aloe vera Bandelin Sonopuls HD 2070 (20 kHz) model ultrasonik prob (Bandelin elektronik GmbH & Co. KG, Berlin, Almanya) ile 20 dakika karıştırılarak homojen bir çözelti oluşturuldu. Hücre duvarlarından kaynaklanan safsızlıkları gidermek için vakumlu filtrasyon ile süzüldü. Elde edilen jel matris 70°C’de 45 dakika ısıtıcı karıştırıcı yardımıyla

pastörize edildi. Pastörizasyon sonunda jel, oda sıcaklığına (22+0.5 °C) kadar soğutuldu. Hazırlanan jel buzdolabında saklandı (Parven, 2020) (Salama, 2020).

3.1.5 Film Çözeltisinin Hazırlanması ve Yenilebilir Film Elde Etme

Kurutulup öğütülmüş mango ve portakal kabukları (5 g) sodyum aljinat (0.5 g) ile birlikte saf su (100 ml) içerisinde, plastikleştirici etkisini belirlemek amacıyla gliserol veya sorbitol (1 g) eklenerek, çözündürüldü. Elde edilen çözeltiye aloe vera (1 ml) eklendi. Esansiyel yağ etkisini gözlemlemek için limon, tarçın ve karanfil (1ml) esansiyel yağları eklenerek çözeltiler elde edildi.

Öğütülmüş ceviz kabukları (1 g), sodyum aljinat (0.5 g) ile birlikte saf su içerisinde (25 ml), plastikleştirici etkisini belirlemek amacıyla gliserol veya sorbitol (1g) eklenerek, çözündürüldü. Elde edilen çözeltiye aloe vera (1 ml) eklendi. Esansiyel yağ etkisini gözlemlemek için limon, tarçın ve karanfil (1ml) esansiyel yağları eklenerek çözeltiler elde edildi. Oluşturulan film çözeltilerinin reçeteleri Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3'te belirtilmiştir. Şekil 3.7'de yenilebilir film üretimi akış şeması verilmiştir.



Şekil 3.7 Yenilebilir film üretimi akım şeması

Karışımlar manyetik bir karıştırıcıda 500 rpm'de 60 dakika 60°C'de karıştırıldı. Daha homojen film çözeltileri elde etmek için önce Bandelin Sonopuls HD 2070 (20 kHz) model ultrasonik prob (Bandelin elektronik GmbH & Co. KG, Berlin, Almanya) ile 10 dakika karıştırıldı. Daha sonra, karışımlar tamamen çözünene kadar 50°C'de 10 dakika süreyle bir ultrasonik su banyosuna (Isolab, Wertheim, Almanya) yerleştirildi. Yenilebilir filmler, çözelti dökme yöntemi kullanılarak hazırlandı. Film çözeltileri 10 cm çapındaki petri kaplarına döküldü ve ardından 40°C'de etüvde 24 saat kurutuldu. Son olarak, filmler soyuldu ve soğuduktan sonra analiz edilene kadar %50 bağıl nemde ve oda sıcaklığında (22±0.5 °C) desikatörde saklandı.

Tablo 3.1 Ceviz Kabuğu Filmleri Bileşimleri

NUMUNE	Gliserol (g)	Sorbitol (g)	Esansiyel Yağ (Limon/Tarçın/Karanfil) (ml)	Aloe Vera (ml)	Sodyum Aljinat (g)
C1	1.00	-	-	-	0.5
C2	-	1.00	-	-	0.5
CL1	1.00	-	1.00	1.00	0.5
CL2	-	1.00	1.00	1.00	0.5
CT1	1.00	-	1.00	1.00	0.5
CT2	-	1.00	1.00	1.00	0.5
CK1	1.00	-	1.00	1.00	0.5
CK2	-	1.00	1.00	1.00	0.5

Tablo 3.2 Mango Kabuğu Filmleri Bileşimleri

NUMUNE	Gliserol (g)	Sorbitol (g)	Esansiyel Yağ (Limon/Tarçın/Karanfil) (ml)	Aloe Vera (ml)	Sodyum Aljinat (g)
M1	1.00	-	-	-	0.5
M2	-	1.00	-	-	0.5
ML1	1.00	-	1.00	1.00	0.5
ML2	-	1.00	1.00	1.00	0.5
MT1	1.00	-	1.00	1.00	0.5
MT2	-	1.00	1.00	1.00	0.5
MK1	1.00	-	1.00	1.00	0.5
MK2	-	1.00	1.00	1.00	0.5

Tablo 3.3 Portakal Kabuğu Filmleri Bileşimleri

NUMUNE	Gliserol (g)	Sorbitol (g)	Esansiyel Yağ (Limon/Tarçın/Karanfil) (ml)	Aloe Vera (ml)	Sodyum Aljinat (g)
P1	1.00	-	-	-	0.5
P2	-	1.00	-	-	0.5
PL1	1.00	-	1.00	1.00	0.5
PL2	-	1.00	1.00	1.00	0.5
PT1	1.00	-	1.00	1.00	0.5
PT2	-	1.00	1.00	1.00	0.5
PK1	1.00	-	1.00	1.00	0.5
PK2	-	1.00	1.00	1.00	0.5

3.1.6 Nem İçeriği Tayini

Yenilebilir filmlerin nem içeriği, AOAC Standart Yöntemi 19. baskı yöntemine göre hesaplandı (AOAC stnd, ASTM, Annual Book of ASTM, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 2004 (D3418-08)). Yenilebilir filmler 3x3 cm boyutunda kesildi ve tartıldı (M₀). Daha sonra yenilebilir filmler sabit tartıma gelene kadar 105 ± 2 °C'de 24 saat etüvde kurutuldu ve tekrar tartıldı

(M₁). Tüm deneyler üç kez tekrarlandı. Nem içeriği (%) denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Dash K. A., 2019).

$$(\%) \text{ Nem içeriği} = \frac{(M_0 - M_1)}{M_0} \times 100$$

M₀: başlangıçtaki filmlerin ağırlığı, M₁: sabit tartıma getirilen filmlerin ağırlığı,

3.1.7 Suda Çözünürlük Tayini

Suda çözünürlük tayini için film numuneleri 3x3 cm boyutlarında kesildi, 105 ± 2 °C'de sabit tartıma gelinceye kadar 24 saat etüvde kurutuldu. Kuruyan filmler tartıldı (M₁). Tartılan filmlere saf su (10 ml) ilave edildi ve oda sıcaklığında (22±0,5 °C) 6 saat boyunca 100 rpm'de karıştırıldı. Karıştırılan çözelti kaba filtre kağıdı kullanılarak süzüldü ve filmlerin çözülmeyen kısımları etüvde 105 ± 2 °C'de 24 saat kurutuldu, kurutulan filmler tekrar tartıldı (M₂). Tüm deneyler üç kez tekrarlandı. Suda çözünürlük (%) aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Dash K. A., 2019).

$$\text{Suda Çözünürlük (\%)} = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \times 100$$

M₁: ilk kurutma sonrası tartım, M₂: son kurutma sonrası tartım

3.1.8 Su Buharı Geçirgenliği Hızı

Yenilebilir filmlerin su buharı iletim hızı, (Salama, 2020) ve arkadaşları tarafından belirtilen yöntemle küçük değişiklikler yapılarak ve ASTM E96-80 Standart Yöntemine göre hesaplandı. Film örnekleri sabit ağırlığa gelene kadar 105 ± 2 °C'de 24 saat kurutuldu. Daha sonra cam test tüplerine silika jel (5 g) dolduruldu, tüplerin ağzı etüvde kurutulan film örnekleri ile hava almayacak şekilde kapatıldı ve etrafı parafin ile sarıldı. Hazırlanan cam tüpler 1. gün ve 5. gün sonunda aynı saatte tartıldı. Su buharı iletim hızı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplandı. Bütün deneyler üç kez tekrar edildi.

$$\text{Su Buharı İletim Hızı} = \frac{(\Delta W / \Delta t)}{A}$$

ΔW: Filmin zamana bağlı ağırlık değişimi (g), Δt: Değişen zaman (s), A: Maruz kalan film alanı (m²)

3.1.9 Şişme İndeksi

Yenilebilir filmlerin şişme indeksi, (Susmitha, 2021) ve arkadaşlarının belirttiği yöntem kullanılarak hesaplandı. 3x3 cm boyutunda kesilen film örnekleri 105 ± 2 °C'de 24 saat sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutuldu. Kurutulan örnekler tartıldı (M_1) daha sonra saf su içerisinde (15 ml) 2 dakika boyunca oda sıcaklığında ($22 \pm 0,5$ °C) bekletildi. Şişen film örneklerinin fazla suyu filtre kâğıdı ile alındı ve tekrar tartıldı (M_2). Şişme indeksi aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır. Bütün deneyler üç kez tekrarlandı.

$$\text{Şişme İndeksi (\%)} = \frac{(M_2 - M_1)}{M_1} \times 100$$

M_2 : Şişen film ağırlığı, M_1 : Kurutulan film ağırlığı

3.1.10 Antibakteriyel Test

Elde edilen film çözeltilerinin antibakteriyel özellikleri agar kuyu difüzyon yöntemi ile ölçülmüştür. Staphylococcus aureus (gram pozitif) ve Escherichia coli (gram negatif) bakterileri kullanılmıştır. Bakteri ekimi yapılmadan bir gün önce -80 °C'de saklanan S.aureus ve E.coli bakterilerinden 20 µl buyyon sıvı (nutrient both) içerisine eklenmiştir. Bakteri kültür örnekleri 37 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. 24 saat sonra bakterilerin yoğunluğu UV spektrofotometresi kullanılarak 560 nm'de ölçümlenmiştir. Antibakteriyel aktivitenin doğru şekilde ölçümlenebilmesi için bakteri yoğunluğu 0,3-0,5 Å arasında olmalıdır (Abdollahzadeh, 2021).

Bakteri kolonilerinin geliştirilmesi için nutrient agar kullanılmıştır. Her bir agar petri kaplarında 2 film çözeltisinin antibakteriyel aktivitesi ölçümlenebilmesi için işaretlenmiştir. Agar petri kaplarına döküldükten sonra kuyular açılmış, geliştirilen bakteri kültürlerinden agar besiyeri üzerine yayma ekim yöntemi ile ekilmiştir. Bakteri ekimi yapıldıktan sonra açılan kuyucuklara film çözeltileri doldurulmuştur. Hazırlanan besiyerleri tekrar 37 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. 24 saat sonunda S.aureus ve E.coli kültürlerinde filmlerin oluşturduğu inhibisyon çapları ölçülmüştür.

3.1.11 Meyve Kaplama ve Renk Analizi

Yenilebilir film çözeltileri 2.3.4 başlığında belirtilen şekilde hazırlandı. Erik, üzüm ve taze kesilmiş elmalar 30'ar saniye boyunca üçer kez film çözeltilerine etrafı eşit olarak kaplanacak şekilde daldırıldı. Kaplamadan önce ve kaplamadan yedi gün

sonra meyvelerin kütleleri ve renk skalaları ölçümlendi. Meyveler yedi gün boyunca buzdolabında (4°C) saklandı (Suhag, 2020).

Açıklık veya koyuluk Hunter renk sisteminde L* ile belirtilir. a* pozitif değerleri kırmızılığı, negatif değerler yeşilliği, b* pozitif değerleri sarılığı, negatif değerler maviliği temsil etmektedir. Kaplanmış meyvelerin rengi el tipi bir kolorimetre (PCE-CSM 1; PCE Instruments UK Ltd., Southampton Hampshire, Birleşik Krallık) kullanılarak ölçülmüştür (Wang M. L., 2023).

Toplam renk değişimi aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\Delta E \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2}$$

3.1.12 Kalınlık

Yenilebilir film kalınlıkları 0.01 mm hassasiyetine sahip Mitutoyo mikrometre (Tokyo, Japonya) ile ölçülmüştür. Ölçümler üç farklı noktadan alınmış ve ortalama değer kaydedilmiştir.

4.1 Deneysel Sonuçlar

4.1.1 Nem İçeriği Tayini

Hazırlanan yenilebilir filmlere yapılan nem içeriği tayini sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Plastikleştirici olarak gliserol kullanılan yenilebilir filmlerin nem içeriğinin sorbitol içerenden fazla olduğu gözlemlenmiştir. En düşük nem içeriğinin mango kabuğu kullanılarak hazırlanan filmler olduğu belirlenmiştir.

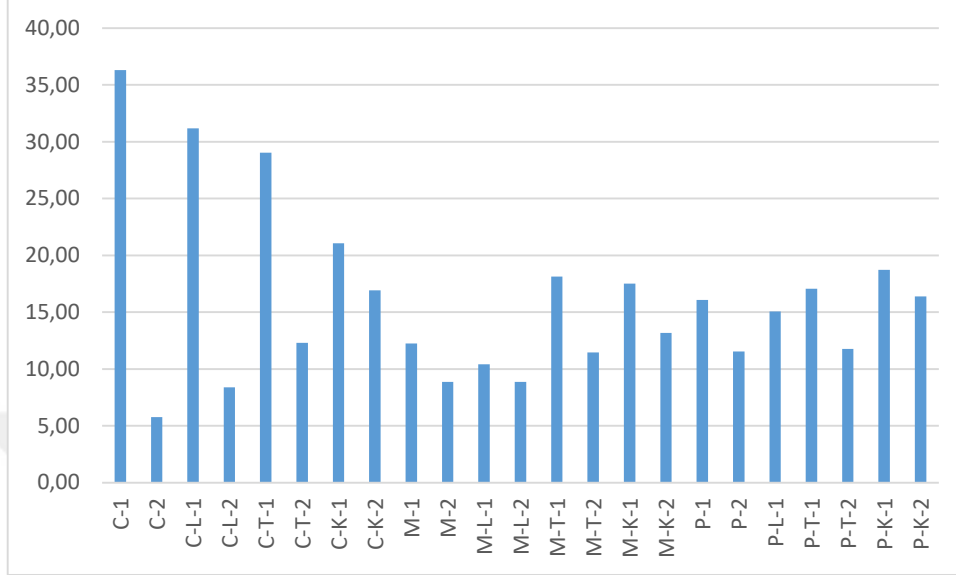
Tablo 4.1 Nem Testi Sonuçları

Nem Testi					
C-1	36,31	M-1	12,24	P-1	16,07
C-2	5,77	M-2	8,86	P-2	11,53
C-L-1	31,17	M-L-1	10,42	P-L-1	15,06
C-L-2	8,38	M-L-2	8,86	P-T-1	17,08
C-T-1	29,03	M-T-1	18,14	P-T-2	11,76
C-T-2	12,31	M-T-2	11,47	P-K-1	18,73
C-K-1	21,06	M-K-1	17,52	P-K-2	16,40
C-K-2	16,92	M-K-2	13,18		

Sorbitol içeren filmlerin nem içeriğinin gliserol ile hazırlanan filmlerden daha düşük olmasının sebebi gliserolün hidrofilik bağları olarak yorumlanmıştır. Mango kabukları ve limon esansiyel yağı ile hazırlanan filmlerin diğer esansiyel yağ içeren filmlere göre nem içeriğinin daha az olduğu görülmektedir. En az nem içeriğinin

sorbitol kullanılarak hazırlanan kontrol ceviz kabuğu filmlerinde olduğu görülmektedir.

Sonuçların grafiksel gösterimi aşağıda verilmiştir.



Grafik 4.1 Nem Testi Sonuçları

4.1.2 Suda Çözünürlük Tayini

Hazırlanan yenilebilir filmlere yapılan çözünürlük tayini sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir.

Yenilebilir filmlerin kullanım alanına göre suda çözünürlük oranları değişkenlik gösterebilir. Ambalaj malzemesi olarak kullanılmak istenen filmlerin suda çözünürlüğünün düşük olması beklenmekle birlikte gıda koruyucusu olarak kullanılmak istenen kaplama malzemelerinin suda çözünürlüğünün yüksek olması beklenir.

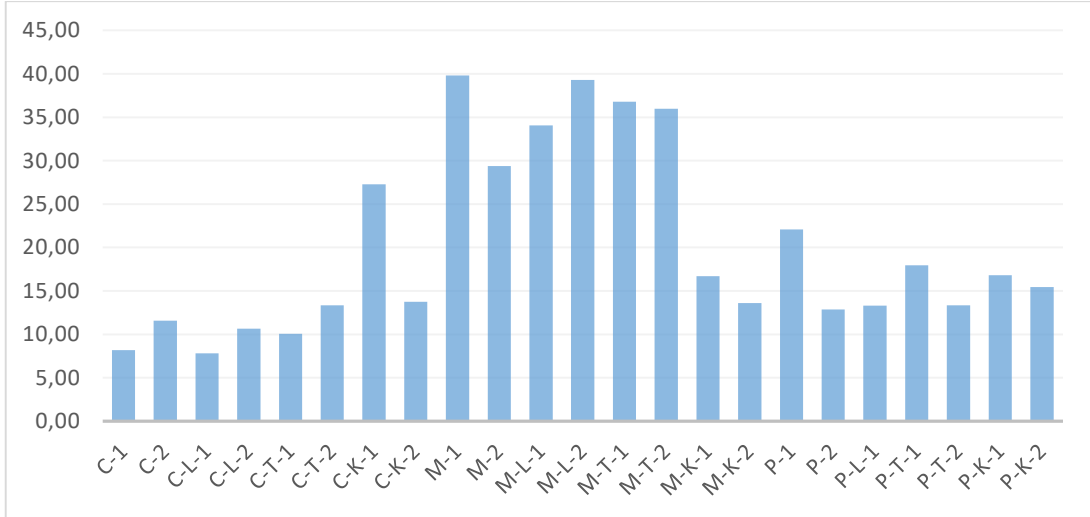
Limon esansiyel yağı ve aloe vera film çözeltilerine eklendiğinde sorbitol içeren filmlerin sudaki çözünürlüklerinin arttığı gözlemlenmiştir. Tarçın ve karanfil esansiyel yağı ile aloe vera içeren film çözeltilerinde ise sorbitol içeren filmlerin sudaki çözünürlüklerinin gliserol içerenlerden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.2 Çözünürlük Testi Sonuçları

Çözünürlük (%)					
C-1	8,17	M-1	39,83	P-1	22,09
C-2	11,56	M-2	29,40	P-2	12,87
C-L-1	7,83	M-L-1	34,08	P-L-1	13,31
C-L-2	10,65	M-L-2	39,31	P-T-1	17,95
C-T-1	10,06	M-T-1	36,81	P-T-2	13,35
C-T-2	13,33	M-T-2	35,99	P-K-1	16,82
C-K-1	27,29	M-K-1	16,70	P-K-2	15,43
C-K-2	13,76	M-K-2	13,62		

Mango kabukları ile hazırlanan yenilebilir filmlerin sudaki çözünürlükleri kuru ceviz kabuğu ve portakal kabuğu ile hazırlanan filmlerden daha fazla olduğu görülmüştür. Kuru ceviz kabuğu ile hazırlanan yenilebilir filmlerin diğer filmlere kıyasla suda çözünürlüklerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Mango kabukları gıda kaplama malzemelerine kuru ceviz kabuğu ise gıda paketleme malzemelerine iyi bir alternatif olabilir.

Çözünürlük testi sonuçlarının grafiksel gösterimi aşağıda verilmiştir.



Grafik 4.2 Çözünürlük Testi Sonuçları

Ceviz kabuğu ile hazırlanan yenilebilir filmlerin ambalaj malzemesi olarak kullanımının değerlendirilebileceği, umut vadeden bir malzeme olabileceği söylenebilir. Öte yandan mango kabuğu ile hazırlanan filmlerin ambalaj malzemesi olarak kullanımının daha düşük olabileceği fakat gıda koruyucu malzeme olarak kullanılabileceği söylenebilir.

4.1.3 Su Buharı Geçirgenliği Hızı Tayini

Hazırlanan yenilebilir filmlere yapılan su buharı geçirgenliği tayini sonuçları Tablo 4.3’de verilmiştir.

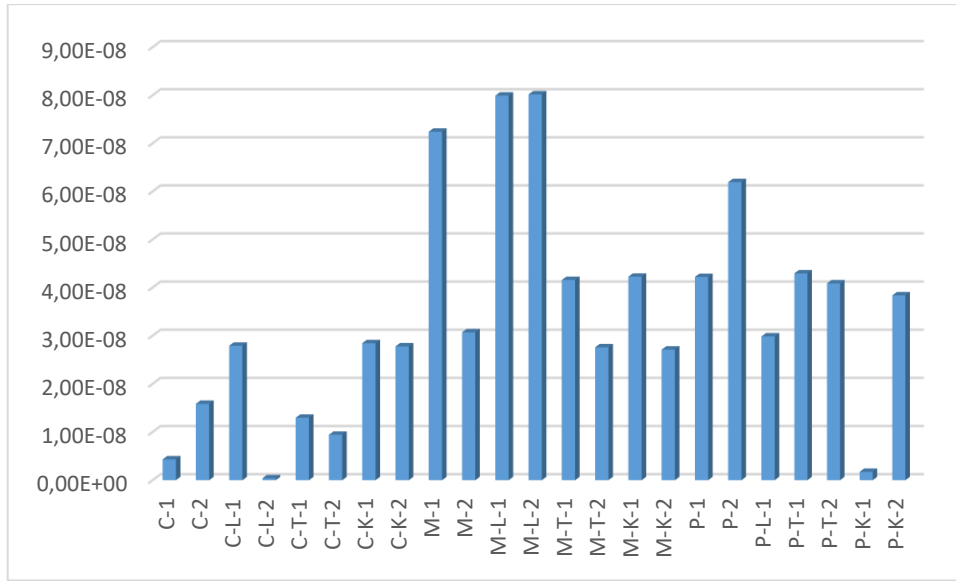
Su, iç veya dış ortam arasındaki iletimi ile ürün kalitesinin bozulmasına ve ürün raf ömrünün kısılmasına neden olabilir. Su buharı geçirgenliği hızı yenilebilir filmlerin gıda ile dış ortam arasındaki nem transfer geçirgenliğini gösterir. Film yapısındaki lipid bileşenlerin varlığı, kıvrımlılığı arttırarak su bariyeri özelliklerini arttırır. Su geçirgenliği filmlerin hidrofilik kısmıyla gerçekleşir. Esansiyel yağlar gibi hidrofobik bileşenlerin varlığı filmlerin geçirgenliğini azaltarak su buharı geçirgenliğini azaltabilir.

Sorbitol içeren filmlere tarçın esansiyel yağı ve aloe vera eklenmesi ile su buharı geçirgenliği hızının azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 4.3 Su Buharı Geçirgenliği Hızı Testi Sonuçları

Su Buharı Geçirgenliği Hızı (g/cm ² *s)					
C-1	4,32 10 ⁻⁹	M-1	7,24 10 ⁻⁸	P-1	4,22 10 ⁻⁸
C-2	1,58 10 ⁻⁸	M-2	3,07 10 ⁻⁸	P-2	6,19 10 ⁻⁸
C-L-1	2,79 10 ⁻⁸	M-L-1	7,99 10 ⁻⁸	P-L-1	2,98 10 ⁻⁸
C-L-2	3,93 10 ⁻¹⁰	M-L-2	8,02 10 ⁻⁸	P-T-1	4,29 10 ⁻⁸
C-T-1	1,30 10 ⁻⁸	M-T-1	4,16 10 ⁻⁸	P-T-2	4,09 10 ⁻⁸
C-T-2	9,43 10 ⁻⁸	M-T-2	2,76 10 ⁻⁸	P-K-1	1,73 10 ⁻⁸
C-K-1	2,84 10 ⁻⁸	M-K-1	4,23 10 ⁻⁸	P-K-2	3,84 10 ⁻⁸
C-K-2	2,78 10 ⁻⁸	M-K-2	2,71 10 ⁻⁸		

Su buharı geçirgenliği hızı testi sonuçlarının grafiksel gösterimi aşağıda verilmiştir. Ceviz kabuğu, limon esansiyel yağı ve sorbitol içeren filmlerin en düşük su buharı geçirgenliği hızı gösterdiği görülmüştür. Portakal kabuğu, karanfil esansiyel yağı, gliserol içeren filmler bir sonraki en düşük su buharı geçirgenlik hızına sahip filmlerdir. Sorbitol içeren filmler su buharını daha yavaş geçirmişlerdir. Bunun sebebi sorbitolün hidroforik yapısı olarak gösterilebilir.



Grafik 4.3 Su Buharı Geçirgenliği Hızı Testi Sonuçları

Mango kabuğu ile hazırlanan filmler gıda koruyucu malzeme olarak, ceviz kabuğu ile hazırlanan filmler ise ambalaj malzemesi olarak kullanım gösterebilir. Portakal kabuğu ile hazırlanan bazı film çözeltileri ambalaj malzemesi olarak geliştirilebilir.

4.1.4 Şişme İndeksi

Hazırlanan yenilebilir filmlere yapılan şişme indeksi test sonuçları Tablo 4.4'te verilmiştir.

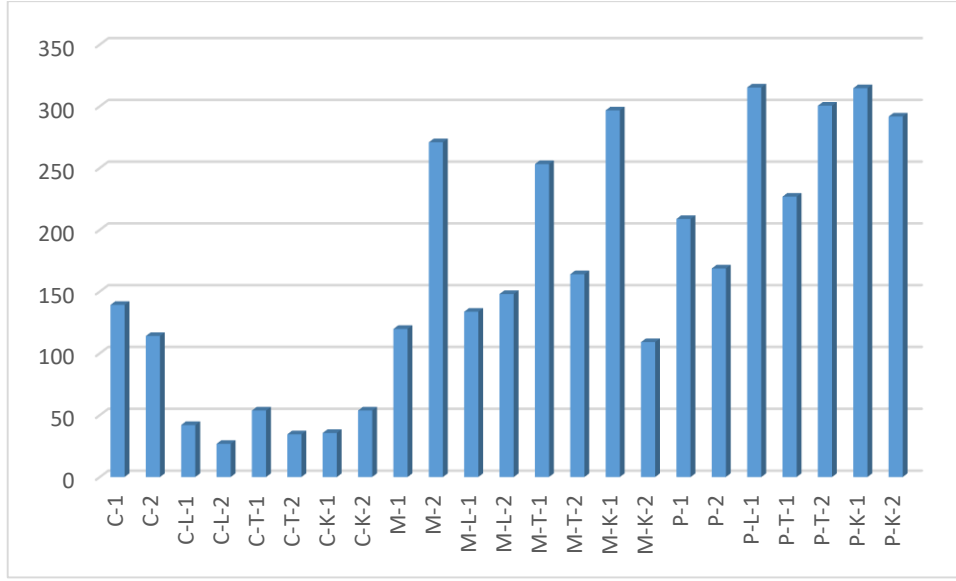
Mango kabuğu-gliserol ve portakal kabuğu ile hazırlanmış filmlere esansiyel yağ eklenmesi filmlerin şişme indeksini arttırmıştır. Ceviz kabuğu ile hazırlanan filmlere esansiyel yağ katkısı ise filmlerin şişme indeksini azaltmıştır. En düşük şişme indeksi ceviz kabuğu, sorbitol ve limon kabuğu esansiyel yağı kullanılarak hazırlanan filmde görülmüştür. Çizelgeye bakılarak sorbitol katkılı filmlerin diğer filmlere kıyasla şişme indeksinin daha yüksek olduğu genel olarak söylenebilir. Bu durum sorbitolün su emme kapasitesi ile açıklanabilir. Şişme indeksinde katkı malzemelerinin polisakkaritler ile oluşturduğu biçimler önem taşımaktadır. Burada belirleyici faktörün polisakkarit olduğu söylenebilir.

Tablo 4.4 Şişme İndeksi Testi Sonuçları

Şişme İndeksi (%)					
C-1	139,2	M-1	119,7	P-1	208,7
C-2	114	M-2	270,9	P-2	168,6
C-L-1	42	M-L-1	133,6	P-L-1	315,2
C-L-2	26,8	M-L-2	147,9	P-T-1	226,8
C-T-1	53,8	M-T-1	253,2	P-T-2	300,5
C-T-2	34,5	M-T-2	164	P-K-1	314,6
C-K-1	35,6	M-K-1	296,7		
C-K-2	53,8	M-K-2	109		

Hazırlanan film çözeltilerine ait şişme indeksi sonuçları aşağıdaki grafikte verilmiştir.

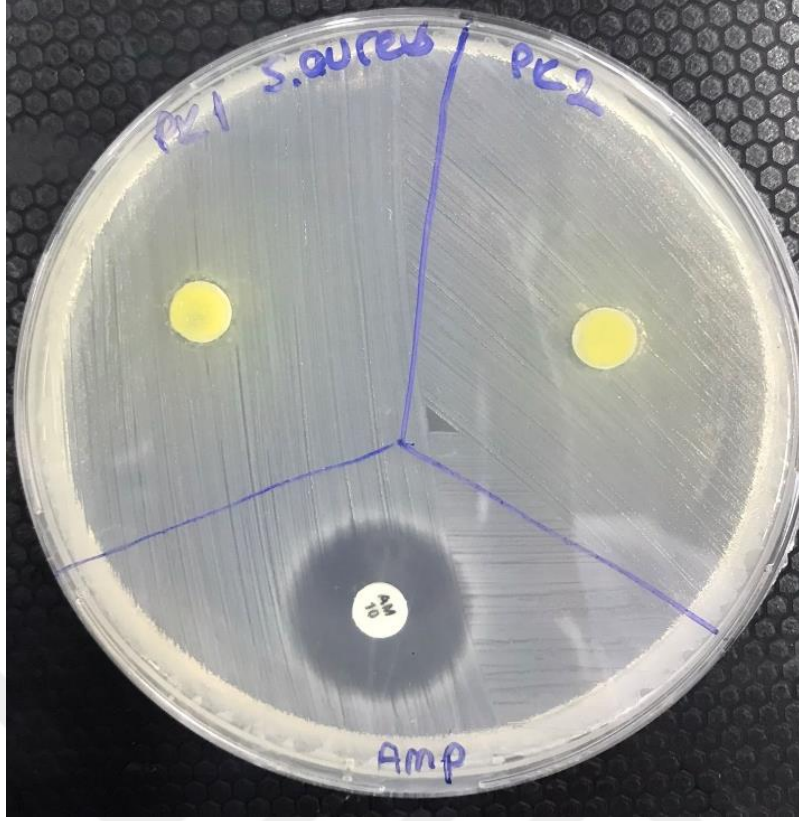
Ceviz kabuğu kontrol filmlerine esansiyel yağ eklenmesi filmlerin şişme indeksini düşürmüştür. Bu durum esansiyel yağların hidrofobikliği ile açıklanabilir. Portakal kabuğu ile hazırlanan yenilebilir filmler en fazla şişme indeksine sahip filmler olmuştur. Bunun yanı sıra mango kabuğu ile hazırlanan filmler üzerinde gliserol içeren filmlere esansiyel yağ ve aloe vera eklenmesi şişme indeksini arttırmış, sorbitol içeren filmlere esansiyel yağ ve aloe vera eklenmesi şişme indeksini düşürmüştür. Mango, sorbitol, esansiyel yağ, aloe vera içeren filmler ambalaj malzemesi olarak değerlendirilebilirken, mango, gliserol, esansiyel yağ, aloe vera içeren filmler gıda koruyucusu olarak değerlendirilebilir. Şişme indekslerine bakılarak ceviz kabuğu ile hazırlanan filmlerin iyi bir ambalaj malzemesi olarak kullanılabileceği söylenebilir.



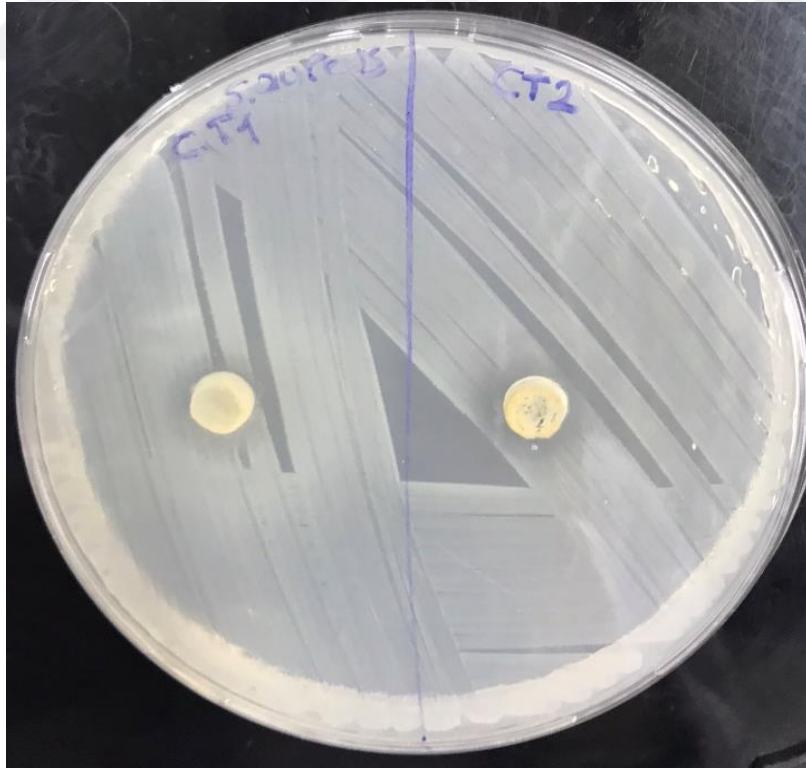
Grafik 4.4 Şişme İndeksi Sonuçları

4.1.5 Antibakteriyel Test

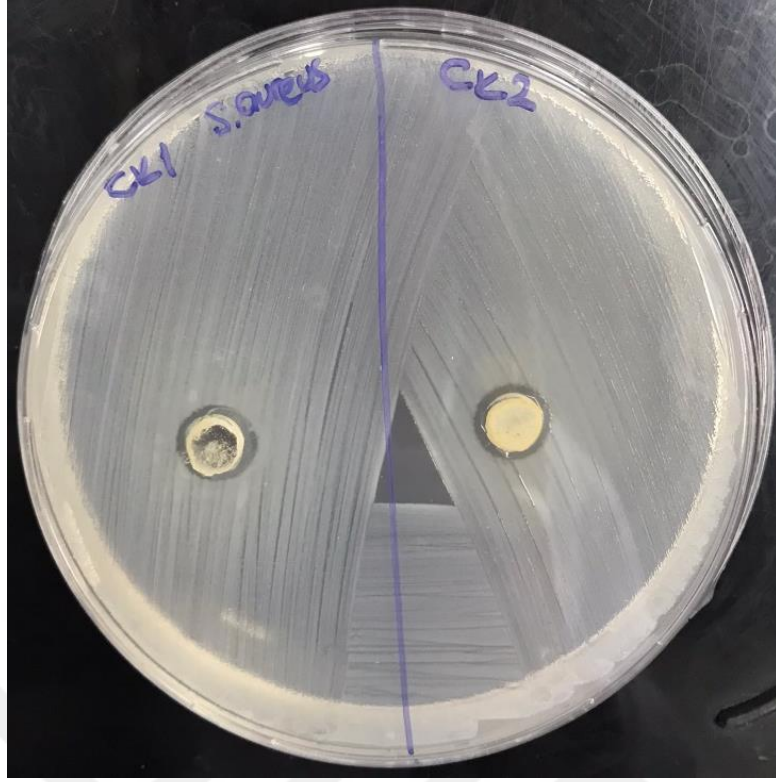
Elde edilen film çözeltilerinin antibakteriyel aktiviteleri incelenerek yenilebilir filmlerin gıda koruyucu bir malzeme olarak kullanılması değerlendirilmiştir. Aşağıda verilen şekillerde film çözeltilerinin E.coli ve S.aureus kültürleri üzerindeki inhibisyon zon oluşum etkileri gösterilmiş ve oluşturduğu inhibisyon çapları ölçülmüştür. Kontrol grubu olarak Ampicilin (AMP) antibiyotik diski kullanılmıştır.



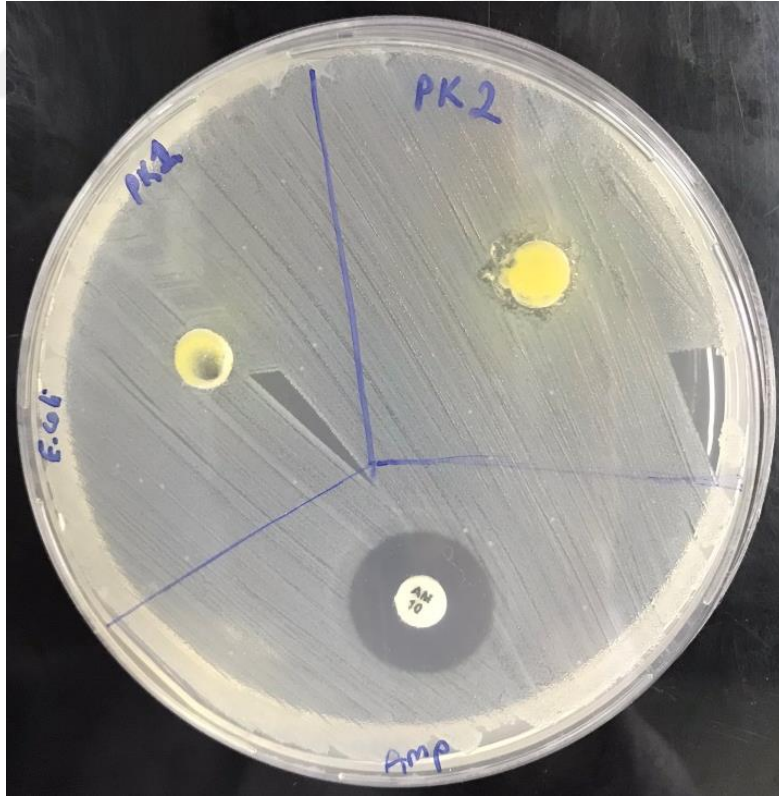
Şekil 4.1 Amp diski kontrol grubu *S. aureus*



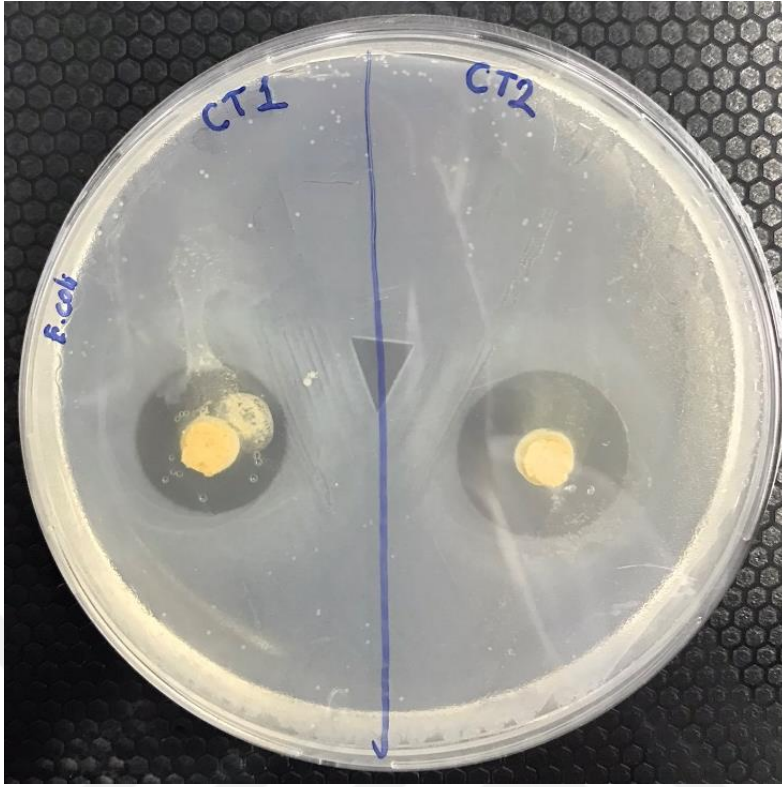
Şekil 4.2 *S. aureus* CT1 ve CT2 inhibisyon alanı



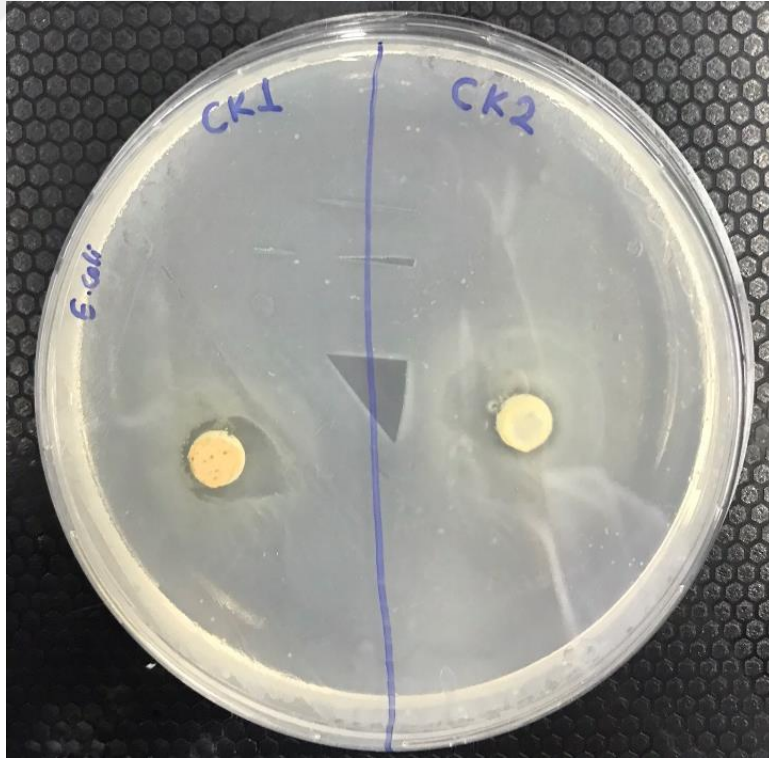
Şekil 4.3 *S. aureus* CK1 ve CK2 inhibisyon alanı



Şekil 4.4 Amp diski kontrol grubu *E. coli*



Şekil 4.5 E.Coli CT1 ve CT2 inhibisyon alanı



Şekil 4.6 E.coli CK1 ve CK2 inhibisyon alanı

Tablo 4.5 ve 4.6’da yenilebilir filmlerin S.aureus ve E.coli bakterilerine karşı oluşturduğu inhibisyon ölçüm alan sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.5 İnhibisyon Alanı Ölçüm Sonuçları (S.aureus)

Film Çözeltilisi	İnhibisyon Alanı Çap (cm)
AMP	2
CT1	1
CT2	1,2
CK1	0,9
CK2	0,85

Tablo 4.6 İnhibisyon Alanı Ölçüm Sonuçları (E.coli)

Film Çözeltilisi	İnhibisyon Alanı Çap (cm)
AMP	1,6
CT1	1,7
CT2	1,9
CK1	1,1
CK2	0,7

S.aureus ve E.coli bakterilerine karşı CT1, CT2, CK1 ve CK2 film çözeltilerinin etki gösterdiği gözlemlenmiştir. S.aureus bakterisine karşı en iyi etkiyi 1,2 cm ile CT2 filmi gösterdiği belirlenmiştir. Tarçın esansiyel yağı ile hazırlanan yenilebilir film çözeltileri karanfil esansiyel yağı ile hazırlanan yenilebilir film çözeltilerinden daha fazla etki göstermiştir.

İnhibisyon alan ölçümlerine bakılarak CT1 ve CT2 numaralı film çözeltilerinin E.coli bakterisine karşı antibiyotikten daha fazla etkinlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Gıda koruyucu malzemesi olarak ceviz kabuğu iyi bir alternatif olarak belirtilebilir. Aloe vera ilavesi ve tarçın ya da karanfil esansiyel yağı ile gıda koruyucu malzemenin E.coli ve S.aureus bakterilerine karşı etkinlikleri artırılabilir.

Gıda koruyucu malzeme olarak ceviz kabuğu, tarçın ve karanfil esansiyel yağı kullanılarak hazırlanan yenilebilir filmler umut verici bir malzeme olabilir.

4.1.6 Meyve Kaplama ve Renk Analizi

Meyvelerin vitaminler, fenoller ve diğer antioksidanlar içermesi ile çeşitli kanserlerin ve dejeneratif hastalıkların önlenmesine olan bilinen faydaları sayesinde taze kesilmiş meyvelere olan talep önemli ölçüde artmıştır. Taze kesilmiş meyveler fizikokimyasal, dokusal ve metabolik değişimler ile kalitesini ve tazeliğini kaybedebilir (Guerreiro, 2017).

Meyvelerin yedi günün sonundaki kütle değişim yüzdeleri aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 4.7 Meyvelerin 7 gün içerisindeki kütle kayıp yüzde miktarları (ceviz kabuğu)

Meyve Kaplama					
Film çözeltisi	Meyve	% KÜTLE	Film çözeltisi	Meyve	% KÜTLE
C1	ERİK	0,14	CL1	ERİK	0,12
	ÜZÜM	0,53		ÜZÜM	0,91
	ELMA	8,31		ELMA	8,75
C2	ERİK	0,99	CL2	ERİK	0,12
	ÜZÜM	0,31		ÜZÜM	0,32
	ELMA	6,32		ELMA	5,92
CT1	ERİK	0,18	CK1	ERİK	0,27
	ÜZÜM	0,43		ÜZÜM	1,49
	ELMA	9,28		ELMA	9,72
CT2	ERİK	0,46	CK2	ERİK	0,27
	ÜZÜM	1,26		ÜZÜM	2,10
	ELMA	9,40		ELMA	9,75

Tablo 4.8 Meyvelerin 7 gün içerisindeki kütle kaybı yüzde miktarları (mango kabuğu)

Meyve Kaplama					
Film çözeltisi	Meyve	% KÜTLE	Film çözeltisi	Meyve	% KÜTLE
M1	ERİK	0,34	ML1	ERİK	0,09
	ÜZÜM	0,30		ÜZÜM	0,47
	ELMA	5,93		ELMA	3,51
M2	ERİK	0,45	ML2	ERİK	0,07
	ÜZÜM	0,06		ÜZÜM	0,12
	ELMA	6,22		ELMA	3,21
MT1	ERİK	0,26	MK1	ERİK	0,15
	ÜZÜM	0,04		ÜZÜM	0,10
	ELMA	5,38		ELMA	8,01
MT2	ERİK	0,12	MK2	ERİK	0,01
	ÜZÜM	0,31		ÜZÜM	0,77
	ELMA	6,32		ELMA	6,04

Tablo 4.9 Meyvelerin 7 gün içerisindeki kütle kaybı yüzde miktarları (portakal kabuğu)

Meyve Kaplama					
Film çözeltisi	Meyve	% KÜTLE	Film çözeltisi	Meyve	% KÜTLE
P1	ERİK	0,07	PT1	ERİK	0,92
	ÜZÜM	0,36		ÜZÜM	0,49
	ELMA	5,81		ELMA	6,73
P2	ERİK	0,28	PT2	ERİK	0,59
	ÜZÜM	0,49		ÜZÜM	0,12
	ELMA	7,45		ELMA	8,15
PK1	ERİK	0,33	PL1	ERİK	0,14
	ÜZÜM	2,60		ÜZÜM	0,56
	ELMA	9,33		ELMA	9,49
PK2	ERİK	0,44	KONTROL	ERİK	1,20
	ÜZÜM	2,78		ÜZÜM	1,09
	ELMA	10,67		ELMA	9,97

Veriler incelendiğinde kaplanmış eriklerin kontrol (kaplanmamış) eriklere istinaden daha az kütle kaybettiği gözlemlenmiştir. Kaplanmış üzümlerin kaplanmamış üzümlere göre daha az kütle kaybettiği görülmüştür. CT2, CK1, CK2, PK1 ve PK2 film çözeltileri ile kaplanan üzümler kontrol filmlerinden daha fazla kütle kaybetmiştir. Bu durum belirtilen çözeltilerin üzüm kaplaması için iyi bir alternatif olmayacağı yönünde yorumlanabilir.

PK2 film çözeltisi ile kaplanan taze kesilmiş elmaların kütle kayıplarının kontrol meyvelerden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Karanfil esansiyel yağı ile yürütülen bir çalışmada (Park, 2022) ve arkadaşları kitosan bazlı yenilebilir filmleri kırmızı lahana ve karafil yağı ile harmanlayarak iyonik jelleşme yöntemi ile hazırlamışlardır. Karanfil yağının antimikrobiyal aktivitesinin, kitosan ve ırlanda yosunuyla kapsülleşmesiyle arttığını belirtmişlerdir. Karanfil yağının sorbitol ve ceviz kabuğu ile harmanlanarak elde edilen kaplama çözeltisinin koruyuculuğunun diğer filmlere göre düşük olduğu gözlemlenmiştir.

CL2 çözeltisi ile kaplanan meyvelerin diğer ceviz kabuğu çözeltilerine göre kütle kaybını daha fazla önlediği görülmüştür. Portakal kabuğu kontrol film çözeltilerine esansiyel yağ ve aloe vera eklenmesi, kaplamanın meyve üzerindeki kütle koruyuculuğunu azalttığı gözlemlenmiştir.

Mango kabuğu ve esansiyel yağlar kullanılarak hazırlanan film çözeltilerinin kütle koruyuculuğunun bütün parametrelerde kaplanmamış meyvelere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

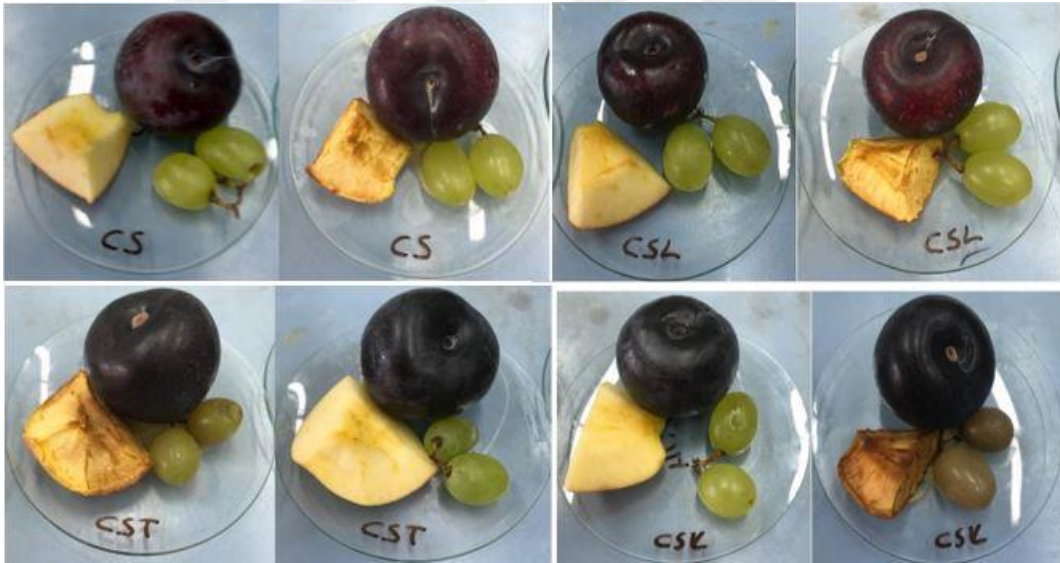
Tablo 4.10, 4.11 ve 4.12’de film çözeltileri ile kaplanmış meyvelerin renk değişim ölçümleri verilmiştir. Şekil 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13’de kaplanmış ve kaplanmamış meyvelerin 7 günlük değişimleri verilmiştir.

Tablo 4.10 Meyvelerin 7 gün içerisindeki renk değişim ölçüm sonuçları (ceviz kabuğu)

		ERİK		ΔE	ELMA		ΔE	ÜZÜM		ΔE
C1	L	26,3	24,1	3,1	74,0	75,4	3,0	39,9	39,1	3,0
	a	2,0	4,2		0,6	7,6		-1,5	-1,6	
	b	-0,2	0,3		22,2	36,8		8,2	11,2	
C2	L	31,1	27,0	4,0	74,9	76,9	2,1	38,8	37,7	2,1
	a	12,1	11,6		1,2	9,6		-0,8	-1,1	
	b	2,3	2,6		22,0	34,4		12,2	10,5	
CL1	L	27,2	23,0	5,2	71,8	74,8	3,5	37,5	34,1	3,5
	a	7,2	6,4		0,8	8,8		-1,5	-0,6	
	b	0,2	3,1		19,1	37,8		8,6	8,5	
CL2	L	33,4	27,9	7,9	72,5	72,7	3,5	33,8	37,2	3,5
	a	11,4	14,0		1,8	10,8		-0,5	-0,2	
	b	0,3	5,4		25,6	38,5		8,9	9,7	
CT1	L	30,4	26,3	8,6	72,3	70,2	6,2	43,2	38,2	6,2
	a	20,6	13,3		1,8	11,4		-1,6	1,0	
	b	7,2	5,4		23,1	39,1		8,8	11,3	
CT2	L	27,2	24,0	4,0	76,5	75,0	0,3	35,1	35,3	0,3
	a	3,2	3,7		2,2	10,5		-0,8	-0,6	
	b	-1,5	0,8		21,7	33,8		9,6	9,4	
CK1	L	28,6	24,7	6,4	76,8	60,9	5,5	42,3	37,2	5,5
	a	17,0	12,2		-0,1	15,7		-1,7	0,4	
	b	5,4	7,2		22,6	34,5		7,9	7,7	
CK2	L	30,8	26,7	4,5	77,8	60,2	11,1	36,2	46,7	11,1
	a	2,2	2,1		1,6	17,5		-0,3	0,6	
	b	-2,8	-0,9		22,6	36,0		7,1	10,7	



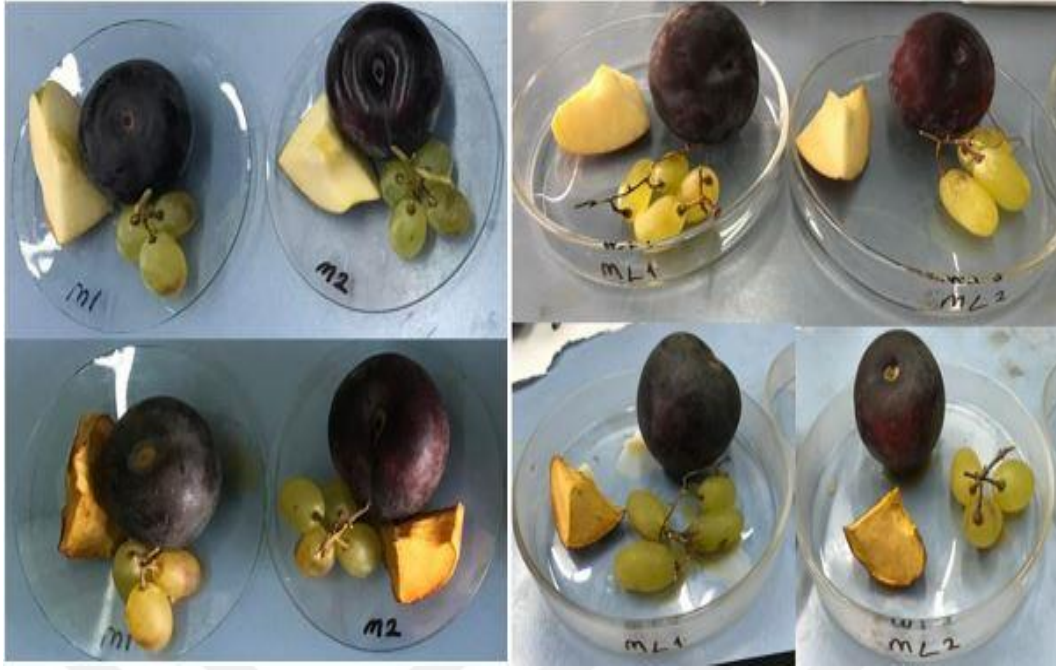
Şekil 4.7 C1-CL1-CT1-CK1 film çözeltileriyle kaplanmış meyveler (7 gün)



Şekil 4.8 C2-CL2-CT2-CK2 film çözeltileriyle kaplanmış meyveler (7 gün)

Tablo 4.11 Meyvelerin 7 gün içerisindeki renk değişim ölçüm sonuçları (mango kabuğu)

		ERİK		ΔE	ELMA		ΔE	ÜZÜM		ΔE
M1	L	42,1	28,5	16,6	70,5	58,6	25,6	44,0	33,6	11,4
	a	1,1	4,4		5,7	14,6		-1,6	1,7	
	b	11,4	2,5		25,7	46,5		5,8	9,1	
M2	L	28,5	30,6	3,5	71,6	66,6	20,1	39,6	35,7	5,7
	a	7,6	10,5		5,5	13,0		-0,9	2,7	
	b	0,8	1,4		26,8	44,8		8,3	10,5	
ML1	L	29,8	28,1	5,8	75,0	74,3	19,0	30,7	34,4	14,4
	a	6,4	5,6		1,2	8,9		8,5	1,5	
	b	-1,3	4,2		25,0	42,3		2,4	14,3	
ML2	L	24,5	29,7	7,7	76,7	75,7	19,8	38,3	35,0	3,7
	a	23,5	18,2		1,0	8,5		0,7	-0,9	
	b	11,2	8,9		21,7	39,9		9,7	9,8	
MT1	L	32,5	26,1	7,5	73,9	50,9	32,9	39,4	34,6	5,3
	a	4,2	5,1		1,6	16,3		-0,4	1,1	
	b	-2,8	1,0		19,7	38,1		10,9	12,7	
MT2	L	29,2	27,5	4,0	76,3	54,6	33,3	37,4	34,2	3,6
	a	9,2	10,8		1,8	15,7		0,3	1,0	
	b	0,9	4,1		20,6	41,7		10,1	11,7	
MK1	L	26,6	24,6	2,5	75,2	48,3	35,3	35,2	32,5	4,1
	a	2,0	2,5		0,1	18,2		-0,2	-0,3	
	b	-0,8	0,6		22,4	36,3		9,2	6,2	
MK2	L	31,8	29,9	2,8	73,4	48,0	33,2	36,9	33,6	4,4
	a	8,4	7,0		0,0	15,0		-1,7	1,2	
	b	2,8	1,5		21,4	36,8		11,4	11,5	



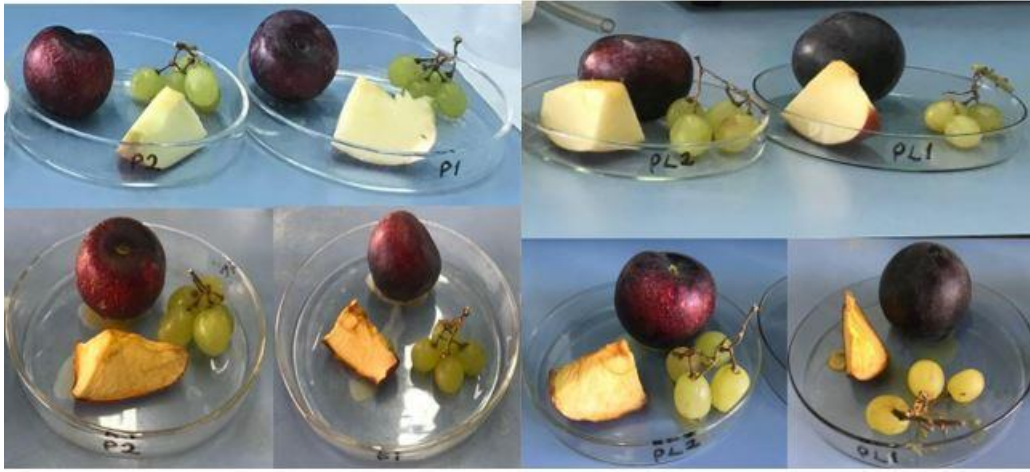
Şekil 4.9 M1-M2-ML1-ML2 film çözeltileriyle kaplanmış meyveler (7 gün)



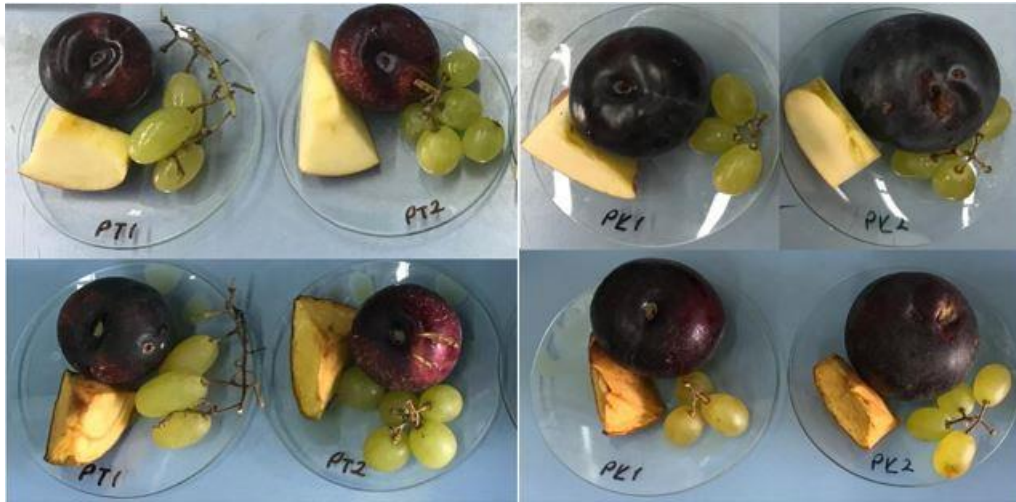
Şekil 4.10 MT1-MT2-MK1-MK2 film çözeltileriyle kaplanmış meyveler (7 gün)

Tablo 4.12 Meyvelerin 7 gün içerisindeki renk değişim ölçüm sonuçları (portakal kabuğu-kontrol)

		ERİK		ΔE	ELMA		ΔE	ÜZÜM		ΔE
P1	L	71,0	73,3	22,8	34,8	30,5	5,0	37,1	37,7	4,1
	a	1,5	9,6		14,4	15,1		-0,9	-1,1	
	b	22,0	43,2		2,3	4,6		8,3	12,4	
P2	L	73,9	81,4	19,2	31,0	29,7	9,8	41,7	40,2	2,3
	a	0,6	6,5		13,0	20,2		-1,8	-0,7	
	b	20,3	37,0		4,6	11,1		11,3	12,7	
PL1	L	33,5	29,4	5,8	75,6	77,5	19,0	36,3	43,3	8,6
	a	8,1	7,5		1,7	7,2		1,3	4,4	
	b	-2,0	2,1		20,0	38,0		10,6	14,4	
PL2	L	36,2	33,4	3,0	75,4	78,0	21,8	43,3	44,1	1,4
	a	15,7	14,6		0,2	8,1		-0,8	-0,8	
	b	5,7	5,6		20,7	40,8		14,8	13,6	
PT1	L	34,6	27,2	9,4	75,0	76,4	19,1	36,3	40,8	9,8
	a	15,4	11,5		0,2	6,8		-1,8	-0,1	
	b	1,3	5,5		21,5	39,3		8,9	17,4	
PT2	L	27,3	30,4	5,9	75,4	75,8	27,6	34,3	37,0	5,1
	a	12,2	14,6		-0,8	7,9		-0,5	1,0	
	b	3,2	7,6		20,3	46,5		10,7	14,7	
PK1	L	28,6	27,2	2,2	74,1	71,7	20,9	38,6	35,0	4,4
	a	7,5	8,7		4,5	13,5		0,1	1,3	
	b	-0,3	0,9		24,1	42,8		10,8	8,6	
PK2	L	29,6	25,5	4,7	47,6	67,6	42,0	35,1	36,7	2,2
	a	6,3	7,2		6,4	17,2		-0,4	1,1	
	b	0,2	2,2		9,6	44,9		9,5	9,2	
KONTROL	L	76,7	84,4	9,5	31,2	27,2	4,5	40,9	39,1	2,1
	a	0,1	0,6		10,4	8,8		-1,5	-1,2	
	b	19,7	25,2		2,0	3,2		10,5	11,5	



Şekil 4.11 P1-P2-PL1-PL2 film çözeltileriyle kaplanmış meyveler (7 gün)



Şekil 4.12 PT1-PT2-PK1-PK2 film çözeltileriyle kaplanmış meyveler (7 gün)



Şekil 4.13 Kaplanmamış meyveler (7 gün)

Tablolar incelendiğinde gliserol ve sorbitol katkılı filmlerin artan a ve azalan L, b değerlerinin bir hafta süreyle meyveler üzerindeki parlaklığının zayıfladığını ve sarı-yeşil tonlarının koyulaştığını belirtmektedir (Zhang K. C., 2023).

Limon esansiyel yağı eklenmesi gliserol katkılı filmlerde erik üzerinde azalan a ve L, artan b değerleri gösterirken üzüm ve elmada artan a ve b değerleri göstermiştir.

Tarçın esansiyel yağı eklenmiş gliserol katkılı mango film çözeltisi erik için a değerini düşürürken aynı formülasyonun portakal ve ceviz katkılı film çözeltilerinde bu durum tam tersi olarak gözlemlenmiştir.

Günümüzde ticari amaçla kullanılan yenilebilir filmler genellikle renksizdir. Ana hammadde olarak bitki özleri içeren biyoaktif yenilebilir filmler ise genellikle renklidir. (Souza, 2017) ve arkadaşları yenilebilir filmlerin daha yüksek renk yoğunluğunun gıdaların fotooksidasyon reaksiyonlarıyla bozulmasına karşı koruma açısından daha büyük bir avantaj gösterdiğini belirtmişlerdir (Wang M. L., 2023).

Renk ölçümleri ve meyve görselleri incelendiğinde karanfil esansiyel yağının, bütün karışımlar için, meyve renk koruması üzerinde en az koruyuculuğa sahip olduğu görülmüştür. Bununla beraber en iyi renk korumanın limon esansiyel yağı ile hazırlanan karışımlarla kaplanmış meyvelerde olduğu belirlenmiştir. Mango kabuğu ile hazırlanan film çözeltilerinin kaplanmış olduğu meyvelerin kütle koruyuculuğunun yanı sıra görsel bütünlüğünü koruyamadığı gözlemlenmiştir. Portakal ve ceviz kabuğu kullanılarak hazırlanan yenilebilir film çözeltileri ile kaplanan meyvelerin rengini daha iyi koruduğu görülmüştür.

4.1.7 Kalınlık

Yenilebilir filmlerin kalınlığı fiziksel film özellikleri için önemlidir. Tablo 4.13’de yenilebilir filmlerin kalınlık ölçüm sonuçları verilmiştir.

Gliserol katkılı yenilebilir filmlerin polisakkaritin değişmesi ile film kalınlıklarında bir değişkenlik olmadığı gözlemlenmiştir. Öte yandan sorbitol katkılı filmlerde portakal kabuğu ile hazırlanmış filmler mango ve ceviz kabuğu ile hazırlanmış filmlere istinaden çok daha ince olduğu ölçülmüş ve gözlemlenmiştir. Ceviz kabuğu-gliserol ve mango-gliserol ile hazırlanmış filmlere esansiyel yağ eklenmesi film kalınlığına etki etmemiştir. Aynı yorum sorbitol ve esansiyel yağ ile hazırlanmış ceviz kabuğu ve mango filmleri içinde yapılabilir.

Tablo 4.13 Film Kalınlık Ölçüm Sonuçları

Film	Kalınlık (mm)	Film	Kalınlık (mm)
C-1	0,3	C-T-1	0,3
C-2	0,4	C-T-2	0,4
C-L-1	0,3	C-K-1	0,3
C-L-2	0,7	C-K-2	0,4
M-1	0,3	M-T-1	0,3
M-2	0,3	M-T-2	0,4
M-L-1	0,2	M-K-1	0,3
M-L-2	0,2	M-K-2	0,4
P-1	0,3	P-T-1	0,2
P-2	0,1	P-T-2	0,2
P-L-1	0,2	P-K-1	0,2
P-K-2	0,2		

Portakal kabuğu ve sorbitol ile hazırlanan filmlere esansiyel yağ eklenmesi filmlerin kalınlığını arttırmıştır. Gliserol ve portakal kabuğu ile hazırlanan filmlere esansiyel yağ eklenmesi ise film kalınlıklarını azaltmıştır. Ortaya çıkan bu farklı durumlar filmlerin polisakkarit, plastikleştirici ve esansiyel yağlarla oluşturduğu farklı bağlar ile açıklanabilir. Gıda koruyucu olarak kullanılması planlanan malzemenin film kalınlığının daha düşük, ambalaj malzemesi olarak kullanılması planlanan malzemenin film kalınlığının daha yüksek olması beklenmelidir.

5

SONUÇ

Yenilebilir film ve kaplamaların temel amacı doğada parçalanabilir, biyobozunur ambalaj malzemeleri üretmek, gıda kalitesini arttırarak raf ömrünü uzatmak, giderek artan plastik kirliliğini azaltmaya yardımcı olmaktır. Günümüzde bu alanda birçok çalışma gerçekleştirilmiştir, çalışmalar gerçekleştirilmeye devam etmektedir. Kompozit yenilebilir filmler birden fazla biyopolimerin bir arada birleştirilmesi ile elde edilir. Kompozit yenilebilir film ya da kaplamanın gıda üzerindeki etkinliği seçilen biyopolimerin ve film oluşumuna katılan katkı malzemelerinin arasındaki uyuma bağlıdır.

Mango kabuğu ile hazırlanan film çözeltilerinin kaplanan meyveler üzerindeki kütle koruyuculuğunun en fazla olduğu belirlenmiştir. Mango kabuğu ile hazırlanan yenilebilir film çözeltisi ile kaplanan meyvelerin kütle koruyuculuğunun yanı sıra kaplanan meyvelerin rengini portakal ve ceviz kabuğuna kıyasla koruyamamıştır. Mango kabuğu ile hazırlanan yenilebilir film çözeltileri E.coli ve S.aureus bakterilerine karşı antibakteriyel etkinlik göstermemiştir. Elde edilen yenilebilir filmlere uygulanan test sonuçları incelendiğinde mango kabuğu kullanılarak elde edilen yenilebilir filmlerin gıda koruyucu olarak gelecekte kullanılması iyi bir malzeme olarak değerlendirilmiştir. Sorbitol içeren M2, ML2, MT2 ve MK2 filmlerin daha düşük nem içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Mango kabuğu ile hazırlanan filmlerin portakal ve ceviz kabuğu ile hazırlanan filmlerden daha fazla suda çözünürlük yüzdesine sahip olduğu belirlenmiştir. M1 ve M2 kontrol filmlerine limon esansiyel yağı ve aloe vera eklenmesi filmlerin su buharı geçirgenliği hızını önemli ölçüde arttırmıştır. M2 kontrol filmine tarçın ve karanfil esansiyel yağı, aloe vera eklenmesi filmlerin su buharı geçirgenliği hızını düşürmüştür. Yapılan test sonuçları incelendiğinde mango kabuğu ile hazırlanan filmlerin gıda koruyucu malzeme olarak kullanımının değerlendirilebileceği ve umut vadeden bir malzeme olduğu söylenebilir.

Portakal kabuğu kullanılarak hazırlanan kontrol ve esansiyel yağ, aloe vera katkılı film çözeltileri ile kaplanan meyvelerin rengini 7 günün sonunda iyi koruduğu ve kütle kaybının kaplanmamış meyvelere göre düşük olduğu görülmüştür. PL2 karışımı ile hazırlanan yenilebilir film çözeltisinin dökme ve kurutma işleminden

sonra bütünlük sağlayamadığı görülmüştür. Bu formülasyondaki film çözeltisinin katı ambalaj malzemesi olarak kullanılabilirliğinin olmadığı belirlenmiştir. Portakal kabuğu kontrol filmlerine tarçın, karanfil esansiyel yağı ve aloe vera eklenmesi filmlerin nem içeriğini arttırmıştır. P1 ile hazırlanan film çözeltilerine esansiyel yağ ve aloe vera eklenmesi filmlerin suda çözünürlüğünü azaltmıştır. P2 ile hazırlanan filmlere esansiyel yağ ve aloe vera eklenmesi ise filmlerin suda çözünürlüklerini arttırmıştır. P2 filmi portakal kabuğu ile hazırlanan filmler içerisinde suda en düşük çözünürlüğü (%12,87) göstermiştir. Portakal kabuğu ile hazırlanan filmler içerisinde suda çözünürlüğü en yüksek olan film ise P1'dir (%22,09). Karanfil esansiyel yağı ve aloe vera eklenmesi portakal kabuğu filmlerin su buharı geçirgenlik hızını önemli ölçüde düşürmüştür. Esansiyel yağ ve aloe vera katkısının portakal kabuğu ile hazırlanan filmlerin su buharı geçirgenlik hızını düşürdüğü söylenebilir. Portakal kabuğu ile hazırlanan filmlerin şişme indeksi ceviz kabuğu ile hazırlanan filmlerden yüksektir.

Ceviz kabuğuna aloe vera, tarçın ve karanfil esansiyel yağı eklenerek hazırlanan kompozit filmler E.coli ve S.aureus bakterilerine karşı antibakteriyel koruma göstermişlerdir. CT1 ve CT2 film çözeltileri E.coli bakterisine karşı 1,6 cm'lik bir koruma çapı gösteren AMP'den 1,7 ve 1,9 cm'lik koruma çapı ile daha fazla etkinlik göstermişlerdir. CK1 ve CK2'de E.coli bakterisine karşı iyi bir koruma çapı göstermişlerdir. S.aureus bakterisine karşı CT1, CT2, CK1 ve CK2 antibakteriyel koruma göstermişlerdir. C2, CL2, CT2, filmleri aynı formülasyonda plastikleştirici farklılığı içeren C1, CL1, CT1, filmlerinden daha az şişme indeksine sahip olduklarını göstermişlerdir. Ceviz kabuğu kullanılarak hazırlanan filmlerden en düşük şişme indeksine sahip filmin %26,8 ile CL2 olduğu görülmüştür. Öte yandan ceviz kabuğu kontrol filmlerine esansiyel yağ ve aloe vera eklenmesi şişme indeksini düşürmüştür. CK1 ve CK2 filmlerinin su buharı geçirgenliği diğer ceviz kabuğu filmlere göre daha yüksektir. Su buharı geçirgenliği en düşük olan filmin CL2 olduğu belirlenmiştir. C1 filmlerine esansiyel yağ ve aloe vera eklenmesi filmlerin su buharı geçirgenliğini arttırmıştır. C1 ve C2 filmlerine limon esansiyel yağı ve aloe vera eklenmesi ile suda çözünürlükleri azalmıştır. Tarçın ve karanfil esansiyel yağı ile aloe vera eklenerek hazırlanan filmlerin suda çözünürlüklerinin arttığı gözlemlenmiştir. C1 ve C2 filmlerine eklenen esansiyel yağ ve aloe vera

filmlerin nem içeriğini düşürmüştür. Bununla beraber sorbitol içeren filmlerin daha düşük nem içeriğine sahip olduğu görülmüştür.

Mango kabuğu kullanılarak hazırlanan kontrol filmleri ve içerisine esansiyel yağ, aloe vera eklenerek hazırlanan yenilebilir filmlerin tarımsal gıda atığı olarak değerlendirilmesinde gıda koruyucu malzeme olarak kullanılabilmesi gıda paketlenme malzemesine göre daha yüksektir. Portakal kabuğu ile hazırlanan kontrol ve esansiyel yağ, aloe vera katkılı filmler her iki kullanım içinde geliştirilmeye açıktır. Ceviz kabuğunun tarımsal gıda atığı olarak değerlendirilmesinde hem gıda paketlenme malzemesi hem de gıda koruyucu malzeme olarak alternatif iyi bir malzeme olduğu söylenebilir. Gelecek kullanımları için geliştirilmeye açık, antibakteriyel koruyuculuğu yüksek bir malzeme olduğu gözlemlenmiştir.

Gıda atıkları ve farklı bitkisel katkıları kullanılarak hazırlanan yenilebilir filmler gelecekte sentetik plastik malzemelerin yerine kullanılabilmesi için umut vadeden malzemelerdir.

- Abdollahzadeh, E. N. (2021). Composition of antimicrobial edible films and methods for assessing their antimicrobial activity: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 291-303.
- Arquelau, P. S. (2019). Characterization of edible coatings based on ripe “Prata” banana peel flour. *Food Hydrocolloids*, 89, 570-578.
- Aslan, Ö. (2014). *DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE EDIBLE COATINGS FOR TURKISH DELIGHT (LOKUM) AND DETERMINATION OF FILM PROPERTIES*. Yüksek Lisans Tezi, Yeditepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği.
- Aziz, M. S. (2021). Developing multifunctional edible coatings based on alginate for active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 190, 837-844.
- Balqis, A. N. (2017). Effects of plasticizers on the physicochemical properties of kappa-carrageenan films extracted from *Eucheuma cottonii*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103, 721-732.
- Candan, T. B. (2018). Gıda Ürünlerinde Yenilebilir Film ve Kaplama Uygulamaları. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 645-655.
- Chavan, P. L. (2023). Recent advances in the preservation of postharvest fruits using edible films and coatings: A comprehensive review. *v*, 418, 135916.
- Chen, J. W. (2021). Characterization of sodium alginate-based films incorporated with thymol for fresh-cut apple packaging. *Food Control*, 126, 108063.
- Cheng, Y. S. (2021). Effect of lipids with different physical state on the physicochemical properties of starch/gelatin edible films prepared by extrusion blowing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 185, 1005-1014.

- Çakmak, H. Ö.-G. (2020). Whey protein isolate edible films incorporated with essential oils: Antimicrobial activity and barrier properties. *Polymer Degradation and Stability*, 179, 109285.
- Dash, K. A. (2019). Thorough evaluation of sweet potato starch and lemon-waste pectin based-edible films with nano-titania inclusions for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 449-458.
- Dash, K. A. (2019). Thorough evaluation of sweet potato starch and lemon-waste pectin based-edible films with nano-titania inclusions for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 449-458.
- Duong, N. U. (2022). An innovative single step of cross-linked alginate-based edible coating for maintaining postharvest quality and reducing chilling injury in rose apple cv. 'Tabtimchan' (*Syzygium samarangense*). *Scientia Horticulturae*, 292, 110648.
- Edhirej, A. S. (2016). Effect of various plasticizers and concentration on the physical, thermal, mechanical, and structural properties of cassava-starch-based films. *Starch - Stärke*, 69(1-2), 1500366.
- El-Miri, N. A. (2018). Effect of plasticizers on physicochemical properties of cellulose nanocrystals filled alginate bionanocomposite films. *Advances in Polymer Technology*.
- Fakhouri, F. M. (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.
- Fan, Y. Y. (2021). Pectin/sodium alginate/xanthan gum edible composite films as the fresh-cut package. *International Journal of Biological Macromolecules*, 181, 1003–1009.
- Galdeano, M. M. (2009). Effects of plasticizers on the properties of oat starch films. *Materials Science and Engineering*, 29(2), 532-538.

- Gaspar, M. B. (2023). Edible films and coatings based on agrifood residues: a new trend in the food packaging research. *Current Opinion in Food Science*, 50, 101006.
- Gheribi, R. P.-G. (2018). Development of plasticized edible films from opuntia ficus-indica mucilage: A comparative study of various polyol plasticizers. *Carbohydrate Polymers*, 190, 204-211.
- Guerreiro, A. G. (2017). The effect of edible coatings on the nutritional quality of 'Bravo de Esmolfe' fresh-cut apple through shelf-life. *LWT - Food Science and Technology*, 75, 210-219.
- Harini, K. M. (2018). Effect of Punica granatum peel extracts on antimicrobial properties in Walnut shell cellulose reinforced Bio-thermoplastic starch films from cashew nut shells. *Carbohydrate Polymers*, 184, 231-242.
- Jeevahan, J. C. (2020). Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 210-222.
- Jodhani, K. N. (2021). Synergistic effect of Aloe gel (Aloe vera L.) and Lemon (Citrus Limon L.) peel extract edible coating on shelf life and quality of banana (Musa spp.). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 2318–2328.
- Joshi, P. G. (2023). Cassava starch-derived aerogels as biodegradable packaging materials. *Materials Chemistry and Physics*, 296, 127282.
- Jridi, M. A. (2020). Physicochemical, antioxidant and antibacterial properties of fish gelatin-based edible films enriched with orange peel pectin: Wrapping application. *Food Hydrocolloids*, 103, 105688.
- Jridi, M. B. (2019). Investigation of physicochemical and antioxidant properties of gelatin edible film mixed with blood orange (Citrus sinensis) peel extract. *Food Packaging and Shelf Life*, 21, 100342.
- Khedri, S. S. (2021). Bioactive edible films: Development and characterization of gelatin edible films incorporated with casein phosphopeptides . *LWT*, 138, 110649.

- Kraithong, S. T. (2023). Understanding of hydrocolloid functions for enhancing the physicochemical features of rice flour and noodles. *Food Hydrocolloids*, 142, 108821.
- Kumar, A. S. (2021). Edible composite bi-layer coating based on whey protein isolate, xanthan gum and clove oil for prolonging shelf life of tomatoes. *Measurement: Food*, 2, 100005.
- Le, K. L. (2021). Fabrication of *Cleistocalyx operculatus* extracts/chitosan/gum arabic composite as an edible coating for preservation of banana. *Progress in Organic Coatings*, 161, 106550.
- Lin, D. Z. (2020). Study on physicochemical properties, antioxidant and antimicrobial activity of okara soluble dietary fiber/sodium carboxymethyl cellulose/thyme essential oil active edible composite films incorporated with pectin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165/A, 1241-1249.
- Liu, C. H. (2020). Heat sealable soluble soybean polysaccharide/gelatin blend edible films for food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 100485.
- Mohamed, S. E.-S.-S. (2020). Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. *Carbohydrate Polymers*, 238, 116178.
- Mousavi, S. R.-J. (2021). Effect of chia seed mucilage/bacterial cellulose edible coating on bioactive compounds and antioxidant activity of strawberries during cold storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 190, 618-623.
- Nicolau-Lapeña, I. C.-M.-A. (2021). Aloe vera gel: An update on its use as a functional edible coating to preserve fruits and vegetables. *Progress in Organic Coatings*, 151, 106007.
- Park, K. L. (2022). Antimicrobial and indicator properties of edible film containing clove bud oil-loaded chitosan capsules and red cabbage for fish preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 196, 163-171.

- Parven, A. R. (2020). Prolonging the shelf life of Papaya (*Carica papaya* L.) using Aloe vera gel at ambient temperature. *Scientia Horticulturae*, 265, 109228.
- Pavinatto, A. M. (2021). Coating with chitosan-based edible films for mechanical/biological protection of strawberries. *International Journal of Biological Macromolecules*, 151, 1004-1011.
- Ploypetchara, T. G. (2008). Effect of sugar on starch edible film properties: Plasticized effect. *Journal of Food Science & Technology*, 55(9), 3757-3766.
- Putri, T. A. (2023). Effect of different starch on the characteristics of edible film as functional packaging in fresh meat or meat products: A review. *Materials Today: Proceedings*.
- Quilez-Molina, A. P. (2022). Composites of Thermoplastic Starch and Lignin-Rich Agricultural Waste for the Packaging of Fatty Foods. *ACS Sustainable Chemical Engineering*, 10(47), 15402–15413.
- Roshandel-hesari, N. M.-E. (2022). Investigation of physicochemical properties, antimicrobial and antioxidant activity of edible films based on chitosan/casein containing *Origanum vulgare* L. essential oil and its effect on quality maintenance of cherry tomato. *Food Chemistry*, 396, 133650.
- Saberi, B. C. (2017). Physical and mechanical properties of a new edible film made of pea starch and guar gum as affected by glycols, sugars and polyols. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 345-359.
- Salama, H. A. (2020). Optimized alginate and Aloe vera gel edible coating reinforced with nTiO₂ for the shelf-life extension of tomatoes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 2693–2701.
- Sarker, A. G. (2021). Bioactive properties and potential applications of Aloe vera gel edible coating on fresh and minimally processed fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 2119–2134.

- Sharma, S. B. (2021). Essential oils as additives in active food packaging. *Food Chemistry*, 343, 128403.
- Souza, V. F. (2017). Physical properties of chitosan films incorporated with natural antioxidants. *Industrial Crops & Products*, 107, 565–572.
- Suhag, R. K. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, 136, 109582.
- Susmitha, A. S. (2021). Development and characterization of corn starch-gelatin based edible films incorporated with mango and pineapple for active packaging . *Food Bioscience*, 41, 100977.
- Tang, H. H. (2023). Preparation and characterization of Aloe vera polysaccharide-based packaging film and its application in blueberry preservation. *Progress in Organic Coatings*, 177, 107445.
- Thakur, R. P. (2018). Development and application of rice starch based edible coating to improve the postharvest storage potential and quality of plum fruit (*Prunus salicina*). *Scientia Horticulturae*, 237, 59-66.
- Thakur, R. P. (2019). Starch-based edible coating formulation: Optimization and its application to improve the postharvest quality of “Cripps pink” apple under different temperature regimes. *Food Packaging and Shelf Life*, 22, 100409.
- Wang, M. L. (2023). Effect of honeysuckle leaf extract on the physicochemical properties of carboxymethyl konjac glucomannan/konjac glucomannan/gelatin composite edible film. *Food Chemistry: X*, 18, 100675.
- Wang, Y. L. (2023). Sustainable polysaccharide-based materials for intelligent packaging. *Carbohydrate Polymers*, 313, 120851.
- Yemenicioglu, A. S. (2020). A review of current and future food applications of natural hydrocolloids. *International Journal of Food Science and Technology* , 55, 1389–1406.
- Yousuf, B. W. (2021). Incorporating essential oils or compounds derived thereof into edible coatings: Effect on quality and shelf life of fresh/fresh-cut produce. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 245-257.

- Zhang, K. C. (2023). Physicochemical and functional properties of chitosan-based edible film incorporated with *Sargassum pallidum* polysaccharide nanoparticles. *Food Hydrocolloids*, 138, 108476.
- Zhang, M. L. (2022). Effects of Sodium Alginate Edible Coating with Cinnamon Essential Oil Nanocapsules and Nisin on Quality and Shelf Life of Beef Slices during Refrigeration. *Journal of Food Protection*, 85(6), 896-905.
- Zhang, Y. H. (2006). Mechanical and thermal characteristics of pea starch films plasticized with monosaccharides and polyols. *Journal of Food Science*, 71(2), E109-E118.
- Zhang, Z. F. (2022). Preparation and characterization of the protein edible film extracted from the migratory locust (*Locusta migratoria*). *Food Packaging and Shelf Life*, 33, 100899.
- Zibaei, R. H. (2021). Applications of emerging botanical hydrocolloids for edible films: A review. *Carbohydrate Polymers*, 256, 117554.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makaleler

1. Girgin, B., Tuğrul, N., 2023, Development of Dry Walnut Shell Edible Film Plasticized with Glycerol and/or Sorbitol and Incorporated with Aloe Vera Gel and Lemon Essential Oil, Periodica Polytechnica Chemical Engineering, 67(2), 193-204.

Projeler

1. Ceviz Mango ve Portakal Kabuklarından Yüksek Dayanımlı ve Antibakteriyel Özellikli Yenilebilir Film Üretimi ve Kaplama Uygulamaları, Nurcan Tuğrul, FBA-2022-4960, 28.07.2022-28.07.2024, Araştırmacı.

