

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



AVOKADO ÇEKİRDEĞİ NİŞASTASINDAN ÜRETİLEN
FİMLERİN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe Gül AŞIKKUTLU FİDAN

Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Gıda Mühendisliği Programı

EYLÜL, 2024

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



AVOKADO ÇEKİRDEĞİ NIŞASTASINDAN ÜRETİLEN
FİLMLEİN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe Gül AŞIKKUTLU FİDAN
(Y2113.040002)

Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Gıda Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Meral YILDIRIM YALÇIN

EYLÜL, 2024

ONAY FORMU

İstanbul Aydın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14.08.2024 tarih ve 2024/13 sayılı toplantısında oluşturulan jüri üyeleri önünde, 03.09.2024 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ayşe Gül AŞIKKUTLU FİDAN'ın tezi hakkında Oybirliği* ile Kabul** kararı verilmiştir.

JÜRİ

1. Üye (Tez Danışmanı) : Dr. Öğr. Üyesi Meral YILDIRIM YALÇIN
2. Üye : Prof. Dr. Abdulhadi BAYKAL
3. Üye : Doç. Dr. Ömer Said TOKER

ONAY

İstanbul Aydın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararı

(*) Oybirliği/Oyçokluğu hâli yazı ile yazılacaktır.

(**) Kabul kararı hâli yazı ile yazılacaktır.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum ‘Avokado Çekirdeği Nişastasından Üretilen Filmlerin Özelliklerinin Belirlenmesi’ adlı çalışmanın, tezin proje başlangıcından bitişine kadarki bütün süreçlerde etik kurallar başta olmakla birlikte bilimsel ahlaka aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlanılan eserlerin Kaynakça’da gösterildiğini ve atıf yapılarak yararlanıldığını belirttiğimi beyan ederim. (03/09/2024)

Ayşe Gül AŞIKKUTLU FİDAN

ÖNSÖZ

“Avokado Çekirdeği Nişastasından Üretilen Filmlerin Özelliklerinin Belirlenmesi” adlı bu çalışma İstanbul Aydın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Gıda Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca benden kıymetli bilgilerini ve tecrübelerini esirgemeyen ve de çalışmalarımı yönlendirmemde büyük emekleri olan, tez konumun seçilmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesinde göstermiş olduğu desteklerinden dolayı değerli danışman hocam Sn. Dr. Öğr. Üyesi Meral YILDIRIM YALÇIN’a, kıymetli zamanlarını ayırarak katkılarını benden esirgemeyen değerli jüri üyelerim Prof. Dr. Abdulhadi BAYKAL ve Doç. Dr. Ömer Said TOKER’e teşekkür ederim. Tez çalışmamda kullandığım avokado çekirdeklerini araştırma çalışmamı destelemek için benimle paylaşan Akdeniz Naturel Yaşam Derneği’ne teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım süresince bana destek olan Esenler Sosyal Yardımlaşma ve Dayanışma Vakfı Müdürü Dilek KARATAŞ’a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bütün hayatım boyunca maddi ve manevi yönden beni destekleyen anneme, babama ve kızlarım Sevde ve Elif’e minnetlerimi sunarım.

Eylül, 2024

Ayşe Gül AŞIKKUTLU FİDAN

AVOKADO ÇEKİRDEĞİ NİŞASTASINDAN ÜRETİLEN FİMLERİN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Biyopolimerler, çeşitli çevre kirliliğine sebep olan sentetik polimerler yerine alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda mevcut kaynakların azalması nedeniyle çeşitli gıda atıklarından yenilebilir ambalaj materyali üretim çalışmaları önem kazanmıştır. Biyobozunur polimerler ile üretilen ambalajlar petrol bazlı polimerlerin aksine çevreyle uyumludur ve çevre kirliliğine neden olmazlar. Yenilebilir film ve kaplamalara çeşitli antimikrobiyal maddeler, ekstraktlar ve esansiyel yağlar katılarak, kaplanan gıdanın raf ömrünü korumanın yanında depolama sırasında kalite kayıplarını azaltılabilir, aktif bileşenler ile gıdalara yeni özellikler kazandırılabilir ve gıdaların besin içeriğini arttırabilir. Çeşitli biyopolimerlerden yenilebilir film ve kaplamalar yapılabilir. En çok tercih edilenlerden biri de nişastadır. Avokado çekirdeği, nişasta içeriği yüksek tarımsal bir atıktır. Avokado çekirdeğinde bulunan nişasta gıda üretiminde pek çok farklı uygulamada kullanım potansiyeline sahiptir. Bu çalışmada avokado çekirdeğinden sodyum metabisülfite ile ekstrakte edilen nişastanın, plastikleştirici olarak çeşitli oranlarda gliserol ilave edilip elde edilen filmlerin fiziksel, mekanik ve bariyer özelliklerinin belirlenmesi, karşılaştırılması ve optimum formülasyondaki filmin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, farklı oranlarda nişasta (%3-5) ve gliserol (%0,75-1,75) kullanılarak tam faktöriyel deney tasarımı yapılmış, üretilen filmlerin çeşitli fiziksel (kalınlık, yoğunluk, opaklık), mekanik (kopma mukavemeti, kopma anındaki maksimum uzama) ve bariyer (suda çözünürlük, su buharı geçirgenliği) özellikleri incelenmiştir. Yapılan optimizasyon çalışmasında maksimum mekanik özellikler (0,85 N/mm² kopma mukavemeti ve %12,18 kopma anındaki maksimum uzama), minimum suda çözünürlük (%13,52) ve su buharı geçirgenliği (0,73 gmm/m²h kPa) özelliklerine sahip optimum film formülasyonu %4 nişasta ve %1 gliserol içeren film şeklinde belirlenmiştir. Optimum noktadaki filmin özellikleri doğrulama çalışması yapılmıştır ve aynı formülasyondaki filme mavi kelebek

sarmaşığı (*Clitoria ternatea*) ekstraktı eklenerek tavuk göğüs etlerinin ambalajında bozulma indikatörü olarak kullanımı test edilmiştir. Tavuk göğüs etlerinin 3 gün boyunca oda sıcaklığında bozulması, pH değışimleri ve Toplam Mezofilik Aerobik bakteri sayımı ile izlenmiştir. Bozulma sırasında ambalaj içerisindeki filmlerin renk değışimi gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma ile avokado çekirdeğinden elde edilen nişasta ve gliserol kullanılarak hazırlanan filmin mekanik ve bariyer özelliklerinin gelişmesi için bir optimum formülasyon belirlenmiştir. Ayrıca üretilen filmin ekstrakt ilavesi ile pH indikatör film olarak kullanım potansiyeli olabileceğı ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Avokado Çekirdeğı Nişastası, Yenilebilir Film, Optimizasyon, Mavi kelebek sarmaşığı

DETERMINATION OF THE PROPERTIES OF FILMS PRODUCED FROM AVOCADO SEED STARCH

ABSTRACT

Biopolymers are emerging as an alternative to synthetic polymers that cause various environmental pollution. In recent years, due to the decrease in available resources, edible packaging material production studies from various food wastes have gained importance. Unlike petroleum-based polymers, packaging produced with biodegradable polymers are environmentally compatible and do not cause environmental pollution. By adding various antimicrobial substances, extracts and essential oils to edible films and coatings, in addition to preserving the shelf life of the coated food, quality losses during storage can be reduced, new properties can be given to foods with active ingredients and the nutritional content of foods can be increased. Edible films and coatings can be made from various biopolymers. One of the most preferred is starch. Avocado seeds are an agricultural waste with a high starch. The starch found in avocado seeds has the potential to be used in many different applications in food production. In this study, it was aimed to determine and compare the physical, mechanical and barrier properties of the films obtained by adding various proportions of glycerol as plasticizer to starch extracted from avocado seed with sodium metabisulfite and to determine the film in optimum formulation. For this purpose, a full factorial experimental design was performed using different proportions of starch (3-5%) and glycerol (0.75-1.75%). Various physical (thickness, density, opacity), mechanical (tensile strength, maximum elongation at break) and barrier (water solubility, water vapor permeability) properties of the films were investigated. In the optimization study, the optimum film formulation with maximum mechanical properties (0.85 N/mm² tensile strength and 12.18% elongation), minimum water solubility (13.52%) and water vapor permeability (0.73 gmm/m²h kPa) properties was determined as the film containing 4% starch and 1% glycerol. A verification study was conducted for the properties of the film at the optimum point and blue butterfly pea flower (*Clitoria ternatea*) extract was added to the film in the same

formulation and its use as a spoilage indicator in the packaging of chicken breast meat was tested. The deterioration of chicken breast meat at room temperature for 3 days was monitored by pH changes and Total Mesophilic Aerobic bacteria count. The color change of the films inside the package was observed during deterioration. As a result, an optimum formulation was determined for the development of mechanical and barrier properties of the film prepared using glycerol and starch obtained from avocado seeds with this study. It was also revealed that the produced film could have the potential to be used as a pH indicator film with the addition of extract.

Keywords: Avocado Seed Starch, Edible Film, Optimization, Blue Butterfly Pea Flower

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ONUR SÖZÜ	i
ÖNSÖZ.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
I. GİRİŞ	1
II. LİTERATÜR İNCELEMESİ	4
A. Gıda Endüstrisi Atıkları ve Potansiyel Kullanım Alanları	4
B. Avokado Çekirdeği: Biyoplastik Üretiminde Kullanımı	5
C. Yenilebilir Film ve Kaplamalar	9
1. Yapıları, İşlevleri ve Kullanım Eğilimleri	9
2. Polisakkarit Bazlı Yenilebilir Filmler	11
a. Nişasta	12
3. Protein Bazlı Yenilebilir Filmler	14
4. Lipit Bazlı Yenilebilir Filmler	14
5. Kompozit Yenilebilir Film ve Kaplamalar	14
6. Plastikleştiriciler	15
D. Yenilebilir Film ve Kaplamaların Üretim Yöntemleri	15

1. Döküm Yöntemi.....	16
2. Ekstrüzyon Yöntemi	17
E. Yenilebilir Film Kaplamaların Uygulama Yöntemleri.....	18
1. Daldırma Yöntemi	18
F. Püskürtme Yöntemi	18
1. Akışkan Yatak Yöntemi.....	18
2. Tavalama Yöntemi.....	19
3. Elektrospinning.....	19
G. Aktif ve Akıllı Ambalajlar.....	19
H. Mavi Kelebek Sarmaşığı (<i>Clitoria ternatea</i>).....	21
III. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
A. Materyal.....	23
B. Yöntem	23
1. Avokado Çekirdeğinden Nişasta Eldesi.....	23
2. Sodyum Metabisülfite ile Muamele ve Nişasta Elde Edilmesi	23
3. Fourier Transform Kızılötesi (FT-IR) Spektroskopisi	24
4. Avokado Çekirdeğinden Yenilebilir Filmin Hazırlanması	24
5. Deney Tasarımı	24
a. Film Analizleri.....	25
b. İstatistiksel Analiz ve Optimizasyon	28
c. Optimum Film Formülasyonunun Doğrulanması	29
d. Optimum Filme Mavi Kelebek Sarmaşığı Ekstresi İlavesi	29
IV. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	32
A. Avokado Çekirdeği Nişastasını Elde Edilmesi.....	32
B. FT-IR Analizi.....	33
C. Film Analizleri.....	34

1. Nem ve Yoğunluk Analizleri	34
2. Tasarım Modeli Geliştirilmesi	34
3. Film Özelliklerinin Belirlenmesi	36
a. Mekanik Özellikler	36
b. Suda Çözünürlük	37
c. Suda Şişme	38
d. Su Buharı Geçirgenliği	39
e. Opaklık	40
f. Optimizasyon ve Validasyon	40
V. SONUÇ	47
VI. KAYNAKÇA	49
ÖZGEÇMİŞ	64

KISALTMALAR LİSTESİ

AÇN	: Avokado çekirdeği nişastası
E	: Kopma anındaki maksimum uzama
FT-IR	: Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi
rpm	: Rounds per minute
TMAB	: Toplam mezofilik aerobik sayısı
TS	: Çekme mukavemeti
vd.	: ve diğerleri
WVP	: Su buharı geçirgenlik katsayısı

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1. 2020 Yılında En Çok Avokado Üreten Ülkeler Arasında Avokado Üretimi (Kaynak: FAOSTAT, 2020).	8
Çizelge 2. Bağımsız Değişkenler ve Kullanılan Seviyeler.....	25
Çizelge 3. Çözelti Derişimi ve Elde Edilen Nişasta Miktarları.....	32
Çizelge 4. Filmlerin İçerdikleri Nişasta ve Gliserol Miktarına Göre Nem (%) ve Yoğunluk (g/cm^3) Analizlerinin Sonuçları.	34
Çizelge 5. Deneysel Tasarım Noktaları ve Deneysel Veriler.....	35
Çizelge 6. Tüm Film Analizleri İçin Varyans Analizi Sonuçları ve Regresyon Katsayıları.	35
Çizelge 7. Elde Edilen Tahmini Değerler ve Optimum Formülasyondaki Deneysel Değerler.	41
Çizelge 8. Mavi Kelebek Sarmaşığı Ekstraktı İçeren Filmin Özellikleri.....	42
Çizelge 9. Tavuk etlerinin bozulması sırasında pH ve TMAB Sayısı.....	46

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.	2011 ve 2020 Yılları Arasındaki Dünya Geneline Üretilen Avokado Miktarı (Milyon Ton) (FAOSTAT, 2020).....	7
Şekil 2.	Biyo-Bazlı Polimerlerin Sınıflandırılması (Mangaraj vd., 2019; Birania vd., 2022).....	10
Şekil 3.	Amiloz ve Amilopektinin Kimyasal Yapısı (Hasan vd., 2018).....	12
Şekil 4.	Yenilebilir Film ve Kaplamaların Üretim Yöntemleri (Suhang vd., 2022).....	16
Şekil 5.	Film Oluşumunun Laboratuvarında Döküm Yöntemi (Suhang vd., 2020).....	17
Şekil 6.	Film Oluşumunun Ekstrüzyon Teknolojisi (Suhang vd., 2020).....	18
Şekil 7.	Bazı Nişasta Çeşitlerinin FT-IR Analiz Spektrumları.....	33
Şekil 8.	Üç Boyutlu Yüzey Grafikleri	38
Şekil 9.	Optimum noktada üretilen filmlerin görseli	41
Şekil 10.	Filmlerinin FT-IR spektrumları.....	43
Şekil 11.	Mavi Kelebek Sarmaşığı Ekstraktının Farklı pH lardaki Rengi.....	43
Şekil 12.	Mavi Kelebek Sarmaşığı İlaveli Avokado Çekirdeği Nişastası Filmin Farklı pH lardaki Rengi	44
Şekil 13.	Tavuk Göğüs Filetosunun oda koşullarında 3 gün depolanması sırasında ambalajdaki filmin renk değişimi.....	45

I. GİRİŞ

Ambalaj, gıda işleme sektörünün ayrılmaz bir bileşenidir. Gıda ambalajlarında uzun ömürlü özellikleri ve dayanıklılıkları nedeniyle sentetik polimerlerden sıklıkla yararlanılmaktadır. Çeşitli şekillerde kalıplanabilmeleri, üretim kolaylıkları ve yeniden işlenebilir olmaları, sentetik polimerleri gıda ambalajları için uygun hale getirmektedir (Chavan vd., 2023). Polietilen ve polipropilen, ambalaj uygulamaları için kullanılan sentetik polimerlerin başında gelmektedir. Ancak, bu polimerler petrol bazlı ürünler olduğundan, ham petrol kaynaklarının hızla azalması sonucu giderek daha az erişilebilir olmakta ve maliyet artmaktadır (Agarwal vd., 2021). Plastiklerin üretimi ve işlenmesi enerji tüketen süreçlerdir ve küresel ısınmaya katkıda bulunan sera gazı emisyonlarının artmasına yol açmaktadır. Ayrıca plastik ambalajların en büyük problemi biyolojik bozunmaya karşı gösterdikleri direnç nedeniyle, çevre için ciddi ekolojik sorunlar ortaya çıkarmalarıdır (Mangaraj vd., 2019).

Günümüzde, özellikle artan çevresel endişeler ve atık miktarını azaltma ihtiyacının yanı sıra tüketicilerin daha kaliteli ve güvenilir gıda ürünlerine yönelik artan talebi doğrultusunda araştırmacıların biyobozunur filmlere yönelik ilgisi artmıştır (Khedri vd., 2021). Biyolojik olarak parçalanabilir malzemeler sentetik plastiklere bir alternatif olarak değerlendirilmekte ve genellikle çevre dostu, yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir malzemeler olarak görülmektedir (Chavan vd., 2023).

Biyobozunur film ve kaplamalar geliştirmek için birçok biyopolimer olası kaynak olarak araştırılmaktadır (Saberı vd., 2017). Yenilebilir filmler, gıdanın yüzeyini saran ince bir tabaka şeklinde uygulanmaktadır (Chavan vd., 2023). Bitkisel ve hayvansal kaynaklı birçok polisakkarit, protein ve lipitten tek başına veya kompozit halinde sürekli matriks olarak hazırlanan yenilebilir film ve kaplamalar, gıdaların duysal ve tekstürel özelliklerini korunmak, raf ömrünü uzatmak, gaz ve nem geçirgenliğini kontrol etmek, gıdada meydana gelebilecek

aroma kayıplarını engellemek gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır (Tural vd., 2017; Bozkurt vd., 2023).

Yenilebilir kaplamalar, gıda ürünlerini korumak için gıda endüstrisinde yüzyıllardır kullanılmaktadır. Çin'de 12. yüzyıldan beri kullanılan yenilebilir kaplamalar, yirminci yüzyılın başlarından ortalarına kadar daha çok gıdalarda su kaybını önlemek, meyve ve sebzelere parlaklık kazandırmak için kullanılmıştır (Hasan vd., 2018). 12 ve 13. yüzyılda meyve ve sebzelerin dış yüzeylerinin ince bir tabaka halinde balmumu ile kaplandığı ve 16. yüzyılda ise etlerin yüzeyinin yağ ile kaplanarak su kayıplarının engellendiği bildirilmiştir (Bozkurt vd., 2023). On beşinci yüzyıldan beri, soya sütünün kaynatılmasıyla açığa çıkan deri görünümlü, yenilebilir bir protein filmi olan Yuba, Asya'da gıda ürünlerini koruma ve fiziksel görünümü iyileştirme amacıyla kullanılmaktadır. On dokuzuncu yüzyılda ise sakkaroz, bozulma ve oksidasyonu önlemek amacıyla fındık, badem ve benzeri sert kabuklu yemişlerde potansiyel bir kaplama ajanı olarak kullanılmıştır (Chhikara ve Kumar, 2022).

Son 40 yılda, artan tüketici farkındalığı neticesinde gıda sektöründe kullanılacak yenilebilir film ve kaplamaların özellikle çevre dostu olmasına özen gösterilmektedir (Chhikara ve Kumar, 2022). Gıdaların üretimi, işlenmesi ve tüketimi gibi aşamalarda yüksek oranda atık ortaya çıkmaktadır. Gıda endüstrisinde özellikle meyve ve sebze işleme atıkları büyük yer kaplamaktadır. Kabuk, çekirdek ve posa gibi atıkların yüksek miktarda polisakkarit, protein ve lipit içeriyor olması, biyobozunur ambalaj filmi üretiminde atıkların değerlendirilmesine yönelik ilgiyi artırmıştır (Karakuş ve Ayhan, 2019). Son zamanlarda yapılan çalışmalar ile hem gıda atıklarının azaltılması hem de gıda ambalajlarının çevrede biyolojik olarak parçalanması sağlanarak çevreye olan zararın minimuma indirilmesi hedeflenmektedir (Yazıcı vd., 2023).

Yenilebilir filmler, biyoaktif ambalaj üretiminde hem filmlerin hem de gıda ürününün işlevselliğini iyileştiren fonksiyonel bileşikler (antioksidanlar, antimikrobiyaller, prebiyotikler ve probiyotikler) için taşıyıcı malzeme olarak da kullanılabilir (Khedri vd., 2021). Son yıllarda, gıda endüstrisinde akıllı ve aktif polimer sistemleri olarak biyopolimerlerin kullanımında önemli bir artış söz konusudur. Bu biyopolimerlerle ilişkili teknolojiler, gıda ürünlerinin raf ömrünü ve besin değerini arttıran, izlenebilir gıda kalite sistemlerini sağlayan ve

mikropartikülleri entegre eden yeni nesil akıllı/aktif ambalajlama sistemlerinin geliştirilmesini yönlendirmektedir (Stefani vd., 2016).

Bu çalışma, avokado çekirdeğinden nişasta elde edilmesi ve plastikleştirici olarak gliserol kullanılarak film üretilmesini ele almaktadır. Film formülasyonunda kullanılan avokado çekirdeği nişastası ve gliserol oranları değiştirilerek mekanik ve su bariyeri özellikleri açısından optimum film formülasyonu belirlenmesi çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Ayrıca optimum olarak belirlenen film formülasyonuna mavi kelebek sarmaşığı ekstraktı ilave edilerek tavuk etlerinin depolanması sırasında pH'a bağlı olarak renk değişimi veren akıllı bir ambalaj üretilmesi amaçlanmıştır.



II. LİTERATÜR İNCELEMESİ

A. Gıda Endüstrisi Atıkları ve Potansiyel Kullanım Alanları

Geri dönüşüm, gıda atıklarının ikincil ham maddelere dönüştürülmesi ve daha sonra (örneğin biyoteknolojik süreçlerde) kullanılması anlamına gelirken, yeniden kullanım gıda malzemesinin gıda olarak tekrar tekrar kullanılması anlamına gelmektedir. Gıdaların üretimi, işlenmesi ve taşınmasında kullanılan kaynaklara ve çevrede biriken organik madde miktarlarının yüküne bağlı olarak gıda atıklarının geri dönüştürülmesi veya yeniden kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Pleissner, 2018). Meyve ve sebzeler, süt ürünleri, et ve et ürünleri, deniz ürünleri, tahıllar, bakliyat ve kuruyemişler gibi gıda ürünlerinin işlenmesi çevreye çeşitli atıkların salınmasına neden olmaktadır.

Gıda ve Tarım Örgütü'ne (FAO) göre, her yıl insan nesli tüketimi amacıyla üretilen tüm gıdanın yaklaşık üçte biri (yaklaşık 1,3 milyar ton) kaybolmakta veya israf edilmektedir. Özellikle yüksek ve orta gelirli ülkelerde gıda israfı, gıda zincirinin dağıtım ve tüketim aşamalarında meydana gelmektedir (FAO; Agricultural production statistics 2000–2022). Hızla artan dünya nüfusunun gıda talebini kısmen de olsa gıda israfını azaltarak yönetmek, sürdürülebilir gıda sistemleri oluşturmanın önemli bir parçasıdır. Gıdaların ambalajlanması, gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatarak gıda maddelerini kullanmanın ve saklamanın en iyi yolunu sunmakta ve minimum düzeyde işlenmiş ürünlerin bozulmasını yavaşlatarak evsel gıda israfını azaltmaya yardımcı olmaktadır. Mevcut tasarımlar ve entegre teknolojiler, fiziksel, kimyasal, duyuşsal ve mikrobiyolojik koruma yöntemlerini içermektedir (Brennan vd., 2021).

Atık yönetimi ve bertarafı önemli bir çevresel süreçtir ve sürdürülebilir bir şekilde ele alınması gerekmektedir. Gıda endüstrisi, geri dönüştürülemeyen ve parçalanamayan ambalaj malzemelerinin yerini alabilecek, farklı yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir kaynaklardan elde edilen biyobozunur malzemeleri talep eden en büyük sektördür (Dilkes-Hoffman vd., 2018; Birania vd., 2022). Bu

nedenle, yenilenebilir tarımsal kaynaklardan veya endüstriyel yan ürünlerden elde edilen biyomalzemelerin, kolay bulunabilmeleri, düşük maliyetleri ve yan ürünlere katma değer sağlama potansiyelleri nedeniyle ilgi artmaktadır (Salgado vd., 2015).

Bitkilerin kabuk, posa, tohum, çekirdek, kök, sap ve yaprak gibi farklı kısımlarından gelen atık miktarı, tarım-gıda endüstrisindeki toplam atığın %40-50'sine karşılık gelmektedir. Bu atıklar ve yan ürünler gıda ambalaj sistemlerine uygulandığında, artan antioksidan aktivite, antimikrobiyal aktivite, iyileştirilmiş mekanik özellikler ve gıda ürünlerinin kalitesinin iyileştirilmesi gibi birçok avantaj sağlamaktadır (Bayram vd., 2021). Bitki bazlı gıda atıkları ve yan ürünler ambalaj malzemesi olarak değerlendirilirken özellikle mekanik özellikler veya su bariyer özelliklerindeki iyileştirmelere odaklanılmaktadır (Zhang ve Sablani, 2021). Üretilmek istenen biyobazlı film için kullanılacak olan biyomalzeme, atıklardan doğrudan çıkarılarak hammadde olarak kullanılabilir. Yanı sıra, çıkarılan biyomalzemeler biyokompozit hale getirilerek enjeksiyon, ekstrüzyon, döküm, kalıplama vb. yöntemlere tabi tutularak film oluşturulabilmektedir (Gupta vd., 2022).

Bitkisel kaynaklardan elde edilen nişasta, biyobozunur bir polimer olarak gıda ambalajları için değerli bir malzeme olarak kabul edilmektedir (Bayram vd., 2021). Ancak, kırılgan oluşu nedeniyle tek başına bir ambalaj malzemesi olarak tercih edilmemektedir. Genellikle mekanik, fiziksel veya kimyasal olarak modifiye edilmekte ve/veya plastikleştirici veya polimerik katkı maddeleri ile birleştirilmektedir (Davis ve Song, 2006). Plastikleştiricilerin varlığında doğal nişastadan üretilen termoplastik nişasta, tüm polimerik malzemeler arasında en iyi oksijen bariyerlerinden biri olarak bilinmektedir (Dilkes-Hoffman vd., 2018).

B. Avokado Çekirdeği: Biyoplastik Üretiminde Kullanımı

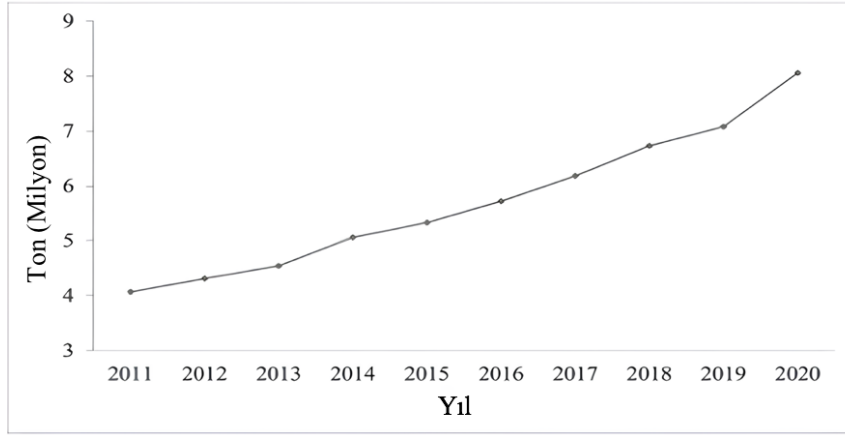
Avokado (*Persea americana* Mill.), *Lauraceae* familyasına ait, Orta Amerika ve Meksika kökenli bir meyvedir (Araújo vd., 2018). Araştırmalar, avokadonun 10.000 yıl önce de Meksika'da tüketildiğine dair kanıtların bulunduğunu göstermektedir (Gutiérrez-Contreras vd., 2010).

Avokado meyvesinin şekil ve büyüklük bakımından farklılık göstermesi iklim koşullarına ve üretim ve yetiştirme süreçlerinde uygulanan tarımsal uygulamalara bağlı olarak değişmektedir ([Kathula, 2021](#)). Yapılan araştırmalar, tanımlanmış 500'den fazla avokado çeşidinin varlığını ortaya koymaktadır ([Araújo vd., 2018](#); [de la Cruz & Ramirez, 2020](#); [Naamani, 2007](#)). Avokado çeşitlerinin bazıları arasında; Hass, Lamb Hass, Shepard, Reed, Wurtz, Fuerte, Sharwil, Zutano, Ettinger ve Edranol yer almaktadır ([Araújo vd., 2018](#); [de la Cruz & Ramirez, 2020](#); [Naamani, 2007](#)).

Avokado, özellikle proteinler, lipitler, karotenoidler, vitaminler, mineraller, diyet lifi, doymamış yağ asitleri ve polifenoller bakımından oldukça zengindir (Demircan ve Velioğlu, 2021). Benzer şekilde avokado çekirdekleri, polisakkaritler, proteinler, lipitler, mineraller ve vitaminler gibi çeşitli işlevsel ve biyoaktif bileşenler açısından zengindir. Avokado çekirdekleri, antioksidan özellik gösteren fenolikler, flavonoidler ve yoğunlaştırılmış tanenler gibi çok sayıda biyoaktif bileşen içermektedir (Bangar vd., 2022) ve diyet lifinin önemli kaynaklarından biridir (Barbosa Martin vd., 2016).

Avokado çekirdekleri, avokado meyve kütlesinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Avokadonun toplam ağırlığının yaklaşık %14'ü kabuk, %16'sı çekirdek ve %70'i meyve eti olarak dağılım gösterir. Dolayısıyla meyve ağırlığının yaklaşık %30'u yan ürünlerden oluşmaktadır. Genellikle avokado çekirdekleri, avokado işleme endüstrilerinin atık yan ürünleri olarak kabul edilerek atılmaktadır (Melgar vd., 2018).

Son on yılda avokado üretimi dünya genelinde yükseliş göstermektedir. FAOSTAT (2020) tarafından yayımlanan verilere göre, avokado üretimi 2011 yılında 4,07 milyon tondan 2020'de yaklaşık 8,06 milyon tona ulaşmıştır (Şekil 1). Bu nedenle, geri dönüştürülmediği takdirde avokado yan ürünlerinin çevreye atılması, dünya genelinde tahminen 2,40 milyon ton (üretilen avokado miktarının %30'u) avokado atığına yol açacağına işaret etmektedir.



Şekil 1. 2011 ve 2020 Yılları Arasındaki Dünya Geneline Üretilen Avokado Miktarı (Milyon Ton) (FAOSTAT, 2020)

Avokado meyvesi, dünya çapında çeşitli tropikal ekolojik bölgelerde adapte olmuştur ve dünya genelinde 60'tan fazla ülkede yetiştirilmektedir (Araújo vd., 2018). Çizelge 1'de görüldüğü gibi, ilk sırada 2.393.849 ton üretimle Meksika, 829.147 ton ile Kolombiya ve 672.232 ton ile Peru takip etmektedir (FAOSTAT, 2020). Afrika'da yıllık avokado üreticileri arasında, sırasıyla Kenya 322.556 ton, Etiyopya 245.336 ton, Malavi 93.565 ton, Güney Afrika 84.775 ton, Kamerun 74.871 ton ve Fas 69.940 ton ile öne çıkmaktadır (FAOSTAT, 2020).

Gıda atıklarından biyoplastik geliştirilmesi, gıda atıklarını ve dolaylı yoldan plastik atıkları aynı anda azaltarak çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmektedir (Ramadhan ve Handayani, 2020). Avokado çekirdeklerinde bulunan tüm makromolekül yapılar arasında karbonhidratlar (%64,9) önemli bir kısmı oluşturmaktadır ve biyopolimer üretiminde önemli bir yer tutan nişasta, avokado çekirdeklerindeki toplam karbonhidratların %91,2'sini oluşturmaktadır (Bangar vd., 2022).

Çizelge 1. 2020 Yılında En Çok Avokado Üreten Ülkeler Arasında Avokado Üretimi (Kaynak: FAOSTAT, 2020).

Ülke	Üretim (Ton)
Meksika	2.393.849
Kolombiya	829.147
Peru	672.232
Dominik Cumhuriyeti	620.087
Endonezya	609.049
Kenya	322.556
Brezilya	266.784
Etiyopya	245.336
ABD	187.433
Haiti	179.333
Şili	161.210

Barbosa Martin vd., (2016), avokado çekirdeklerinin lifli kalıntılarının kimyasal ve teknolojik özelliklerini inceledikleri çalışmada, liflerin suda ağırlıklarının dört katı ve yağda ağırlıklarının altı katını tuttuğu ve böylece fırınlanmış ürünlerde tazeliği, yumuşaklığı ve viskoziteyi, et ürünlerinde ise sululuğu artırmak için katkı maddesi olarak kullanılabileceğini sonucuna ulaşmışlardır.

Ginting vd., (2018) ise avokado çekirdeklerinden elde edilen nişastanın verimine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiş ve yüksek verim elde etmişlerdir. Avokado yan ürünlerinden elde edilen, özellikle nişasta veriminin yüksek olması hem maliyeti düşürmekte hem de atıkların sürdürülebilir bir şekilde yönetilebilmesini sağlamaktadır.

Merino vd., (2021) avokado kabuk ve çekirdeklerden biyoplastik elde edilmesine yönelik optimize ettikleri bir yöntem geliştirmiş ve avokado atıklarının tamamının biyoplastik üretiminde kullanılabileceği ve atıkların değerlendirilmesi için ekstra ayırma işlemlerine gerek olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca avokado kabuk ve çekirdeklerinden elde edilen biyoplastik malzemenin mekanik özellikleri, optik berraklığı, mükemmel oksijen bariyer özellikleri ve yüksek antioksidan aktivitesine sahip olduğunu bulmuşlardır (Merino vd., 2021).

C. Yenilebilir Film ve Kaplamalar

1. Yapıları, İşlevleri ve Kullanım Eğilimleri

Yenilebilir film ve kaplamalar, gıda ürünlerini mekanik hasardan, fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik aktivitelerden koruyan ince katmanlardır (Falguera vd., 2011). Paketlenmiş gıdaların organoleptik özelliklerini iyileştirmek için kullanılan film ve kaplamalar, renklendiriciler, aromalar, tatlandırıcılar, antimikrobiyaller ve antioksidanlar gibi farklı bileşenlerin taşıyıcısı olarak işlev görmektedir (Hasan vd., 2018).

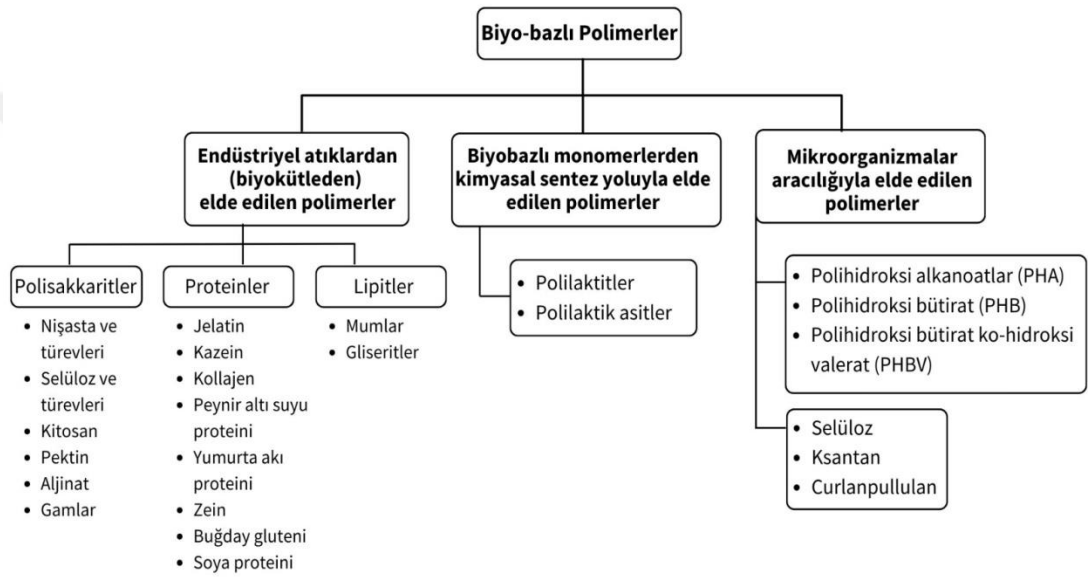
Yenilebilir film ve kaplamalar genel anlamda şu işlevlere sahiptir: (Wu vd., 2024)

1. Taze gıda ile çevresindeki atmosfer arasındaki gaz alışverişini kontrol eder, doğal uçucu aroma bileşiklerinin kaybını önler ve gıda ürününün parlaklığını ve görsel çekiciliğini artıracak bir gaz bariyeri görevi görür.
2. Gıdanın nem kaybını azaltarak nem bariyeri görevi görür, böylece gıdanın ağırlığını, lezzetini ve görünümünü korur.
3. Antioksidanlar ve antibakteriyel maddeler gibi aktif bileşenlerin ilavesine izin verir, mikroorganizmaların neden olduğu bozulmaları önleyebilir.
4. Film/kaplama malzemeleri, katkı maddelerinin kapsüllenmesi ve bu maddelerin filmlerden/kaplamalardan salınımının kontrol edilebilmesi için taşıyıcı görevini üstlenebilir.

Gıda ürünleri için yenilebilir film ve kaplamaların kalitesi, mekanik, bariyer ve duyuşal özellikleri ile biyokimyasal, fizikokimyasal ve mikrobiyolojik kararlılıklarından etkilenir; bu da filmin yapısına, hazırlama teknolojisine, muhafaza edilecek ürünün türüne ve paketlenmiş ürünün hangi koşullar altında depolanacağına bağlıdır (Saberı vd., 2017).

Mangaraj vd. (2019) ambalaj malzemelerini biyopolimer esaslı olmak üzere kökenlerine ve üretimlerine göre üç ana gruba ayırmıştır (Şekil 2): Endüstriyel atıklardan (biyokütleden) ekstrakte edilen biyopolimerler, Biyobazlı monomerlerden kimyasal sentez yoluyla elde edilen polimerler ve mikroorganizmalar aracılığıyla elde edilen polimerler (Mangaraj vd., 2019).

Yenilebilir film ve kaplamalar, film oluşturma özelliklerine sahip maddelerden sentezlenmektedir. Bu maddeler genellikle bitkilerden elde edilmekte ve proteinler, polisakkaritler, lipidler ve kompozitler olmak üzere dört grupta incelenmektedir (Falguera vd., 2011). Günümüzde sıklıkla yararlanılan biyopolimerler, soya fasulyesi proteinleri, buğday gluteni, mısır zeini, ayçiçeği proteinleri, jelatin, peynir altı suyu, kazein ve keratin gibi bitkisel veya hayvansal kaynaklı proteinleri ve selüloz türevleri, nişastalar, aljinatlar, pektinler, kitosanlar, karragenanlar, zamlar ve lifler gibi polisakkaritleri içermektedir (Salgado vd., 2015).



Şekil 2. Biyo-Bazlı Polimerlerin Sınıflandırılması (Mangaraj vd., 2019; Birania vd., 2022)

Biyokütleden elde edilen polimerler doğası gereği hidrofilik yapıda olduklarından işleme sırasında bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Özellikle nemli gıda ürünlerinin paketlenmesiyle performanslarının zayıf olmasına karşın mükemmel gaz bariyer özellikleri onları gıda paketlenme endüstrisinde kullanım için uygun hale getirmektedir (Mangaraj vd., 2019).

Gliserol ve kitosanın tapyoka nişastası bazlı yenilebilir film özelliklerine etkisinin incelendiği bir çalışmada kitosan ve gliserol konsantrasyonlarının tapyoka nişastası yenilebilir film özelliklerinde değişikliklere yol açarak film özelliklerini etkilediği sonucuna varılmıştır (Chillo vd., 2008). Kinoa (*Chenopodium quinoa*) nişastası ve gliserol bazlı filmlerin geliştirildiği bir

çalışmada iyi mekanik özelliklere ve mükemmel bariyer özelliklerine sahip renksiz filmler üretilmiştir (Araujo-Farro vd., 2010).

Buğday (%25 amiloz), mısır (%27 amiloz) ve patates (%20 amiloz) nişastalarından gliserol yardımıyla elde edilen yenilebilir nişasta filmlerinde, amiloz/amilopektin oranının fiziksel ve kimyasal özelliklerde önemli bir rol oynadığı ve amiloz içeriği ne kadar düşüğe bariyer, nem dayanımı ve mekanik özelliklerin o kadar büyük olacağı sonucuna varılmıştır (Basiak vd., 2017).

Nişasta nanokristalleri ile güçlendirilmiş çapraz bağlı manyok nişastası bazlı filmlerin armutlar üzerindeki koruyucu etkisi incelenmiş ve çapraz bağlama işleminin raf ömrü üzerine olumlu etkileri olduğu gözlemlenmiştir (Dai vd., 2020). Jack meyvesi ve durian tohumu nişastasından gliserol ilavesi ile elde edilen yenilebilir filmlerin, çok düşük geçirgenlik özelliklere sahip olduğu ve bu opak filmin şeffaflığın gerekli olmadığı gıda ambalajlarında kullanılabileceği ileri sürülmüştür (Wahidin vd., 2021).

2. Polisakkarit Bazlı Yenilebilir Filmler

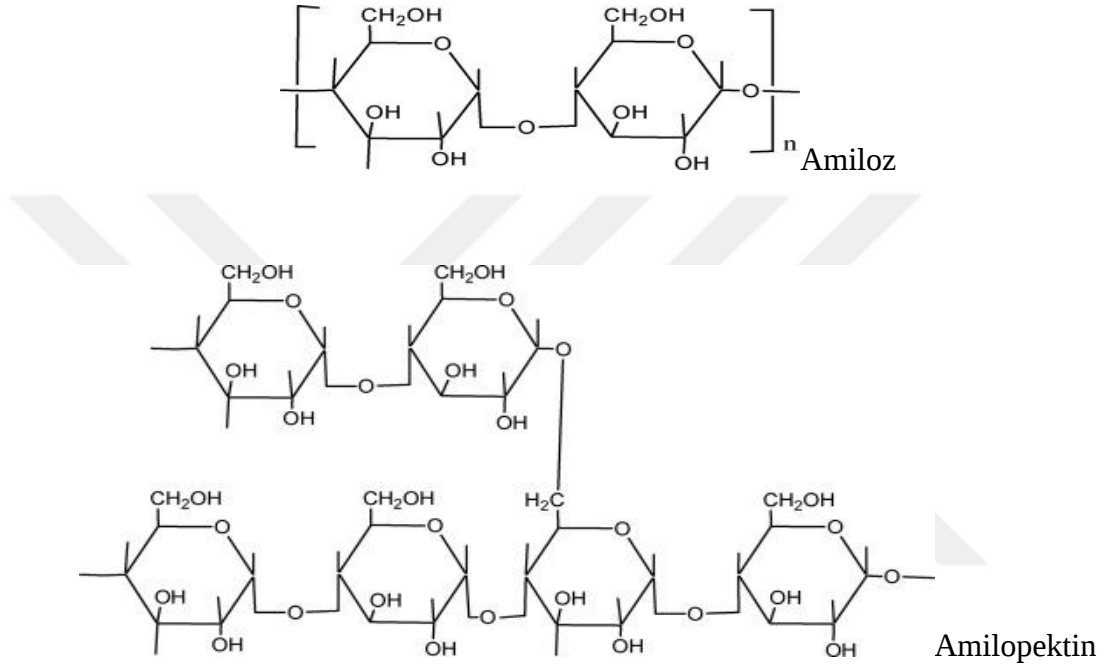
Polisakkaritler, glikozidik bağlarla bağlanmış monosakkaritlerden oluşan ve doğada yaygın olarak bulunan kompleks maddelerdir. Yenilebilir film ve kaplamaların eldesinde biyopolimer olarak sıklıkla nişasta ve türevleri, selüloz ve türevleri, ksantan gam, pektin, kitosan ve aljinat gibi polisakkaritlerden yararlanılmaktadır. Böylece tipik olarak kullanılan plastik ambalaj malzemelerinin kullanımı azaltılmaya çalışılmaktadır Chhikara ve Kumar, 2022).

Yüksek molekül ağırlıklı polisakkaritlerden elde edilen yenilebilir film ve kaplamalarda, molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağı etkileşimlerini başlatan serbest hidroksil grupları sayesinde iyi mekanik özelliklere sahip yoğun bir ağısı yapı oluşmaktadır (Wu vd., 2024).

Yapılan araştırmalar sonucu polisakkarit filmlerin, dehidrasyon, yüzey kararması ve oksidatif acılaşmayı önemli ölçüde azaltarak meyve ve sebzeler, kabuklu deniz ürünleri veya et ürünlerinin raf ömrünü uzattığı gözlemlenmiştir (Hasan vd., 2018). Polisakkaritlerin hidrofilik olması nedeniyle nemli koşullarda ambalaj bütünlüğünün korunması zorlaşmaktadır. Bu özellik, balmumu ve yağ gibi lipofilik maddelerin eklenmesi veya gıda yüzeyine kalın bir film şeklinde uygulanması yoluyla azaltılabilmektedir (Tural vd., 2017; Kumar vd., 2021).

a. Nişasta

Nişasta, amorf doğrusal amiloz (%20-25) ve kristalin dallanmış amilopektin (%75-80) birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 3). Sulu ortamda amiloz, dağılmaya, jel ve film oluşturmaya ve yeniden kristalleşmeye daha fazla eğilim göstermektedir. Çeşitli kaynaklardan elde edilen nişastalarda amiloz ve amilopektin içerikleri farklıdır ve bu durum nişastanın fonksiyonel özelliklerini etkilemektedir (Agarwal, 2021).



Şekil 3. Amiloz ve Amilopektinin Kimyasal Yapısı (Hasan vd., 2018).

Nişasta zincirlerini bir arada tutan hidrojen bağları, nişasta granüllerinin soğuk suda çözünmesini önlemektedir (Singh vd., 2022). Nişasta sulu ortamda ısıtıldığında, su amorf bölgesine girerek amilozun dışarı sızmasına ve amilopektinin çift sarmallı yapılarının bozulmasına neden olur. Böylece, çözeltinin viskozitesi artmakta ve yavaşça kristalin yapı kaybolarak jelle dönüşmektedir (Agarwal, 2021). Nişasta türüne bağlı olarak 65 ile 90 °C arasında değişen sıcaklıklarda geri döndürülemez bir jelatinizasyon meydana gelir. Jelatinizasyon sıcaklığı amilopektinin zincir uzunluğuna bağlıdır. Daha küçük amilopektin zincirleri hidrojen bağıyla su moleküllerine kolayca bağlanırken, daha uzun amilopektin zincirleri su molekülleriyle değil, kendi aralarında etkileşime girerek daha jelatinizasyon sıcaklığının daha yüksek olmasına neden olmaktadır (Hasan vd., 2018; Agarwal, 2021; Singh vd., 2022).

Nişastanın düşük maliyeti, erişim kolaylığı-bolluğu, organoleptik (tatsız, kokusuz), optik (şeffaf, renksiz) ve bariyer özellikleri (karbondioksit ve oksijen geçirgenliği), biyouyumluluğu ve biyolojik olarak parçalanabilirliği onu petrol bazlı plastik filmlerin yerini alabilecek bir biyopolimer yapmaktadır (Agarwal, 2021). Bu polimer tahıl çekirdeklerinin %60'ından fazlasını oluşturur ve diğer kimyasal bileşenlerden ayrılarak ekstrakte edilmesi nispeten kolaydır (Jimenez vd., 2012).

Doğal nişasta bazlı malzemelerin çok kırılğan özelliklere sahip olduğu ve işlenmesinin çok zor olduğu yapılan birçok çalışmada ifade edilmiştir. Saf nişasta, filmlerde zayıf mekanik özelliklere neden olmaktadır (Dinika vd., 2020). Nişastanın sahip olduğu moleküller arası bağlar ve hidrojen bağları, onun termoplastik bir malzeme gibi işlenebilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, saf nişastaya polietilen glikol, sorbitol, gliserol, formamid gibi plastikleştiriciler ilave edilerek işlenebilirliği iyileştirilmekte ve film kırılğanlığı azaltılmaktadır (Dinika vd., 2020; Yıldırım vd., 2021). Nişasta filmleri, son derece düzenli hidrojen bağlı ađ yapısı nedeniyle yüksek oksijen bariyer özelliklerine sahiptir (Singh vd., 2022).

Diğer bir taraftan, nişasta filmlerinin pratik uygulamalarında bazı sorunlar bulunmaktadır (Mohanty vd., 2018). Başlıca sorunlar, zayıf mekanik özellikler, düşük termal kararlılık, yüksek nem hassasiyeti ve nemli ortamlarda küflenmeye yatkınlık olarak öne çıkmaktadır (Wu vd., 2023)

Nişastadan film oluşturmak için genellikle ıslak yöntem (çözelti dökümü ve ardından kurutma) ve kuru yöntem (termoplastik işleme) olmak üzere iki yöntem kullanılır. Islak yöntemde, polimerler önce yüksek oranda su içeren bir çözelti haline getirilir ve ardından filmi oluşturacak bu çözelti kurutulur (Singh vd., 2022). Islak yönteme kıyasla su içeriğinin daha düşük olduğu kuru yöntem (termoplastik veya termal işlem) kullanılarak da elde edilebilmektedir. Termoplastik nişasta genellikle bir nişasta-plastikleştirici (plastikleştiriciler) karışımının bir ekstrüderde 140 ila 160 °C arasındaki sıcaklıklarda, yüksek basınç ve yüksek kesme kuvvetiyle işlenmesiyle üretilir. Böylece nişasta, doğal halinde bu özelliği göstermese de termal/mekanik bir işleme tabi tutularak belirli bir şekle kalıplanabileceği termoplastik bir malzeme haline gelmektedir (Jimenez vd., 2012).

3. Protein Bazlı Yenilebilir Filmler

Proteinler, peptit bağlarıyla birbirine bağlı amino asitlerden meydana gelen polimerlerdir. Proteinler, aroma ve lipit transferine karşı bariyer özellik göstermektedir. Ayrıca polisakkaritlerden daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, kompozit polimerlerle karşılaştırıldığında, zayıf mekanik mukavemete ve yüksek su buharı geçirgenliğine sahiptirler (Wu vd.,2024).

Proteinlerin fizikokimyasal özellikleri tamamen amino asit dizilimine ve polimer zinciri boyunca bunların göreceli miktarına bağlıdır. Yenilebilir film ve kaplama üretiminde, mısır zeini, buğday gluteni, soya proteini gibi bitkisel kökenli ve keratin, kollajen, jelatin, kazein, peyniraltı suyu proteini, yumurta akı proteini, balık miyofibriler proteini gibi hayvansal kökenli proteinler kullanılabilir (Tural vd., 2017; Hasan vd., 2018).

Protein çözeltisi veya dispersiyonu, film ve kaplamaları sentezlemek için kullanılır ve bu amaçla kullanılan çözücü genellikle etanol, su veya etanol-su kombinasyonlarıyla sınırlıdır (Hasan vd., 2018). Protein bazlı filmlerin özellikleri şu faktörlerden etkilenmektedir: Protein kaynağı, protein çözeltisinin pH'sı, plastikleştirici madde, film kalınlığı, hazırlama koşulları ve film çözeltisine ilave edilen yapılar (Tural vd., 2017).

4. Lipit Bazlı Yenilebilir Filmler

Doğal ve sentetik mumlar, gliseritler gibi lipit bileşikler doğası gereği hidrofobiktir, bu nedenle polisakkarit ve protein bazlı filmlere kıyasla mükemmel su bariyeri özelliğine sahiptirler. Tüm lipit bazlı ambalaj malzemeleri arasında, balmumu filmleri en yüksek nem bariyeri özelliği göstermektedir. Reçine bazlı kaplamalar su ve oksijene karşı bariyerin yanı sıra parlaklık ve şeffaflık sağlamaktadır (Kumar vd., 2022). Lipit bazlı film ve kaplamaların esnekliği zayıf olduğundan genellikle nişasta, kitosan ve proteinlerle birlikte kullanılmaktadır (Wu vd., 2024).

5. Kompozit Yenilebilir Film ve Kaplamalar

İki veya daha fazla protein, polisakkarit ve lipitlerin bir arada kullanılmasından oluşan kompozit film ve kaplamalar, her bir bileşenin üstün

mekanik ve bariyer özelliklerini birleştirerek tek bileşenli filmlerin/kaplamaların sınırlamalarının üstesinden gelmektedir (Wu vd., 2024). Polisakkarit ve protein bazlı filmler çok iyi oksijen bariyer özelliklerine sahiptir, ancak hidrofilik yapıları nedeniyle yetersiz su buharı bariyeri özelliği gösterirler. Buna karşılık, lipitler iyi bir su bariyerine ancak zayıf bir gaz bariyerine sahiptir. Bu nedenle, kompozit film kullanımları su buharı ve oksijen bariyer özelliklerini iyileştirmektedir (Kumar vd., 2022).

6. Plastikleştiriciler

Film ve kaplamaların işlevselliğini artırmak amacıyla film formülasyonlarına plastikleştirici denilen düşük molekül ağırlıklı bazı bileşikler ilave edilmektedir. Yaygın olarak kullanılan plastikleştiriciler gliserol, sorbitol, polietilen glikol gibi polioller; mono, di veya oligosakkaritler; fosfolipitler ve yağ asitleri gibi lipit ve türevleridir (Tural vd., 2017; Wu vd., 2024).

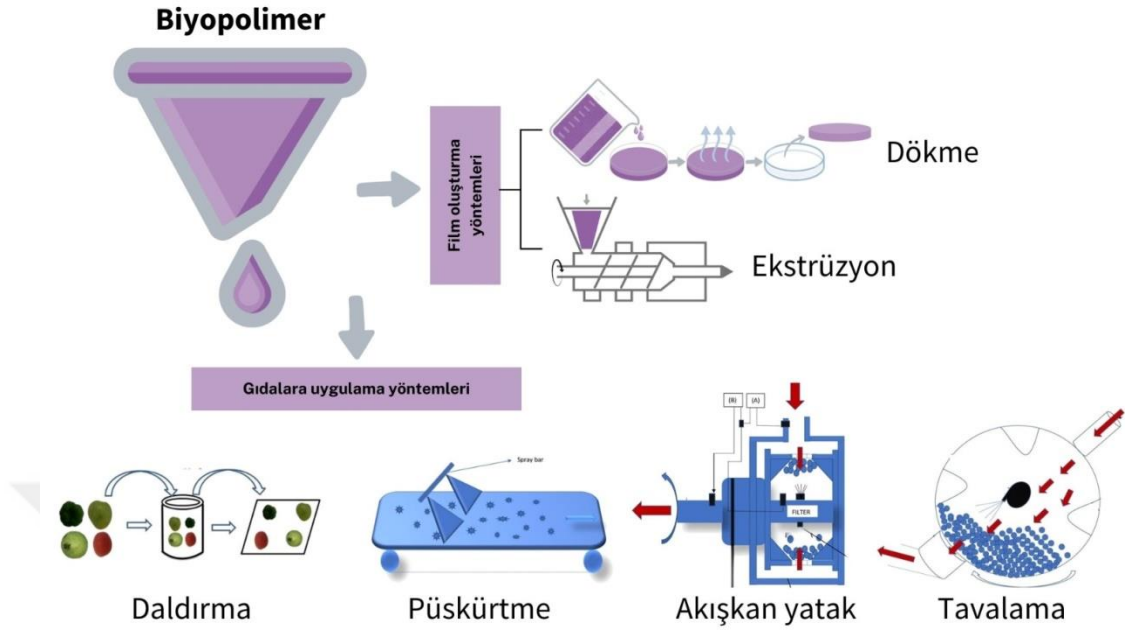
Plastikleştiriciler, polimerik zincirler arasındaki kapsamlı etkileşim nedeniyle sert ve katı özellik gösteren polisakkarit ve protein filmlerinde çoğu zaman kullanımı zorunlu bileşenlerdir. Bu maddeler, polimerler arasına yerleşerek onları daha esnek ve işlenebilir hale getirmekte, dolayısıyla polimer-polimer etkileşimlerini engellemektedir. Çoğu plastikleştirici madde, su moleküllerini çekmek ve büyük bir plastikleştirici-su hidrodinamik kompleksi oluşturmak için son derece hidrofilik ve higroskopiktir (Suhang vd., 2020).

D. Yenilebilir Film ve Kaplamaların Üretim Yöntemleri

Yenilebilir filmler genellikle bir gıda yüzeyine katı matris olarak sarılmakta ve ambalaj görevi görmektedir. Bu durumda, film materyalinin tatsız, renksiz ve gıda ürününün duyu niteliklerine müdahale etmemesi amaçlanmaktadır (Suhang vd., 2020). Kaplama materyalinin bileşimi kadar, katkı maddelerinin biyopolimerlerle çözünürlüğü ve film oluşturma yöntemleri de önem arz etmektedir. Biyopolimerler arasındaki kohezif kuvvetler yenilebilir filmlerin genel mekanik özelliklerini etkilemektedir (Kumar vd., 2022).

Film oluşturan biyopolimerlerin ve katkı maddelerinin kimyasal ve yapısal özellikleri iyi anlaşılmalı ve belirli uygulamalar için geliştirilen filmlere uyarlanmalıdır (Kumari vd., 2017). Yenilebilir filmler esas olarak iki farklı

yöntemle elde edilebilir: çözücü döküm (ıslak) yöntemi ve ekstrüzyon (kuru) yöntemi (Kumar vd., 2022).

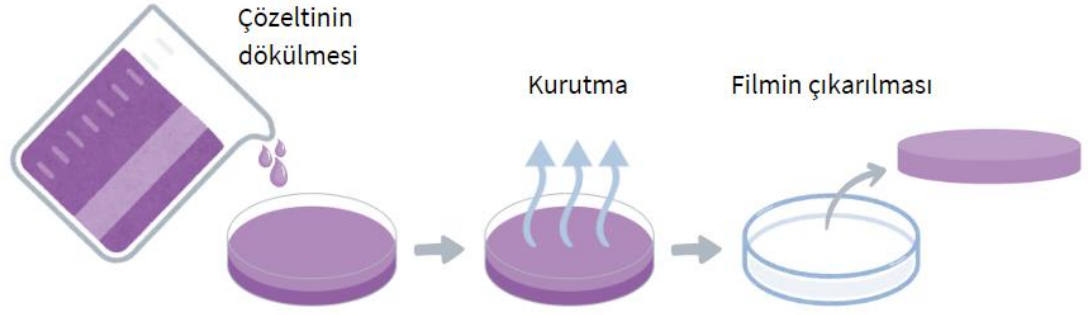


Şekil 4. Yenilebilir Film ve Kaplamaların Üretim Yöntemleri (Suhang vd., 2022)

1. Döküm Yöntemi

Döküm yöntemi yaygın ve düşük maliyetli bir film hazırlama yöntemidir. Bu işlem çözündürme, dökme ve kurutma olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır (Wu vd., 2024). İlk olarak, biyopolimer malzeme karıştırılarak uygun bir çözücüde çözündürülür. Filmin yapısı gereği kullanılan çözücünün toksik olmaması gerekmektedir. Genellikle çözücü olarak etil alkol ve su kullanılmaktadır (Kumar vd., 2022). Döküm yönteminde film oluşumu, erimeden ziyade polimerin çözünürlüğüne bağlıdır (Suhang vd., 2020).

Ardından, hazırlanan çözelti, film hazırlamak için belirli bir kalıba dökülür. Son olarak kalıba dökülen çözelti kurutulur. Kurutma esnasında, uygulanan farklı sıcaklıklar filmlerin özelliklerini etkileyeceğinden, kurutma koşullarının iyi belirlenmesi gerekmektedir (Kumar vd., 2022). Kurutma prosedürü, polimer zincirler arasındaki molekül içi bağları güçlendirmek ve filmin uygun olan mikro yapısını elde etmek için çok önemli bir adımdır. Filmlerin hızlı kurutma yöntemleri kullanılarak dökülmesi, fiziksel ve yapısal özellikler üzerinde olumsuz etkiler göstermiştir (Suhang vd., 2020).

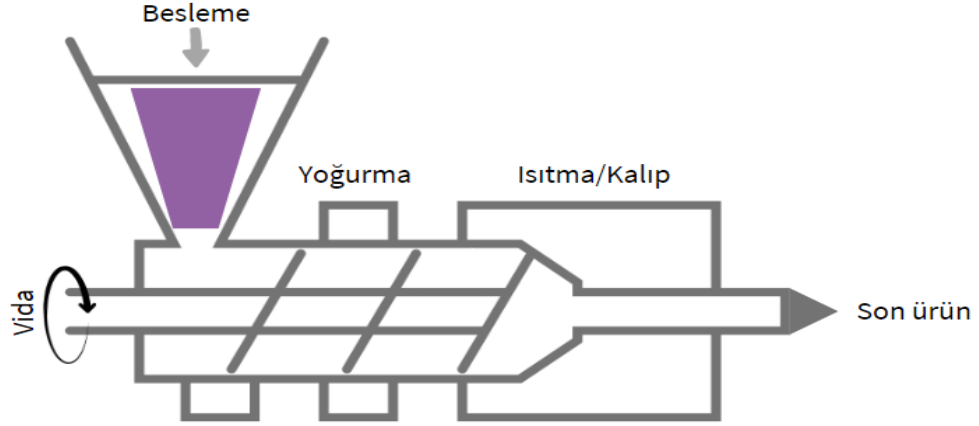


Şekil 5. Film Oluşumunun Laboratuvarda Döküm Yöntemi (Suhang vd., 2020).

2. Ekstrüzyon Yöntemi

Ekstrüzyon yöntemi ticari ölçekte kullanılan başlıca polimer işleme tekniklerinden biridir. Ekstrüderin esas olarak üç bölgesi vardır: besleme bölgesi, yoğurma bölgesi ve makinenin son kısmında/çıkışında yer alan ısıtma ve kalıp bölgesi. İlk aşamada, biyopolimer ve katkı maddeleri besleme bölgesinden ekstrüdere eklenir. Daha sonra, tüm bileşenler ekstrüder vidası yardımıyla düzgün bir şekilde yoğurulur ve son olarak, biyopolimer ve katkı maddelerinin eritilmesi ve karıştırılması ısıtma bölgesinde gerçekleştirilir. Ekstrüderin sonuna, ekstrüde edilen filmin şeklini ve kalınlığını belirleyen bir kalıp konulmuştur (Kumar vd., 2022; Wu vd., 2024).

Ekstrüzyon yöntemi, en iyi performansı minimum su veya çözücü ile gösterir, bu yüzden kuru işlem olarak da adlandırılır. Ancak, film esnekliğini artırmak için plastikleştiricilere ihtiyaç vardır. Polietilen glikol veya sorbitol gibi plastikleştiriciler %10 ila %60 ağırlık/ağırlık oranında eklenerek ekstrüzyonu gerçekleştirilir. Bileşenler yoğurma bölgesine geçtiğinde karışımın gerilimi, sıcaklığı ve yoğunluğu artar (Suhang vd., 2020). Yüksek sıcaklık, biyopolimerin yapısını değiştirir ve filmin genel özelliklerini iyileştirir. Ancak, sıcaklığa duyarlı biyopolimerler ekstrüde edilemez çünkü yüksek sıcaklıklar biyopolimeri bozacaktır (Kumar vd., 2022).



Şekil 6. Film Oluşumunun Ekstrüzyon Teknolojisi (Suhang vd., 2020).

E. Yenilebilir Film Kaplamaların Uygulama Yöntemleri

1. Daldırma Yöntemi

Daldırma yöntemi özellikle meyve ve sebzeler için en yaygın kullanılan kaplama yöntemidir. Yüzeyinde film oluşturulabilmesi için gıda maddesi, hazırlanan kaplama çözeltisine sabit bir hızda daldırılır ve son olarak kaplama kurutulur (Wu vd., 2022).

F. Püskürtme Yöntemi

Püskürtme yöntemi, gıda ürünlerine kaplama uygulamasında yaygın olarak kullanılır (Suhang vd., 2020). Püskürtme yönteminde, sıvı çözelti gıda ürününün yüzeyine püskürtülür. Sıvının püskürtülmesi, sıvı çözeltiyi küçük damlacıklara dönüştürdüğünden bu damlacıklar daha fazla yüzey alanına sahip olmakta ve kaplanacak materyalin yüzeyine daha fazla temas etmektedir (Kumar vd., 2022). Ayrıca, püskürtme işleminde, kaplama çözeltisi ürün yüzeyinden buharlaşarak kaplamaların kuruma süresini azaltmaktadır (Wu vd., 2022). Bu yöntemin, yüksek viskoziteli biyopolimerin püskürtülememesi gibi önemli bir dezavantajı vardır. Yüksek viskoziteli biyopolimerler için daldırma yöntemi tercih edilmektedir (Suhang vd. 2020).

1. Akışkan Yatak Yöntemi

Akışkan yataklı kaplama, çok küçük çaplı ve düşük yoğunluklu kuru parçacıkları kaplamak için kullanılan bir teknolojidir. Akışkan yataklı teknoloji

üstten, teğetsel ve alt jet akışkan yataklı olmak üzere üç türe ayrılır. Diğer akışkan yataklı teknolojilerle karşılaştırıldığında, üstten püskürtmeli akışkan yataklı yüksek çok yönlülüğe sahiptir ve gıda endüstrisinde sıcak eriyik kaplama için uygundur (Wu vd., 2022). Kplama çözeltisi nozullar yardımıyla püskürtülür ve bu, püskürtülen çözelti ile daha küçük boyutlu gıdanın yatak üzerinde akması sağlanır. Çözelti, gıda üzerinde yavaşça kaplamaya dönüşen bir kabuk oluşturmaya başlar ve ardından kurutma işlemi yapılır. Bu yöntem, diğer kaplama tekniklerine kıyasla daha maliyetlidir. (Kumar vd., 2022).

2. Tavalama Yöntemi

Bu yöntem, gıda ve şekerleme ürünleri için uygun bir kaplama yöntemidir. Kplama çözeltisi dönen tavadaki ürünün yüzeyine püskürtülür ve ürünün yüzeyi yuvarlama sırasında solüsyonla tamamen kaplanır. Püskürtülen çözelti miktarı, gıda ürünündeki son kaplamanın kalınlığını belirler. Dolaştırılan havanın yardımıyla çözücü buharlaşır ve kaplama kurur (Kumar vd., 2022). Bu yöntem, mükemmel esnekliğe ve parlak bir görüntüye sahip son derece şeffaf yenilebilir bir kaplama üretir ve tek bir partide çok sayıda gıda ürününün kaplanması gerçekleştirilebilir. Ancak, işlem çok uzun sürdüğünden ekonomik değildir (Suhang vd., 2020).

3. Elektrospinning

Elektrospinning, biyopolimer bazlı film çözeltisinin güçlü bir elektrik alanında eğilerek, lifsi yapıda filmlerin hazırlandığı özel bir teknolojidir. Elektrospinning işleminde çözelti, besleme şırıngası yardımıyla elektriksel bir alan içerisinden geçirilerek nanolifler halinde toplayıcı bir plaka üzerinde toplanır ve/veya doğrudan gıda yüzeyi kaplanır (Wu vd., 2022).

G. Aktif ve Akıllı Ambalajlar

Aktif ambalajlama, belirli fonksiyonel bileşenlerin (örneğin organik asitler, enzimler, bakteriyosinler, fungusitler, doğal ekstraktlar ve iyonlar) ambalajlama sistemlerine dahil edilmesiyle geliştirilmektedir. Aktif ambalajlama, fonksiyonel bileşenleri paketlenmiş gıdaya veya çevreleyen ortama salabilir, böylece gıdanın kalitesini korur ve raf ömrünü uzatır (Realini ve Marcos, 2014; Yong ve Liu,

2020). Akıllı ambalajlama ise, paketlenmiş gıdanın depolama koşullarını izleyebilen ve tüketicilere gıda tedarik zincirindeki gıdanın kalitesi hakkında bilgi sağlayabilen bir sistemdir. Günümüze kadar O₂ ve CO₂ dedektörleri, pH göstergeleri, nem ve zaman-sıcaklık sensörleri ve patojenik bakteri biyosensörleri dahil olmak üzere çeşitli akıllı paketlenme teknikleri geliştirilmiştir (Yong ve Liu, 2020).

Antosiyaninler, mükemmel antioksidan, antimikrobiyal ve pH duyarlı özelliklere sahip doğal renklendiricilerdir. Son yıllarda, farklı bitki kaynaklarından elde edilen biyopolimerlere (örneğin polisakkaritler ve proteinler) ve antosiyaninlere dayalı aktif ve akıllı ambalaj filmlerinin geliştirilmesine ilgi artmaktadır (Yong ve Liu, 2020). Aktif yenilebilir film ve kaplamaların sahip olduğu antioksidan ve antibakteriyel özellikler, gıdanın oksidatif bozulmasını geciktiren/önleyen ve mikrobiyal kontaminasyondan koruyan, gıda kalitesini muhafaza ederek raf ömrünü uzatan son derece önemli işlevsel özellikleridir (Wu vd., 2022). Genellikle antioksidan ve antimikrobiyal ajanlar, gıda ambalajlarının biyopolimer matrisine dahil edilmektedir (Singh vd., 2018).

Bitki ekstraktları ve uçucu yağlar, gıdayı serbest radikallerden, oksidatif maddelerden ve ikincil ayrışma ürünlerinden korumak için ortama aktif maddeler salabilir (Wu vd., 2022). Polifenol açısından zengin bitki ekstraktları genellikle film katkı maddeleri olarak kullanılır. Bunlar, nişasta filmlerine antioksidan ve antibakteriyel özellikler gibi ek işlevsel nitelikler kazandırır ve filmlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirir (Singh vd., 2022). Antimikrobiyal ajanlar; meyve ve sebzeler, et ve süt ürünleri dahil olmak üzere bozulabilir gıda maddelerindeki mevcut mikrobiyal yükü temas ettiğinde, mikroorganizmaların canlı hücrelerinin yapı taşına zarar vererek mikroorganizmanın gelişimini engeller (Chawla vd., 2021).

Yenilebilir filmlere aktif ajanların ilave edildiği çok sayıda çalışma mevcuttur. Örneğin, kitosan ve nişasta bazlı yenilebilir filme antioksidan ajan olarak ilave edilen kekik ekstraktı, flavonoidler, glikozitler ve terpenoid bileşiklere sahiptir. Akasya gamı bazlı film ile gerçekleştirilen guava meyve kaplamasında aktif ajan olarak kullanılan *Ocimum sanctum* ekstraktı, aktif bileşikler olarak polifenoller ve flavonoidler içermektedir (Kumar vd., 2022). Bir başka çalışmada, antosiyanin ile karıştırılmış kitosan bazlı akıllı film, pH

değişimine dayalı gıda bozulma tespiti için hızlı pH-kolorimetrik sistem olarak geliştirilmiştir (Yoshida vd., 2014). Shukla vd. (2016) antosiyanin bazlı gösterge sensörü geliştirmek için gül ve kırmızı lahana çiçeklerinden elde edilen doğal boyalardan (rengi pH'daki artışla kırmızıdan yeşile değişen) yararlanmıştır. Moradi vd. (2019) balık tazeliğini izlemek için bakteriyel selüloz nanofiberlere ve siyah havuç antosiyaninlerine dayanan yeni bir pH göstergesi geliştirmişlerdir.

H. Mavi Kelebek Sarmaşığı (*Clitoria ternatea*)

Anavatanı Güney Asya ve Güneydoğu Asya olan *Clitoria ternatea* L., *Fabaceae* familyasına ait çok yıllık bir bitkidir (Jeyaraj vd., 2021). Çiçeklerinin sulu ekstraktı geleneksel olarak Asya'da yiyecek ve içeceklerde doğal bir renklendirici olarak kullanılmaktadır. *C. ternatea* çiçeklerinden elde edilen renklendiriciler, FDA onaylı bitki bazlı doğal mavi renk kaynağıdır. Bu doğal renklendirici, özellikle ısı ve ışık stabilitesi nedeniyle, doğal renk spektrumundaki önemli bir boşluğu doldurmaktadır (Zor vd., 2023).

Fenolik pigmentlerin en büyük grubu olan antosiyaninler, bulundukları çiçek veya meyvenin antioksidan özellikleri ve mavi, mor, pembe, kırmızı ve turuncu gibi renk özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Mavi kelebek sarmaşığı çiçeklerinde koyu maviden mora değişen renkten sorumlu olan ana antosiyanin ternatin-delfinidin 3,3',5'-triglukozidin poliasillenmiş türevleridir (Campbell et al., 2019; Vidana Gamage vd., 2021; Zor vd., 2023). Jeyaraj vd. (2021) yapmış oldukları bir çalışmada *Clitoria ternatea* çiçeklerinden yüksek antioksidan ve antimikrobiyal özellik gösteren kaempferol, kuersetin ve mirisetin glikozitleri ile antosiyaninler gibi çeşitli fitokimyasallar izole etmişlerdir.

Antosiyaninlerin rengi çözeltinin pH'ına bağlıdır çünkü antosiyaninlerin yapısı içinde bulunduğu ortamın pH'ına bağlı olarak değişir (Fu vd., 2021). Mavi kelebek sarmaşığı antosiyaninin dört farklı renk formu mevcuttur. Çiçeklerdeki koyu mavi ile mor renk, flavilyum (kırmızı) ve kinoidal (mavi) formların neredeyse eşit karışımından kaynaklanmaktadır (Campbell et al., 2019). Genellikle hafif bir asit ilavesiyle ekstrakt pH'sı 3,2'den düşük olduğunda flavilyum (kırmızı) formu daha fazla olur ve renk pembe veya açık mor görünür (Campbell et al., 2019; Vidana Gamage vd., 2021). pH 3,2 ile 5,2 aralığında renk mordan maviye, pH 5,2 ile pH 8,2 aralığında ise açık mavi renk gözlemlenir

(Vidana Gamage vd., 2021). Bir alkali ilavesiyle pH 8,2 ila pH 10,2 aralığına yükseltildiğinde mevcut olan kinoidal (mavi) ve kalkon (sarı) formların her ikisi de yeşil renge yol açar (Campbell et al., 2019; Vidana Gamage vd., 2021).



III. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Materyal

Hass ve Bacon çeşitlerine ait avokado meyvelerinin çekirdekleri, Antalya Akdeniz Naturel Yaşam Derneği'nden temin edilmiş ve kullanılabilecek -18 °C'de muhafaza edilmiştir. Sodyum Metabisülfite ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) Labor Teknik (Tekkim, Türkiye) firmasından; Gliserol (84-88%) Sigma-Aldrich (Steinheim, Germany) firmasından satın alınmıştır. Mavi kelebek sarmaşığı (Blue butterfly pea flower) kuru halde online olarak yöresel bir marketten sipariş edilmiştir.

B. Yöntem

1. Avokado Çekirdeğinden Nişasta Eldesi

Avokado çekirdeğinden nişasta eldesinde Silva vd. (2017) tarafından önerilen yöntem bazı modifikasyonlarla uygulanmıştır. Dondurucudan çıkarılan avokado çekirdekleri 60 °C'lik etüvde 20 dakika süreyle çözündürülmüştür. Bir bıçak yardımıyla çekirdekler üzerindeki ince kabuk soyulmuş ve yaklaşık 0,5 cm'lik küçük parçalar halinde kesilerek 1 hafta boyunca farklı derişimlerde (a/h) hazırlanan sodyum metabisülfite çözeltilerinde bekletilmiştir. Ardından, bir blenderdan geçirilerek parçalar öğütülmüş ve homojenizasyon sağlanmıştır. Homojen karışımlar, saf su aracılığıyla 63 µm açıklığa sahip elekten birkaç kez geçirilerek yıkanmış ve elde edilen çözeltiler kaba filtre kağıdından vakum yardımıyla rengi berraklaşana kadar süzölmüştür. 40 °C'lik etüvde 4 saat süreyle kurutulan nişasta, 63 µm elekten geçirilmiş ve elde edilen ürün hava almayacak şekilde oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir.

2. Sodyum Metabisülfite ile Muamele ve Nişasta Elde Edilmesi

300 gr avokado çekirdeği ile farklı derişimlerdeki sodyum metabisülfite çözeltisi (%0,075; %0,2; %0,5; %2 ve %5) kullanılarak elde edilen nişasta miktarı tartılarak kaydedilmiştir.

3. Fourier Transform Kızılötesi (FT-IR) Spektroskopisi

Elde edilen nişastanın FT-IR spektrumu Bruker Invenio-S (Bruker C., Almanya) spektroskopisi kullanılarak $600-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında 4 cm^{-1} ayırma ile alınmıştır.

4. Avokado Çekirdeğinden Yenilebilir Filmin Hazırlanması

Avokado Çekirdeği Nişastasından Gliserol İlaveli Yenilebilir Film Hazırlanması

Yenilebilir filmler, avokado çekirdeğinden elde edilen doğal nişasta (AÇN), gliserol ve distile su kullanılarak dökme yöntemi ile hazırlanmıştır. Bir beher içerisine belirlenen miktarda avokado çekirdeği nişastası tartılmış (AND GR200, Japonya) ve üzerine 100 ml distile su ilave edilmiştir. Beherdeki film çözeltisi 90°C 'deki su banyosunda (Stuart SWB2D, UK), 400 rpm karıştırma hızındaki bir mekanik karıştırıcıyla (İKA RW20, Almanya) 30 dakika karıştırılmıştır. Süre sonunda, oda sıcaklığına soğutulan çözeltiye farklı miktarlarda gliserol ilave edilmiştir. Karışım, mekanik karıştırıcıda 400 rpm'de 15 dakika boyunca homojenize edilmiştir. Karışım içerisindeki hava kabarcıklarının uzaklaştırılması için 10 dakika ultrases su banyosunda (PMUY4LD, Protech, İstanbul, Türkiye) bekletilmiştir. Çözelti 12 cm iç çaplı teflon petrilere 15 mL dökülerek eşit şekilde yayılmış ve 50°C etüvde 24 saat süreyle etüvde (ED53, Binder, Almanya) kurutulmuştur. Kuruma sonrası filmler petrilere çıkarılarak, 25°C 'de %55 bağıl nemde doygun $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ içeren desikatörde 48 saat bekletilmiştir. Sırasıyla üretilen filmlerin içermiş olduğu nişasta ve gliserol miktarları Çizelge 2'de verilmiş olup tüm bu işlemler oluşturulan 9 film formülasyonu için ayrı ayrı yapılmıştır.

5. Deney Tasarımı

Film formülasyonlarının deneysel tasarımı tam faktöriyel tasarım ile yapılmıştır. Yapılan tasarımda bağımsız değişkenler film çözeltisine eklenen nişasta ve gliserol miktarı olarak seçilmiştir. Her bir bağımsız değişken için 3 farklı seviye incelenmiştir. Bağımsız değişkenler ve kullanılan seviyeler Çizelge 2'de verilmiştir.

Deneyisel tasarım Design Expert Software (Version 11.1.0, State-Ease, Inc Minneapolis, ABD) kullanılarak yapılmıştır. Program ile bağımsız değişkenlerin seçilen bağımlı değişkenlere etkileri incelenmiştir ve yüzey yanıt metodolojisi analizi gerçekleştirilerek 3 boyutlu yüzey tepki grafikleri çizilmiştir. Bağımlı değişkenler filmlerin kopma mukavemeti, kopma anındaki maksimum uzama, suda çözünürlük, suda şişme, su buharı geçirgenliği ve opaklık olarak alınmıştır.

Bağımlı değişkenler için elde edilen data, yanıt yüzey metodolojisi için yanıt yüzeyinin tahmininde aşağıda verilmiş olan ikinci dereceden polinomik Denklem (1) kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{12}x_1x_2 \quad (1)$$

Formüldeki Y tahmin edilen yanıt, X_1 ve X_2 bağımsız değişkenlerin kodları, β_0 sabit β_1 ve β_2 lineer, β_{11} ve β_{22} kuadratik ve β_{12} interaksiyon sabitlerini göstermektedir.

Çizelge 2. Bağımsız Değişkenler ve Kullanılan Seviyeler

Uygulama	Değişken kodları		Bağımsız değişkenlerin seviyeleri	
	X_1	X_2	Nişasta (g)	Gliserol (g)
1	-1	-1	4	0,75
2	-1	0	4	1,25
3	-1	+1	4	1,75
4	0	-1	5	0,75
5	0	0	5	1,25
6	0	+1	5	1,75
7	+1	-1	6	0,75
8	+1	0	6	1,25
9	+1	+1	6	1,75

a. Film Analizleri

i. Kalınlık

Üretilen filmlerin kalınlığını belirlemek için, 0,001 mm hassaslıktaki dijital mikrometre (3109-25A, İnSize, Almanya) kullanılmıştır. Ortalama kalınlığı elde etmek için 3 film örneğinin minimum 3 farklı konumundan ölçümler alınmıştır.

ii. Yoğunluk

Filmlerin yoğunluğunu belirlemek için yaklaşık 39 mm x 39 mm kare şeklinde 3 parça kesilmiş ve bir kumpas (Digital Caliper) yardımıyla 2 farklı

eksendeki 3 ayrı noktadan kenar uzunlukları ölçülmüştür. Bunun yanında 3 ayrı noktadan dijital mikrometre ile kalınlık ölçümleri yapılmış ayrıca filmlerin ağırlıkları hassas terazide (HR-250AZ, And, Japonya) tartılmıştır. Bu analiz 3 paralel ile çalışılmıştır. Filmlerin yoğunluk hesaplaması; filmlerin ağırlıklarının, filmlerin hacimlerine oranlanması ile hesaplanmıştır.

iii. Nem

Darası alınmış cam petrilere 1x1 cm boyutunda kesilen filmler yerleştirilmiş ve hassas terazide tartılmıştır (w_i). Filmler, sabit bir ağırlığa ulaşana dek 24 saat boyunca 80 °C’de vakumlu etüvde (EV018, Nüve, Ankara, Türkiye) kurutulmuştur. Sonrasında filmlerin kuru ağırlığını belirlemek amacıyla tekrar tartılmıştır (w_f). Testler üç paralel olarak gerçekleştirilmiş ve ortalamalar alınmıştır. Toplam nem yüzdesi aşağıdaki formül (Denklem 2) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Nem (\%)} = [(w_i) - (w_f) / (w_i)] \times 100 \quad (2)$$

iv. Suda Çözünürlük

Filmlerin sudaki çözünürlüğünü belirlemek için yapılan analizde; film örneklerinden 3 paralel şeklinde cam petrilere alınarak 80 °C’de 0,5 bar basınçtaki vakum etüvde (EV018, Nüve, Ankara, Türkiye) 24 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Vakum etüvden çıkarılan petriler silikajel içeren desikatörde soğutulmuştur. Kurutulan film örneklerinden 3 paralel olacak şekilde tartılmış ve ağırlıkları W_0 olarak kaydedilmiştir. Beherlere 50 ml distile su ilave edilmiş ve alüminyum folyo ile kapatılarak 25°C’lik ortam sıcaklığında çalkalayıcıda (SSL1, Stuart, Birleşik Krallık) beklemeye alınmıştır. 24 saat sonunda suda bekleyen ürünler cam petrilere alınarak yeniden 80°C’de 0,5 bar basınçtaki vakum etüvde 24 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Vakum etüvden çıkarılan petriler silikajel desikatörde soğutulmuştur. Soğuyan petrilerdeki filmlerin tartımları alınmış olup W_1 olarak kaydedilmiştir. Filmlerin sudaki yüzde çözünürlüğü Denklem 3’e göre hesaplanmıştır: (Coimbra vd., 2023).

$$\text{Suda Çözünürlük (\%)}: [(W_0 - W_1) / W_0] \times 100 \quad (3)$$

W_0 : Filmin suda çözündürme işlemi uygulanmadan önceki ağırlığı (g)

W_1 : Filmin suda çözündürme işlemi uygulandıktan sonraki ağırlığı (g)

v. Suda Şişme

Filmlerin suda şişme özelliğini belirlemek için yapılan analizde; film örneklerinden 3 paralel şeklinde cam petrilere alınarak 80°C’de 0,5 bar basınçtaki vakum etüvde (EV018, Nüve, Ankara, Türkiye) 24 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Vakum etüvden çıkarılan petrilere silikajel desikatörde soğutulmuştur. Kurutulan film örneklerinden 3 paralel şeklinde her biri tartılmış olup ağırlıkları W_0 olarak kaydedilmiştir. Beherlere 50 ml distile su ilave edilerek 25°C’de 30 dakika çalkalayıcıda (SSL1, Stuart, Birleşik Krallık) bırakılmıştır. Sudan çıkarılan numunelerin yüzeyindeki kalan fazla su, filtre kâğıdı yardımıyla silinip tartımı alınmıştır. Sudaki şişme miktarı, ıslak numunelerin ağırlığı ile filmlerin başlangıç ağırlığı farkı olarak hesaplanmış ve filmlerin başlangıç ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilmiştir (Denklem 4).

$$\text{Suda şişme (\%)} = 100 [(W_2 - W_1) / W_1] \quad (4)$$

Denklemdaki W_1 ve W_2 örneklerin ilk ve son ağırlıklarını ifade eder.

vi. Su Buharı Geçirgenliği

Filmlerin su buharı geçirgenliği, modifiye gravimetrik su metoduna ASTM standart metod E96/E96M’ye göre belirtilmiştir (ASTM, 2015). Analizin yapılması amacıyla 29,7 cm²’lik ağız açıklığına sahip yuvarlak alüminyum test kapları kullanılmıştır. Analiz 3 paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Alüminyum kapa 20 ml distile su ilave edilmiştir. Daire şeklinde kesilen film örneklerinin dijital mikrometre ile 3 farklı noktasından kalınlıkları ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Film örnekleri vidalar yardımıyla analiz ekipmanına oturtulmuştur. Alüminyum kaplar doymuş $Mg(NO_3)_2$ çözeltisi (%53 ± 2 RH) içeren 25 °C’deki bir desikatöre yerleştirilmiştir ve ağırlık kayıpları 7 saat boyunca ölçülerek kaydedilmiştir. Filmlerin su buharı iletim oranını (WVTR) hesaplamak için, ağırlık kaybının zamana göre değişim grafiği çizilmiş ve eğim hesaplanmıştır. Su buharı geçirgenliği katsayısı (WVP, g mm m⁻² h⁻¹ kPa⁻¹), WVTR’nin film kalınlığı ile çarpılması ve bu değer film boyunca su buharı kısmi basınç farkına bölünmesiyle hesaplanmıştır (Yıldırım-Yalçın vd., 2019).

vii. Mekanik Özellikler (Kopma Mukavemeti, Kopma Anında Uzama Değeri)

Kopma mukavemeti ve kopma anındaki maksimum uzama değeri ortam koşullarında ASTM D 882-88 standart yöntemine uygun olarak ölçülmüştür (ASTM, 2012). Filmlerden dikdörtgen 15 mm x 70 mm ve başlangıç uzunluğu 40 mm olan örnek kesilerek mekanik test cihazının (LAB3-2512A, Mesdan LAB, İtalya) 2 çenesi arasına dikey olarak yerleştirilmiştir. Yük hücresi 100 N ve hız 25 mm/dak olan mekanik direnç ölçüm cihazında (LAB3-2512 A, Mesdan LAB, İtalya) ilgili testler gerçekleştirilmiştir (Kurtkafi ve Yıldırım-Yalçın, 2023). Her bir film örneğinden ayrı ayrı olacak şekilde, dijital mikrometre ile 2 farklı noktadan kalınlık ölçümü yapılarak kalınlık değerleri mm cinsinden kaydedilmiştir. Cihaz yazılımında gösterilen kopma anındaki maksimum kuvvet (N) ve yüzde maksimum uzama miktarı değerleri kayıt altına alınmıştır.

viii. Opaklık

Filmin Opaklık değerini belirlenmek amacıyla UV-Görünür bölge spektrofotometresi (T60UV, PG instruments, Birleşik Krallık) kullanılarak 600 nm’de absorbans ölçümü yapılmıştır. Ölçüm yapılacak filmler 0,4 cm genişliğinde ve 3 cm yüksekliğinde dikdörtgen parça şeklinde kesilerek spektrofotometre kuvvetlerinin dış yüzeyine yerleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları, 3 paralel halinde gerçekleştirilmiştir. Opaklık hesaplaması Denklem 5’e göre yapılmıştır:

$$\text{Opaklık} = A_{.600} / \delta \quad (5)$$

Buradaki A_{600} ifadesi 600 nm’deki absorbansı ve δ ise film kalınlığını ifade eder (mm).

b. İstatistiksel Analiz ve Optimizasyon

Design Expert programı ile Varyans Analizi (ANOVA) yapılarak istatistiksel parametreler belirlenmiştir. Çoklu regresyon analizi yapılarak 3 boyutlu yüzey tepki grafikleri çizilmiştir. Elde edilen modellerin yeterliliği F-testi ile kontrol edilmiştir. Modellerin uygunluğu determinasyon katsayısı (R^2) ve model uyumsuzluğu (lack of fit) değerleri ile test edilmiştir. Optimum film formülasyonu desirability fonksiyonu kullanılarak nümerik olarak hesaplanmıştır. Optimizasyon koşulları maksimum kopma mukavemeti, kopma anındaki

maksimum uzama, minimum suda çözünürlük ve su buharı geçirgenliği ve aralıkta suda şişme ve opaklık olacak şekilde belirlenmiştir.

c. Optimum Film Formülasyonunun Doğrulanması

Optimizasyon çalışması sonucunda elde edilen formülasyonda tekrar film yapılarak optimum filmin deneysel verileri optimizasyon çalışmasında elde edilen tahmini değerler ile karşılaştırılmıştır. Optimum noktada elde edilen tahmini veriler ile doğrulama çalışması sonrasında elde edilen deneysel veriler SPSS (IBM SPSS Statistics 19, SPSS Inc., Chicago, ABD) yazılımı kullanılarak t-testi ile karşılaştırılmıştır ($p=0,05$).

d. Optimum Filme Mavi Kelebek Sarmaşığı Ekstresi İlavesi

i. Mavi Kelebek Sarmaşığından Ekstrakt Hazırlanması

Blender ile öğütülen kuru mavi kelebek sarmaşığı çiçekleri 100 µm'lik elekten geçirilmiştir. Elde edilen tozdan 10 gr tartılmış ve 100 ml distile su ile karıştırılarak (1:10 a/h), 1 saat süreyle oda sıcaklığındaki ultrases su banyosunda bekletilerek ekstraksiyon gerçekleştirilmiştir. Süspansiyon vakumlu filtreden geçirilerek elde edilen ekstrakt ışık ve hava almayacak şekilde -80 °C'de depolanmıştır.

ii. Mavi Kelebek Sarmaşığından Ekstraktından Gliserol İlaveli Doğal Avokado Nişastası Bazlı Yenilebilir Film Hazırlanması

Film yapımında avokado çekirdeği nişastası, gliserol, mavi kelebek sarmaşığı ekstraktı kullanılmıştır. Optimum formülasyona göre, 4 g avokado çekirdeği nişastası 0,001 hassaslıktaki terazide (AND GR200, Japonya) tartılmıştır. Tartılan ürün behere konularak üzerine 90 ml distile su ilave edilmiştir. Beherdeki film çözeltisi 92 °C'deki su banyosunda (Stuart SWB2D, UK.), 400 rpm karıştırma hızındaki bir mekanik karıştırıcıyla (İKA RW20, Almanya) 30 dakika karıştırılmıştır. Süre tamamlandıktan sonra ortamda soğumaya bırakılan çözeltiye oda sıcaklığına gelince 10 ml mavi kelebek çayı ekstraktı ilave edilmiş ve 1 g gliserol ilave edilmiştir. Mekanik karıştırıcı ile 400 rpm'de 15 dakika boyunca karışım homojenize edilmiştir. Karışımın içindeki havanın çıkması için ultrases su banyosunda (PMUY4LD, Protech, İstanbul, Türkiye) oda sıcaklığında 10 dakika bekletilmiştir. Çözelti 12 cm iç çaplı teflon petrilere 15ml dökülerek eşit şekilde yayılmış ve 50 °C de 24 saat süreyle etüvde

(ED53, Binder, Almanya) kurutulmuştur. Kuruma sonrası filmler petrilere çıkarılıp, %55 bağıl nemde doymuş $Mg(NO_3)_2$ içeren desikatörde sabit ağırlığa gelmesi için 25 °C’de 48 saat bekletilmiştir.

iii. Mavi kelebek Sarmaşığı Ekstraktı İçeren Filmin pH duyarlılığı

Mavi kelebek sarmaşığı içeren filmlerin farklı pH’lardaki renk tepkisinin incelenmesi amacıyla yaklaşık 2 cm x 2 cm filmler kesilerek farklı pH’larda tampon çözeltiler ile ıslatılmışlardır. Filmlerin 10 dakika sonra görüntüleri kamera ile çekilmiştir.

iv. Mavi kelebek Sarmaşığı Ekstraktı İçeren Filmin Tavuk Göğüs Etlerinde Bozulma ile Renk Değişimi

Mavi kelebek sarmaşığı ekstraktı içeren filmler tavuk göğüs etlerinin bozulmasını izlemek için kullanılmıştır. Bu amaçla 10 g tavuk göğüs eti steril petriye konulmuştur. Filmlerden kesilen yaklaşık 2,5 cm x 2,5 cm büyüklüğündeki kare parçalar, tavuk etlerine değmeyecek şekilde petri kapağına küçük bantlar ile tutturulmuştur. Kapağı kapatılan ve streç film ile bir kat sarılan petrilere oda koşullarında 25 °C’de 3 gün depolanmıştır. Filmlerdeki renk değişimleri her gün fotoğraf çekilerek izlenmiştir.

v. pH ve Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri (TMAB) Sayısı

Depolama boyunca 1., 2., 3. günlerde Toplam Mezofilik Aerobik bakteri (TMAB) sayısının belirlenmesi için 10 g tavuk örneğine aseptik koşullarda 90 mL steril ringer dilüsyon sıvısı ile stomacher torbasına aktararak ve stomacherda çalkalanarak homojenize edilmiştir. Homojenize edilen numuneden 1 mL alınarak 9 mL steril dilüsyon sıvısı bulunan tüpe eklenerek homojenize edilmiştir. Gerekli seyreltmeler desimal olarak hazırlanmıştır ve hazırlanan dilüsyonlardan Plate Count Agar (PCA) bulunan petrilere 0,1 mL aktarılmıştır. İnkübasyon (37 °C’de 24 saat) sonucunda petrilere bakteri sayımı gerçekleştirilerek sonuçlar log10 koloni oluşturan birim (KOB)/g şeklinde verilmiştir. Ayrıca stomacher torbasında hazırlanan homojen örneğin pH ölçümü alınmıştır.

vi. İstatistiksel Analiz

Mavi Kelebek Sarmaşığı ekstraktı içeren optimum film ile içermeyen optimum film özellikleri arasındaki farklılıkların belirlenmesi amacıyla SPSS

(IBM SPSS Statistics 19, SPSS Inc., Chicago, ABD) yazılımı kullanılarak Varyans Analizi (ANOVA) yapılmıştır. Ayrıca tavuk etlerinin bozulma testi sırasındaki farklı depolama günleri arasındaki farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir. Anlamlılık düzeyi $p=0,05$ seçilmiş olup, deneysel sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde belirtilmiştir.



IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. Avokado Çekirdeği Nişastası Elde Edilmesi

Çizelge 3’de farklı derişimde kullanılan sodyum metabisülfite çözeltilerin avokado çekirdeklerinden ekstrakte edilen nişasta verimine etkisi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Yapılan nişasta ekstraksiyonunda avokado çekirdeklerinden farklı derişimlerde sodyum metabisülfite çözeltilisi ile %28,88-%37,96 oranında nişasta verimi elde edilmiştir. Lubis vd., (2016) yapmış oldukları benzer bir çalışmada 300 g avokado çekirdeğinden ekstrakte edilen nişasta miktarını 34,13 g nişasta (45 °C) ve %11,38’lik bir verim olarak bildirmişlerdir. Ginting vd., (2015) çalışmalarında %24,20’lik bir nişasta verimi bildirirken, Correa vd. (2019) nişasta ekstraksiyonunda %23,70 lik bir verim elde ettiklerini bildirmiştir. Dos Santos vd, (2017), avokado çekirdeklerinden ağırlıkça %42,20’ye kadar yüksek bir nişasta içeriği bildirmiştir.

Verim sonuçları dikkate alındığında en iyi sonuçlar %5’lik sodyum metabisülfite (a/h) çözeltilisi ile muamele edilen avokado çekirdeklerinden elde edilmiştir. Ayrıca bu nişastanın rengi de diğerlerine göre daha açık olmuştur. Bu nedenle, çalışmanın diğer kısımlarında hazırlanacak olan filmler için %5’lik sodyum metabisülfite ile elde edilen nişasta kullanılmıştır.

Çizelge 3. Çözelti Derişimi ve Elde Edilen Nişasta Miktarları

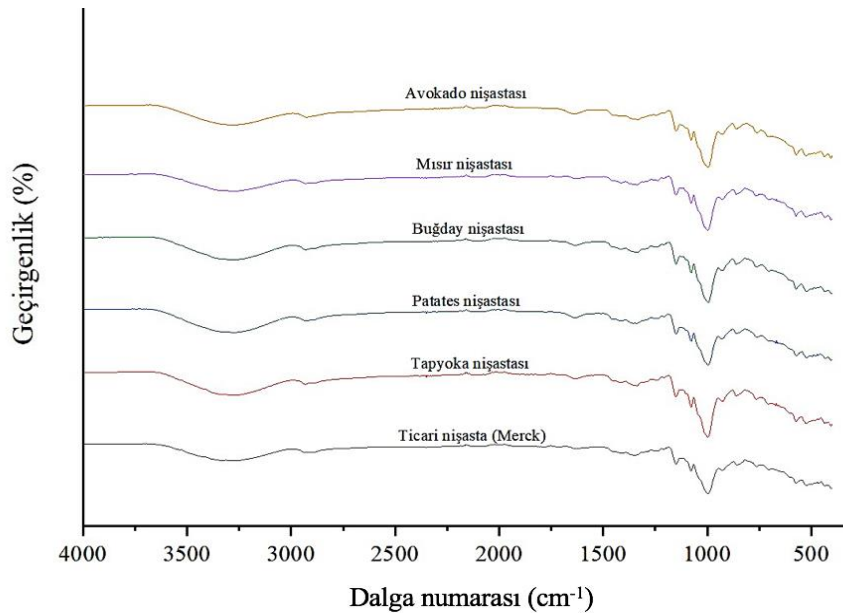
Na ₂ S ₂ O ₅ Çözelti Derişimleri (%)	Avokado Çekirdeği (g)	Nişasta Miktarı (g)
0,075	300	86,64
0,2	300	92,19
0,5	300	95,31
2	300	110,62
5	300	113,89

B. FT-IR Analizi

FT-IR spektrumlarındaki pikler, biyopolimer karışımları arasındaki kimyasal etkileşimleri ve fiziksel bağları belirleyebilmektedir (Amjadi vd., 2019). FT-IR spektroskopisi kullanılarak avokado çekirdeği nişastasının fonksiyonel gruplarının tanımlanması amaçlanmıştır.

Ayrıca piyasada bulunan bazı nişasta çeşitlerinin bağ yapıları ile elde edilen nişasta arasındaki bağlar karşılaştırılmıştır. Bazı nişasta çeşitlerinin FT-IR analiz spektrumları Şekil 7’de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi ticari olarak piyasada bulunan nişasta çeşitlerinin FT-IR spektrumları ile avokado çekirdeğinden elde edilen nişasta arasında belirgin farklılıklar bulunmamaktadır.

Nişasta, temel olarak amiloz ve amilopektinden oluşur. Nişastanın spektrumunda iki karakteristik bölge vardır. Birincisi glikoz biriminin -OH gerilme titreşimi, $3650\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ aralığındadır. İkincisi ise $1200\text{--}800\text{ cm}^{-1}$ aralığında yer alan ve parmak izi bölgesi olarak bilinen ana adsorpsiyon bantları bölgesi, aynı zamanda karbonhidrat titreşimleri bölgesi olarak da adlandırılır (Pozo, 2018; Wijaya, 2019). Diğer taraftan 2900 cm^{-1} civarında gözlenen pik, metil gruplarının C-H gerilmelerine karşılık gelir. $1150\text{--}1000$ bölgesindeki pikler ise C-O ve C-C gerilmeleriyle ilişkilidir (Araújo vd., 2020).



Şekil 7. Bazı Nişasta Çeşitlerinin FT-IR Analiz Spektrumları

C. Film Analizleri

1. Nem ve Yoğunluk Analizleri

Filmlerin içerdiği nişasta ve gliserol miktarına göre nem (%) ve yoğunluk (g/cm³) değerleri Çizelge 4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. Filmlerin İçerdikleri Nişasta ve Gliserol Miktarına Göre Nem (%) ve Yoğunluk (g/cm³) Analizlerinin Sonuçları.

Film	Avokado çekirdeği nişastasası (g)	Gliserol (g)	Nem (%)	Yoğunluk (g/cm ³)
F1	4	0,75	15,00 ± 0,42 ^d	1,25 ± 0,03 ^{bcd}
F2	4	1,25	35,75 ± 1,20 ^a	1,23 ± 0,04 ^d
F3	4	1,75	18,70 ± 1,84 ^c	1,31 ± 0,02 ^{ab}
F4	5	0,75	12,25 ± 0,92 ^e	1,07 ± 0,01 ^e
F5	5	1,25	27,95 ± 2,05 ^b	1,24 ± 0,03 ^{cd}
F6	5	1,75	26,35 ± 1,48 ^b	1,31 ± 0,06 ^{abc}
F7	6	0,75	3,00 ± 0,14 ^f	1,22 ± 0,01 ^d
F8	6	1,25	3,55 ± 0,21 ^f	1,22 ± 0,02 ^d
F9	6	1,75	15,60 ± 0,14 ^d	1,33 ± 0,02 ^a

*Sütunlardaki farklı harfler örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu göstermektedir (p<0,05).

Elde edilen sonuçlara göre filmlerin yoğunluğu 1,07 ile 1,33 g/cm³ arasında değişmektedir. Nişasta miktarının sabit, gliserol miktarının artmasıyla yoğunluk değerleri üzerinde bir artış olduğu görülmektedir (p<0,05). Gliserol miktarı sabit nişasta miktarının artması ile ise anlamlı bir etkiden söz edilememektedir. Nem sonuçlarına göre ise gliserol miktarının artması nem değerlerinde artışa neden olmuştur. Nişasta miktarının artmasıyla %1,75 gliserol hariç diğer örneklerde nem miktarı anlamlı şekilde azalmaktadır (p<0,05).

2. Tasarım Modeli Geliştirilmesi

Film formülasyonundaki avokado çekirdeği nişastasası ve gliserol içeriği konsantrasyonlarının filmin mekanik, suda çözünürlük, suda şişme, su buharı geçirgenliği ve opaklık özellikleri üzerine etkileri Yanıt Yüzey Yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çizelge 5’de deneysel tasarım noktaları ve deneysel veriler verilmiştir. Çizelge 6’da ise geliştirilen tasarım modellerinin varyans ve regresyon katsayıları verilmiştir. Geliştirilen tüm modellerin istatistiksel olarak

anlamli olduğu gör÷lmektedir (Önem derecesi: ***p < 0,001). Yüksek R² değeri (0,84- 0,95) ve anlamsız model uyumsuzluğu değeri elde edilen modellerin uygunluğunu göstermektedir.

Çizelge 5. Deneysel Tasarım Noktaları ve Deneysel Veriler

Film	Değişkenler	Cevaplar						
m	Nişıta	Gliserol	TS (çekme mukavemeti, N/mm ²)	E (kopma uzaması, %)	Suda çözünürlük (%)	Suda şişme (g/g)	WVP (gmm/m ² h kPa)	Opaklık (Abs _{600nm} /mm)
1	4	0,75	1,48 ± 0,09	3,38 ± 0,18	13,32 ± 1,49	1,00 ± 0,03	0,84 ± 0,00	10,44 ± 0,77
2	4	1,25	0,37 ± 0,03	21,38 ± 2,83	19,52 ± 0,34	0,67 ± 0,05	0,69 ± 0,02	9,58 ± 1,98
3	4	1,75	0,21 ± 0,01	28,50 ± 1,06	26,44 ± 0,23	0,66 ± 0,09	0,96 ± 0,05	6,59 ± 0,17
4	5	0,75	1,74 ± 0,05	3,10 ± 0,28	17,69 ± 1,45	0,84 ± 0,03	1,24 ± 0,18	9,08 ± 0,21
5	5	1,25	0,53 ± 0,01	18,00 ± 1,06	17,17 ± 1,35	0,70 ± 0,08	1,06 ± 0,02	8,09 ± 0,51
6	5	1,75	0,30 ± 0,00	28,00 ± 1,77	37,86 ± 1,21	0,54 ± 0,00	1,43 ± 0,01	3,83 ± 0,12
7	6	0,75	2,23 ± 0,32	0,75 ± 0,01	12,13 ± 1,45	0,99 ± 0,15	1,14 ± 0,01	7,64 ± 0,58
8	6	1,25	1,24 ± 0,05	7,58 ± 0,11	13,59 ± 1,21	0,80 ± 0,01	1,26 ± 0,05	8,02 ± 0,63
9	6	1,75	0,46 ± 0,02	15,25 ± 1,41	33,47 ± 3,29	0,45 ± 0,08	1,42 ± 0,13	4,28 ± 0,03

Çizelge 6. Tüm Film Analizleri İçin Varyans Analizi Sonuçları ve Regresyon Katsayıları.

	TS (N/mm ²)	E (%)	Suda çözünürlük (%)	Suda şişme (g/g)	WVP (gmm/m ² h kPa)	Opaklık
Model	Quadratik	Quadratik	Quadratik	Quadratik	Quadratik	Quadratik
p değeri	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0002	< 0,0001	< 0,0001
Model uyumsuzluğu-p değeri	0,0665	0,0941	0,0570	0,0690	0,1259	0,1073
Determinasyon katsayısı (R ²)	0,9716	0,9569	0,9094	0,8397	0,9061	0,9170
Adjusted R ²	0,9598	0,9390	0,8717	0,7729	0,8670	0,8824
Predicted R ²	0,9307	0,9097	0,7831	0,6156	0,7968	0,8191
Regresyon katsayıları ^a						
Kesişim	β ₀ 0,6184	18,03	19,59	0,6788	1,13	7,96
Lineer	β ₁ 0,3111***	-4,95***	-0,2659	-0,0145	0,2208***	-1,04***
	β ₂ -0,7484***	10,75***	9,35***	-0,1973***	0,0982**	-2,08***
Quadratik	β ₁₁ 0,1439	-3,56*	-4,24*	-0,0511	-0,1903**	0,6853
	β ₂₂ 0,3559***	-2,49	6,98**	0,0695	0,1709**	-1,44**
İnteraksiyon	β ₁₂ -0,1225*	-2,65*	1,68	-0,0205	0,0424	0,1235

Önem derecesi: ***p < 0,001, **p < 0,01, and *p < 0,05.

β₀: kesişim; β₁, β₂: nişasta ve gliserol için lineer regresyon katsayıları linear regression; β₁₁, β₂₂, nişasta x nişasta ve gliserol x gliserol için quadratik regresyon katsayıları; β₁₂: nişasta x gliserol için interaksiyon regresyon katsayısı

3. Film Özelliklerinin Belirlenmesi

a. Mekanik Özellikler

Yenilebilir filmlere ait mekanik özellikler; işleme, taşıma ve depolama esnasında karşılaşılabilecek stres koşulları altında film bütünlüğü hakkında bilgi sağlayan bir kalite parametresidir. Yenilebilir filmlerin mekanik özelliklerini değerlendirmek için esas olarak yapılan çalışmalar arasında çekme dayanımı ve kopma uzaması yer almaktadır. Bu parametreler filmlerin esnekliğini ve elastikiyetini belirlemeye yardımcı olur. Paketlenmiş gıdaların depolanması gibi uygulamalar için filmlerde elastikiyet ve esneklik gereklidir. Bu nedenle optimizasyon çalışmasında optimum film formülasyonunun belirlenmesinde maksimum çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri hedef alınmıştır.

Filmlerin çekme dayanımı $0,21 \pm 0,01$ ile $2,23 \pm 0,32$ N/mm² ve kopma uzaması $\%0,75 \pm 0,01$ ile $\%28,50 \pm 1,06$ değerleri arasında bulunmuştur. Yapılan bir araştırmada düşük yoğunluklu polietilenin (LDPE) çekme mukavemeti yaklaşık 10 MPa bulunmuştur (de Graaf vd., 2003). Buna karşılık, doğal nişasta filminin 4,48–8,14 MPa aralığında çekme mukavemeti gösterdiği ifade edilmiştir (Domene-López vd., 2019). Kullanılan nişasta türü, depolama sıcaklığı ve süresi filmin kristalliliği ve kırılgenliğini etkiler (Koch, K vd., 2010). Nişastadaki amiloz ve amilopektinin moleküler ağırlığı da filmin mukavemetini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Yüksek moleküler ağırlığa sahip amiloz filmleri daha uzun zincirlere ve dolayısıyla daha iyi uzama özelliklerine sahipken, dallanmış zincirlere sahip amilopektin filmleri düzgün zincir-zincir etkileşimini desteklemez ve dolayısıyla uzama özelliğini azaltır (Bader vd., 1994).

Film formülasyonlarında yapılan değişikliklerin film özellikleri üzerine etkileri 3 boyutlu grafikler ile Şekil 8’de gösterilmiştir. Çizelge 5, Çizelge 6 ve Şekil 8 incelendiğinde filmlerin çekme dayanımı nişasta miktarı ile pozitif ilişkili olduğu ve gliserol miktarının negatif ilişkili olduğu görülmektedir ($p<0,001$). Diğer bir deyişle gliserol miktarı arttıkça filmlerin çekme dayanımı azalmaktadır. Kopma anındaki maksimum uzama (%) verileri incelendiğinde nişasta miktarı arttıkça anlamlı şekilde azalma ($p<0,001$); bunun yanı sıra nişasta miktarı sabitken gliserol miktarı arttığında ise kopma anındaki maksimum uzama (%) anlamlı şekilde artmaktadır ($p<0,001$).

Plastikleştiriciler, nişasta molekülleriyle etkileşime giren ve malzemeyi esnek hale getiren bileşenlerdir. Plastikleştiriciler ile çekme mukavemeti azalır ancak uzama özellikleri artar (Jansson, A. vd. 2005). Bu nedenle, artan gliserol miktarı daha düşük çekme mukavemeti ve yüksek uzama değerlerine yol açmıştır. Optimum miktar aşılsa, plastikleştiriciler yüzeyde bükür ve filmin mekanik mukavemetini azaltır (Jansson, A. vd., 2005). Gliserol, bir plastikleştirici olarak zincirler arasındaki polimer etkileşimlerini azalttığı için, gerilme özelliklerinde de bir azalma gözlemlenmiştir (Santacruz vd., 2015; [Sreedhar vd., 2005](#)).

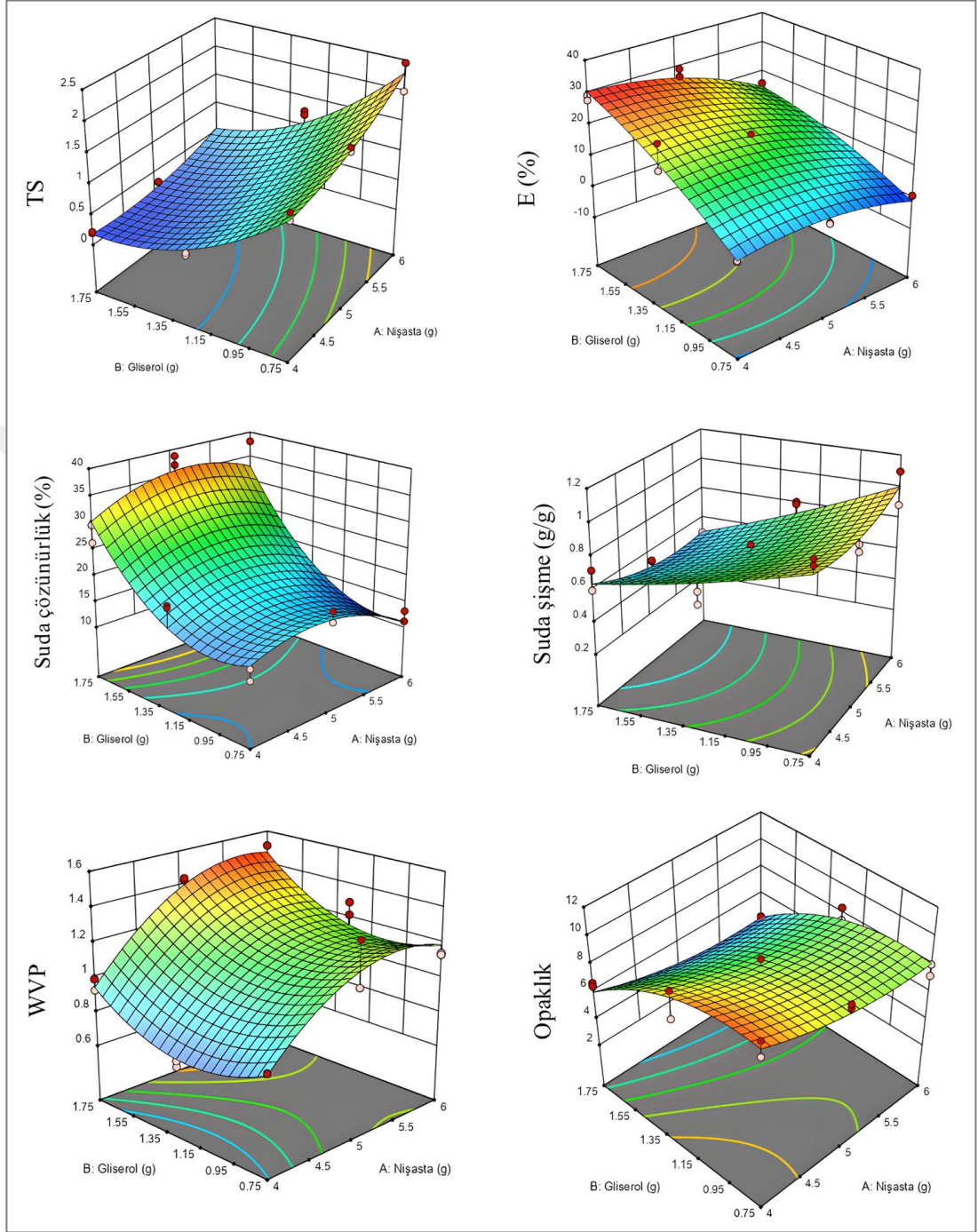
Hazrati vd. (2021), plastikleştiricilerin konsantrasyonunun %0'dan %60'a çıkarılmasıyla *Dioscorea hispida* nişasta filminin çekme mukavemetinin azaldığını, buna karşın kopma uzamasının gliserol ile plastikleştirilmiş filmler için %7,38-11,54, sorbitol plastikleştirilmiş filmler için %10,17-15,76 ve sorbitol-gliserol plastikleştirilmiş filmler için %14,41-16,10 arasında değiştiğini gözlemlemiştir.

b. Suda Çözünürlük

Suda çözünürlük analizi filmlerin biyobozunurluk ve suya karşı dayanım özellikleri hakkında bilgi sağladığı için büyük önem taşır (Haghighatpanah vd., 2022). [Suda çözünürlük, polisakkarit](#) filmlerin suya duyarlılığı hakkında bilgi veren önemli bir karakteristiktir ve film bütünlüğünün bir ölçüm göstergesidir ([Atef vd., 2014](#)). Çizelge 5'de görüldüğü gibi üretilen filmlerin çözünürlüğü %12,13 $\pm$ 1,45 ile %37,86 $\pm$ 1,21 arasında değişmektedir.

Şekil 8'deki 3 boyutlu yüzey grafikleri, iki bağımsız değişkenin çözünürlük özelliğini nasıl etkilediğini göstermektedir. Artan nişasta miktarı belli bir seviyeye kadar çözünürlüğü arttırırken pik noktasından sonra düşüşe neden olmuştur. Ancak Çizelge 6'daki verilere göre nişasta konsantrasyonunun filmlerin çözünürlüğü üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Artan gliserol konsantrasyonları ise tüm nişasta konsantrasyonları için filmlerin çözünürlüklerini arttırmıştır ($p < 0,001$). Filmlere suda çözünen dolgu maddesinin eklenmesi filmin çözünürlük değerinin artmasına yol açabilir (Gimenez, vd., 2013). Plastikleştiriciler hidrofilik özellikleri ile filmlerin suda çözünürlüğünü olumlu yönde etkiler (Cuq, Gontard, Cuq ve Guilbert, 1997). Önceki araştırmalar, nişasta ağının plastikleştiriciler ve su molekülleri arasında oluşan hidrojen bağları

tarafından etkilenebileceğini ve bu durumun çözünürlüğü artırabileceğini öne sürmüştür (Maran, vd., 2013; Saberi vd., 2016).



Şekil 8. Üç Boyutlu Yüzey Grafikleri

c. Suda Şişme

Filmlerin suda şişmesi suya karşı dayanımlarını gösteren bir diğer özelliktir. Özellikle yüksek nemli gıdaların paketlenmesi sırasında suda şişme özelliği dikkat edilmesi gereken bir özelliktir. Ayrıca kontrollü salım çalışmalarında

gelişmiş suda şişme özelliği istenmektedir. Bu nedenle, optimizasyon parametreleri belirlenirken suda şişme özelliği deney setinde bulunan aralıkta kalacak şekilde çalışma gerçekleştirilmiştir.

Filmlerin suda şişme değerleri $0,45 \pm 0,08$ ile $1,00 \pm 0,03$ g su/g film arasında değişmektedir. Çizelge 6 ve Şekil 8'e göre nişasta konsantrasyonunun filmlerin şişme özelliği üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Gliserol miktarı ile suda şişme özelliği arasında negatif anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. Gliserol miktarı arttıkça filmlerin suda şişme değerleri azalmaktadır. Plastikleştirici moleküllerin film matrisine dahil edilmesi, su ile karşılaştığında su moleküllerini emmek için yeterli alanın kalmamasını sağlamıştır ve böylece gliserol miktarının artmasının şişmeyi azaltabileceği düşünülmektedir (Tabatabaei vd., 2022).

d. Su Buharı Geçirgenliği

Su buharı geçirgenliği katsayısı (WVP), hazırlanan filmin su buharına karşı bariyer özelliklerini yansıtmaktadır. Düşük bir WVP, gıda ambalajı geliştiricisi için arzu edilen bir hedeftir. Yenilebilir filmlerin amaçlarından biri, gıda ile gıdayı çevreleyen atmosfer arasındaki nem transferini kontrol etmektir. Bu nedenle, su buharı geçirgenliğinin düşük olması istenmektedir (Flores, S vd., 2007; Martins, J. T., vd., 2012).

Yenilebilir filmlerin su buharı geçirgenliği, filmin bütünlüğü, kalınlığı, gliserol içeriği, hidrofilik-hidrofobik oranı ve polimer zincirlerinin hareketliliği gibi çeşitli faktörlere ve dolayısıyla nişasta kaynağına bağlıdır (Alves vd., 2007; Pushpadass vd., 2008; Soliman E. A. vd., 2014). Bu nedenle film formülasyonlarında kullanımı yeni olan avokado çekirdeği nişastası ile yapılan filmlerin optimizasyon parametrelerinden biri WVP düşük olacak şekilde film formülasyonu bulmak olarak belirlenmiştir.

Film örneklerinin su buharı geçirgenliği Çizelge 5'de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre film örneklerinin su buharı geçirgenliği $0,69 \pm 0,02$ ile $1,43 \pm 0,01$ gmm/m²hkPa arasında değiştiği görülmektedir. Çizelge 6 ve Şekil 8 incelendiğinde filmlerin su buharı geçirgenliğinin nişasta ve gliserol konsantrasyonları ile pozitif ilişkili olduğu görülmektedir. Farklı bir ifade ile nişasta miktarı ve gliserol miktarının artması filmlerin su buharı geçirgenliğinin

artmasına ve su bariyer özelliğinin azalmasına neden olmaktadır. Benzer şekilde Mali vd. (2004) yam nişastası miktarının artmasıyla su buharı geçirgenliğinde artış rapor etmişlerdir. Bu sonuç, fazla miktarda kullanılan nişastanın film matriksindeki serbest hidroksil sayısında artışa neden olarak suyla etkileşimi arttırması ve su buharı geçirgenliğini arttırıcı etki yapması şeklinde açıklanmıştır. Gliserol, nişasta zincirleri arasındaki mesafeyi artırarak filmlerin su buharı geçirgenliğinin yükselmesine neden olabilmektedir (Yıldırım-Yalçın vd., 2021b).

e. Opaklık

Filmlerin opaklık değerleri Çizelge 5’de verilmiştir. Filmlerin opaklığı $3,83 \pm 0,12$ ile $10,44 \pm 0,77$ arasında değişmektedir. Filmlerin opaklık değerleri geniş bir aralıkta değişmemektedir ve dayanım özellikleri açısından kritik değildir. Bu nedenle, optimum nokta belirlenirken opaklık değeri elde edilen sonuçlar aralığında olacak şekilde seçilmiştir. Çizelge 6’daki değerler ve Şekil 8 incelendiğinde; nişasta ve gliserol miktarının artması filmlerin opaklığında anlamlı bir azalmaya neden olmuştur ($p < 0.05$).

f. Optimizasyon ve Validasyon

Çoklu tepkiler için eş zamanlı optimizasyon analizi nümerik olarak ‘Desirability’ fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon koşulları maksimum kopma mukavemeti ve kopma anındaki maksimum uzama, minimum suda çözünürlük ve su buharı geçirgenliği ve aralıkta suda şişme ve opaklık sonuçlarını elde edecek şekilde yapılmıştır. Optimum nokta 4 g avokado çekirdeği nişastası ve 1 g gliserol içeriği olacak şekilde, 0,56 desirability değeri ile belirlenmiştir. Optimum noktada doğrulama çalışması gerçekleştirilerek bu formülasyona uygun film üretilmiş ve deney tasarımında yapılan tüm analizler optimum formülasyondaki film için de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel veriler ve programın verdiği tahmini veriler Çizelge 7’de verilmiştir. Ayrıca, Optimum noktadaki formülasyonda üretilen filmin nem değeri $\%26,73 \pm 0,78$; yoğunluk değeri $1,19 \pm 0,06 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Yapılan t testi sonucu, tahmini değerler ile deneysel değerler arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir ($p > 0,05$). Bu durumda tahmin edilen model parametrelerinin deneysel çalışma ile doğrulandığı söylenebilir.

Çizelge 7. Elde Edilen Tahmini Değerler ve Optimum Formülasyondaki Deneysel Değerler.

Yanıtlar	Tahmini değer (ortalama)	Deneysel değer (ortalama $\pm$ standart sapma)
TS (N/mm ²)	0,85	0,56 $\pm$ 0,04
E (%)	12,18	15,00 $\pm$ 2,12
Suda çözünürlük (%)	13,52	14,32 $\pm$ 3,18
Suda şişme (g/g)	0,85	0,84 $\pm$ 0,02
WVP (gmm/m ² h kPa)	0,73	0,71 $\pm$ 0,01
Opaklık	10,42	8,56 $\pm$ 0,31

i. Mavi Kelebek Sarmaşığı Ekstraktı İçeren Filmin Özellikleri

Optimizasyon çalışması sonrasında elde edilen formülasyonda üretilen filmin aktif ve akıllı ambalaj üretim potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla filme mavi kelebek sarmaşığı ekstraktı ilave edilmiştir. Optimum noktada üretilen filmlerin görselleri Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Optimum noktada üretilen filmlerin görseli

Mavi kelebek sarmaşığı ekstraktı içeren filmlere ait özelliklerin bulguları Çizelge 8’de verilmiştir. Optimum film ile ekstrakt içeren optimum film sonuçları istatistiksel olarak varyans analizi ile karşılaştırılmıştır. Ekstrakt ilavesinin kopma mukavemetinde anlamlı azalışa ve kopma anındaki maksimum uzama, nem, suda çözünürlük ve suda şişme değerlerinde anlamlı artışa neden olduğu bulunmuştur ($p < 0,05$). Su buharı geçirgenliği, yoğunluk ve opaklık sonuçları üzerinde anlamlı bir etki görülmemiştir. Polimer filmlere çapraz bağlama ajanları

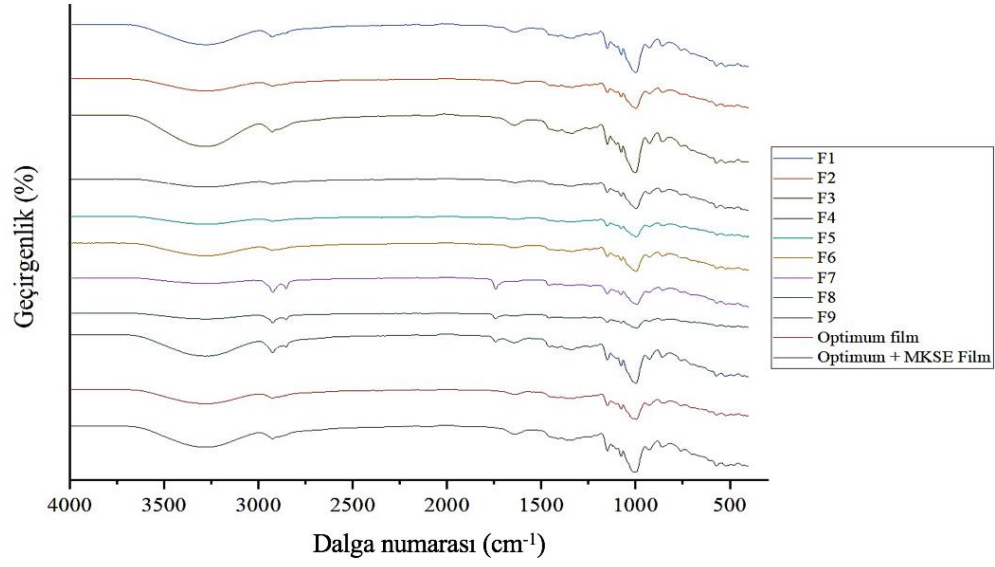
dışında eklenen maddeler polimer zincirleri arasındaki moleküler etkileşimleri azaltarak genellikle filmlerin çekme mukavemetini azaltıcı etki yapmaktadır (Kanmani & Rhim, 2014). Ayrıca ekstraktlar film matriksinde plastikleştirici gibi davranarak zincir hareketliliğini arttırabilir ve çekme uzamasını arttırıcı etki yapabilirler (Bodini vd., 2020). Üzüm çekirdeği ekstraktının ararot nişastasına filme eklendiği bir çalışmada, ilave edilen ekstraktın filmin suda çözünürlüğünü arttırdığı bulunmuştur. Bu durum, suda çözünen ekstraktın filmin çözünen bileşenini arttırmasına ve ekstraktların filmde plastikleştirici görevi yapmasına bağlanmıştır (Nogueira vd., 2022).

Çizelge 8. Mavi Kelebek Sarmaşığı Ekstraktı İçeren Filmin Özellikleri

Film Özelliği	Bulgular
TS (N/mm ²)	0,39 ± 0,00
E (%)	29,63 ± 0,53
Suda çözünürlük (%)	19,70 ± 0,19
Suda şişme (g/g)	1,05 ± 0,10
WVP (gmm/m ² h kPa)	0,71 ± 0,09
Opaklık	9,30 ± 0,56
Nem (%)	31,80 ± 0,42
Yoğunluk (g/cm ³)	1,08 ± 0,05

ii. Filmlerin FT-IR Spektrumları

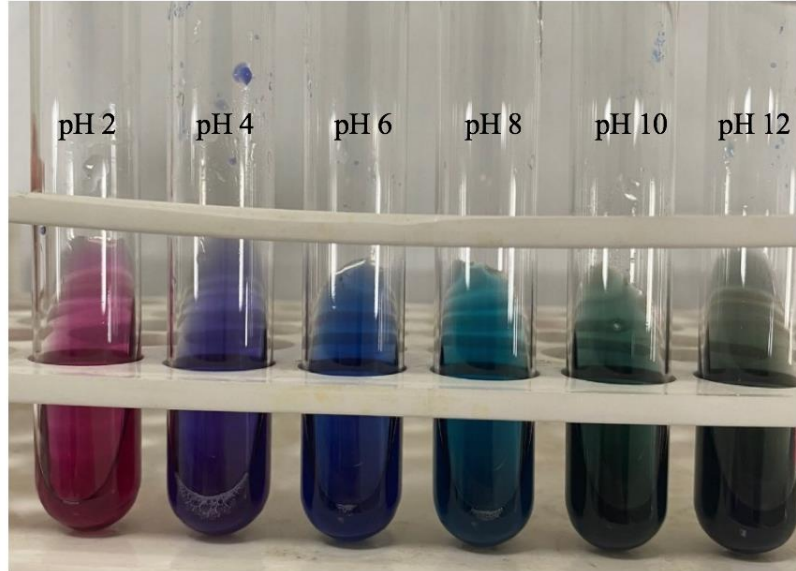
Tüm filmlere ait FT-IR spektrumları Şekil 10’da gösterilmiştir. Şekil 10’a göre nişasta moleküllerinin hidroksil grubunun moleküller arası ve molekül içi bağlarıyla bağlantılı –OH grubunun gerilme titreşimine karşılık gelen 3000–3500 cm⁻¹’de bir absorpsiyon bandı görülmektedir. Filmlerin 2850–2920 cm⁻¹’deki absorpsiyon bandı, gliserolün C–H ve C–H₂ bağlarının gerilme titreşimlerine karşılık gemektedir (Shanbhag et al., 2023). Bunun dışında üretilen filmlerin spektrumlarının, Şekil 7’de avokado çekirdeği nişasta için elde edilen spektruma benzer şekilde elde edildiği görülmektedir.



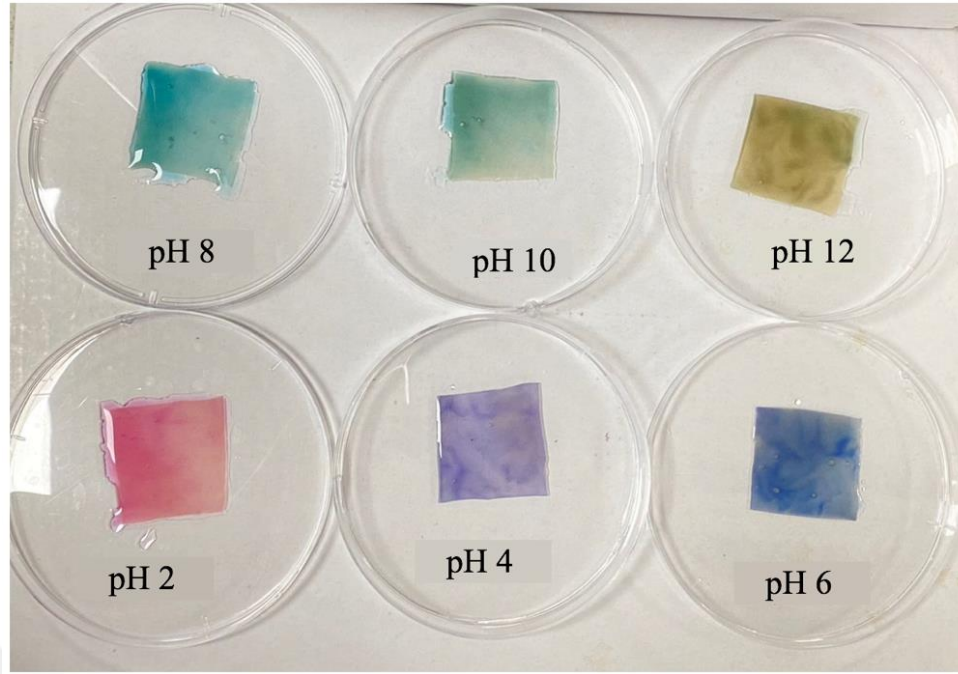
Şekil 10. Filmlerinin FT-IR spektrumları.

iii. Mavi kelebek Sarmaşığı Ekstraktı İçeren Filmin pH Duyarlılığı

Mavi kelebek sarmaşığı ekstraktı ve bu ekstrakt kullanılarak üretilen filmlerin farklı pH'larda renk değişimi Şekil 11 ve Şekil 12 'de gösterilmiştir. Çeşitli pH değerlerinde ekstraktlarda belirgin renk değişiklikleri olmuştur: pH 2'de fuşya pembe, pH 4'de mor, pH 6'da saks mavi, pH 8'de petrol mavisi, pH 10'da petrol yeşili ve pH 12'de jungle yeşili olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 11. Mavi Kelebek Sarmaşığı Ekstraktının Farklı pH lardaki Rengi



Şekil 12. Mavi Kelebek Sarmaşığı İlaveli Avokado Çekirdeğı Nişastası Filmin Farklı pH lardaki Rengi

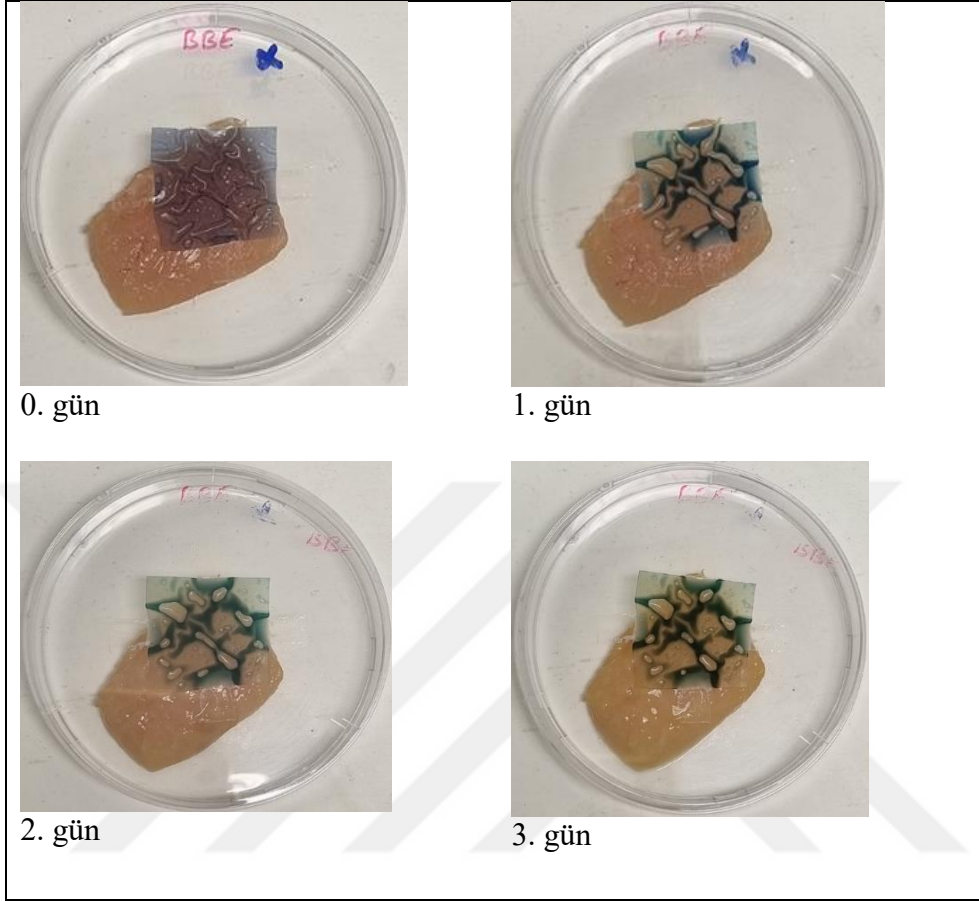
Şekil 12’de avokado çekirdeğı nişastası ile üretilen filmlere Mavi Kelebek Sarmaşığı ekstraktı ilavesi ile filmlerin pH değişimine bağılı olarak belirgin bir renk değişimi oluşturduğu görülmektedir. Bu da filmlerin pH'a duyarlı bir renk göstergesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

iv. Mavi Kelebek Sarmaşığı Ekstraktı İçeren Filmlerin Tavuk Göğüs Etleri Ambalajında Kullanımı

Mavi kelebek sarmaşığı ekstraktı içeren filmlerin tavuk göğüs etlerinin bozulmasını sırasındaki renk değişimleri Şekil 13’de verilmiştir. Görüldüğü gibi filmler sahip oldukları mavi rengi zamanla kaybetmiş ve yeşil renk olmuştur.

Depolama süresince oksidasyon ve mikrobiyolojik değişikliklere karşı hassas oldukları için, özellikle kanatlı eti ve ürünlerinin korunmasında kaplama yöntemleri üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır (Nisa vd., 2015). Depolama süresinin başlangıcında, belirli [bozulma mikroorganizmaları](#) düşük miktarlarda bulunur. Depolama süresi arttıkça, bunlar genellikle hızla büyür ve kötü koku, kötü tat, renk ve doku değişikliklerinden sorumlu çeşitli metabolitler üretir ve sonunda duyuşal redde neden olur. Et ve deniz ürünlerindeki bozulma esas olarak proteinlerin mikroorganizmalar ve enzimlerin etkisiyle parçalanmasından kaynaklanmaktadır. Protein bozulması, ambalajın içindeki pH'ı artıran amonyak

ve aminler gibi uçucu nitrojenli bileşiklerin oluşumuna yol açar (Bouaziz vd., 2015; [Byrne, Lau ve Diamond, 2002](#)).



Şekil 13. Tavuk Göğüs Filetosunun oda koşullarında 3 gün depolanması sırasında ambalajdaki filmin renk değişimi.

Taze paketlenmiş tavuk göğsü örneklerinde depolama süresince TMAB sayısı ve pH değişimleri Çizelge 9’da verilmiştir. TMAB sayıları depolamanın 0., 1., 2., 3., günler için sırasıyla $3,27 \pm 0,19$; $7,07 \pm 0,03$; $9,36 \pm 0,04$ ve $9,75 \pm 0,28$ $\log_{10}$ KOB/g olarak bulunmuştur. Depolama süresi uzadıkça mikroorganizma sayısı da artmıştır. Kanatlı ürünlerde TMAB sayısı için kabul edilen limit Senter, Arnold ve Chew (2000) tarafından 7-8 log CFU/g olarak rapor edilmiştir. Depolanan tavuk etlerinin TMAB sayısı 1. günde kritik değere ulaşmıştır. pH değişimleri incelendiğinde depolama süresi arttıkça pH’ın arttığı görülmektedir. Şekil 12’de görüldüğü gibi pH değişimine bağlı olarak filmlerde mavi renkten petrol mavisi renge ve son gün yeşil renge değişim olmuştur. Tavuk göğüs eti örneklerinin mikrobiyolojik açıdan uygunsuz duruma geçişi ambalaj içerisine konan mavi kelebek sarmaşığı ekstraktı içeren avokado çekirdeği nişastası filmin renginin maviden yeşile geçişi ile tespit edilebilmiştir.

Çizelge 9. Tavuk etlerinin bozulması sırasında pH ve TMAB Sayısı

Depolama süresi (Gün)	pH	TMAB sayısı (log ₁₀ KOB/g)
0	5,65 ± 0,01 ^d	3,27 ± 0,19 ^c
1	6,11 ± 0,01 ^c	7,07 ± 0,03 ^b
2	6,96 ± 0,01 ^b	9,36 ± 0,04 ^a
3	7,19 ± 0,01 ^a	9,75 ± 0,28 ^a

V.SONUÇ

Dünya çapında ambalaj endüstrisine bakıldığında hem petrokimyasal kaynakların kullanım oranlarını düşürmek, hem de biyolojik olarak parçalanabilme yeteneğine sahip ambalaj malzemeleri ile yenilenebilir ve doğa dostu ürünler üretmek konularında yeni çözümler aranmaktadır. Bu çalışmada, dünyada tüketimi gittikçe artan avokado meyvesinin atık olan çekirdeğinden elde edilen nişasta bazlı yenilebilir film üretilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla ambalaj filmi üretilmesi için elde edilen nişasta ve plastikleştirici olarak gliserol farklı oranlarda kullanılarak tam faktöriyel deney tasarımı planlanmıştır. Bağımsız değişken olarak seçilen film bileşen miktarlarının, filmlerin fiziksel, mekanik ve bariyer özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bağımsız değişkenlerin seçilen bağımlı değişkenlere etkileri yüzey yanıt metodolojisi analizi gerçekleştirilerek 3 boyutlu yüzey tepki grafikleri ile belirlenmiştir. Optimizasyon çalışması sonucunda 100 ml çözeltide 4 g avokado çekirdeği nişastası ve 1 g gliserol içeren formülasyondaki filmin en yüksek çekme dayanımı ve kopma uzaması ve en düşük su buharı geçirgenliği ve suda çözünürlük özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir. Filmlerdeki nişasta miktarı ile çekme dayanımı ve su buharı geçirgenliği arasında pozitif ilişki olduğu bulunmuştur. Ayrıca gliserol miktarının çekme dayanımı ve suda şişme üzerine negatif, suda çözünürlük ve su buharı geçirgenliğine üzerine pozitif etkilerinin olduğu görülmüştür.

Optimum noktadaki formülasyonda doğrulama için üretilen filmin nem değeri $26,73 \pm 0,78$; yoğunluk değeri $1,19 \pm 0,06 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Ayrıca çekme dayanımı $0,56 \pm 0,04 \text{ N/mm}^2$, kopma uzaması $15,00 \pm 2,12$, suda çözünürlük $14,32 \pm 3,18$, suda şişme $0,84 \pm 0,02 \text{ g/g}$, su buharı geçirgenliği katsayısı $0,71 \pm 0,01 \text{ gmm/m}^2\text{hkPa}$, ve opaklık $8,56 \pm 0,31$ olarak belirlenmiştir. Elde edilen tahmini değerlerin aynı formülasyon ile oluşturulan doğrulama deneylerinde elde edilen değerler ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Üretilen optimum formülasyondaki filmin uygulaması, filme biyoaktif içeriği yüksek ve pH farklılıklarında renk değiştirebilme özelliğinden dolayı akıllı

ambalaj olarak kullanılmak üzere Mavi Kelebek Sarmaşığı ekstraktı eklenerek yeni bir film yapılmıştır. Oluşturulan yeni filmin fiziksel, mekanik ve bariyer özellikleri ölçülmüş ve optimum film ile karşılaştırılmıştır. Optimum filme göre, ekstrakt ilavesinin kopma mukavemetinde anlamlı azalışa ve kopma anındaki maksimum uzama, nem, suda çözünürlük ve suda şişme değerlerinde anlamlı artışa neden olduğu bulunmuştur. Su buharı geçirgenliği, yoğunluk ve opaklık sonuçları üzerinde anlamlı bir etki görülmemiştir.

Ayrıca Mavi Kelebek Sarmaşığı ekstraktı ilaveli film ile akıllı ambalaj olarak kullanılmak üzere tavuk göğüs etlerinin paketlenmesi üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Tavuk göğüs etlerini içiren paketler içerisine filmler eklenerek 3 gün oda sıcaklığında depolama sırasında Toplam Aerobik Mezofilik Bakteri sayısı ve pH değişimi belirlenerek filmlerdeki renk değişimleri gözlenmiştir. Sonuçlar, bu filmlerin tavuk göğüs filetosundaki toplam aerobik mezofilik sayılarının artışına bağlı olarak fark edilebilir bir renk değişimi gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle bu tür filmler tavuk etlerini depolama sırasında bozulma indikatörü olarak kullanılarak etlerin depolama ve dağıtım sırasındaki değişiklikleri izlemek için akıllı ambalaj olarak uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

VI. KAYNAKÇA

KİTAPLAR

ASTM, **Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials**
E96/E96M-15 (ASTM, Philadelphia, 2015)

ASTM, **Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting**
ASTM D882-12 (ASTM, Philadelphia, 2012)

STEFANI, R., VINHAL, G. L., DO NASCIMENTO, D. V., PEREIRA, M. C. S.,
PERTUZATTI, P. B., & DA SILVA CHAVES, K. (2016). **Smart
biopolymers in food industry. Industrial applications for
intelligent polymers and coatings**, 253-269.

MAKALELER

AGARWAL, S. (2021). Major factors affecting the characteristics of starch based
biopolymer films. **European Polymer Journal**, 160, 110788.

ALVES, V. D., MALI, S., BELEIA, A., & GROSSMANN, M. V. E. (2007).
Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film
properties. **Journal of Food Engineering**, 78(3), 941-946.

ALIZADEH, Z., YOUSEFI, S., & AHARI, H. (2019). Optimization of bioactive
preservative coatings of starch nanocrystal and ultrasonic extract of
sour lemon peel on chicken fillets. **International journal of food
microbiology**, 300, 31-42.

AMJADI, S., EMAMINIA, S., DAVUDIAN, S. H., POURMOHAMMAD, S.,
HAMISHEHKAR, H., & ROUFEGARINEJAD, L. (2019).
Preparation and characterization of gelatin-based nanocomposite
containing chitosan nanofiber and ZnO nanoparticles. **Carbohydrate
Polymers**, 216, 376-384.

- ARAUJO-FARRO, P. C., PODADERA, G., SOBRAL, P. J., & MENEGALLI, F. C. (2010). Development of films based on quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willdenow) starch. **Carbohydrate Polymers**, 81(4), 839-848.
- ARAÚJO, R. G., RODRIGUEZ-JASSO, R. M., RUIZ, H. A., PINTADO, M. M. E., & AGUILAR, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. **Trends in Food Science & Technology**, 80, 51-60.
- ARAÚJO, R. G., RODRÍGUEZ-JASSO, R. M., RUIZ, H. A., GOVEA-SALAS, M., ROSAS-FLORES, W., AGUILAR-GONZÁLEZ, M. A., ... & AGUILAR, C. N. (2020). Hydrothermal–microwave processing for starch extraction from Mexican avocado seeds: operational conditions and characterization. **Processes**, 8(7), 759.
- ATEF, M., REZAEI, M., & BEHROOZ, R. (2014). Preparation and characterization agar-based nanocomposite film reinforced by nanocrystalline cellulose. **International journal of biological macromolecules**, 70, 537-544.
- BADER, H. G., & GÖRITZ, D. (1994). Investigations on high amylose corn starch films. Part 3: stress strain behaviour. **Starch-Stärke**, 46(11), 435-439.
- BANGAR, S. P., DUNNO, K., DHULL, S. B., SIROHA, A. K., CHANGAN, S., MAQSOOD, S., & RUSU, A. V. (2022). Avocado seed discoveries: Chemical composition, biological properties, and industrial food applications. **Food Chemistry: X**, 16, 100507.
- BARBOSA-MARTIN, E., CHEL-GUERRERO, L., GONZALEZ-MONDRAGON, E., & BETANCUR-ANCONA, D. (2016). Chemical and technological properties of avocado (*Persea americana* Mill.) seed fibrous residues. **Food and Bioproducts processing**, 100, 457-463.
- BASIÁK, E., LENART, A., & DEBEAUFORT, F. (2017). Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. **International journal of biological macromolecules**, 98, 348-356.

- BAYRAM, B., OZKAN G., KOSTKA, T., CAPANOGLU, E., & ESATBEYOGLU, T. (2021). Valorization and application of fruit and vegetable wastes and by-products for food packaging materials. **Molecules**, 26(13), 4031.
- BIRANIA, S., KUMAR, S., KUMAR, N., ATTKAN, A. K., PANGHAL, A., ROHILLA, P., & KUMAR, R. (2022). Advances in development of biodegradable food packaging material from agricultural and agro-industry waste. **Journal of Food Process Engineering**, 45(1), e13930.
- BODINI, R. B., PUGINE, S. M. P., DE MELO, M. P., & DE CARVALHO, R. A. (2020). Antioxidant and anti-inflammatory properties of orally disintegrating films based on starch and hydroxypropyl methylcellulose incorporated with Cordia verbenacea (erva baleeira) extract. **International Journal of Biological Macromolecules**, 159, 714-724.
- BOUAZIZ, F., HELBERT, C. B., ROMDHANE, M. B., KOUBAA, M., BHIRI, F., KALLEL, F., ... & CHAABOUNI, S. E. (2015). Structural data and biological properties of almond gum oligosaccharide: Application to beef meat preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, 72, 472-479.
- BOZKURT, S., ALTAY, ÖZGÜL, KOÇ, M., & ERTEKİN, F. K. (2023). Edible Films and Coatings in Food Systems. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, 11(1), 1–9.
- BRENNAN, L., LANGLEY, S., VERGHESE, K., LOCKREY, S., RYDER, M., FRANCIS, C., ... & HILL, A. (2021). The role of packaging in fighting food waste: A systematised review of consumer perceptions of packaging. **Journal of Cleaner Production**, 281, 125276.
- BYRNE, L., LAU, K. T., & DIAMOND, D. (2002). Monitoring of headspace total volatile basic nitrogen from selected fish species using reflectance spectroscopic measurements of pH sensitive films. **Analyst**, 127(10), 1338-1341.

- CAMPBELL, S.M., PEARSON, B. & MARBLE, S.C. (2019). Butterfly pea (Clitoria ternatea) flower extract (BPFE) and Its use as a pH-Dependent natural colorant:(ENH-1309/EP573, 4/2019). **EDIS**, 2019(2).
- CHAVAN, P., LATA, K., KAUR, T., JAMBRAK, A. R., SHARMA, S., ROY, S., ... & ROUT, A. (2023). Recent advances in the preservation of postharvest fruits using edible films and coatings: A comprehensive review. **Food chemistry**, 418, 135916.
- CHAWLA, R., SIVAKUMAR, S., & KAUR, H. (2021). Antimicrobial edible films in food packaging: Current scenario and recent nanotechnological advancements-a review. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, 2, 100024.
- CHHIKARA, S., & KUMAR, D. (2022). Edible coating and edible film as food packaging material: A review. **Journal of Packaging Technology and Research**, 6(1), 1-10.
- CHILLO, S., FLORES, S., MASTROMATTEO, M., CONTE, A., GERSCHENSON, L., & DEL NOBILE, M. A. (2008). Influence of glycerol and chitosan on tapioca starch-based edible film properties. **Journal of Food Engineering**, 88(2), 159-168.
- CORREA, V., VALLENCILLA, L. E., CÁRDENAS, K., & GUANCHA, M. (2019). Memorias, V. S. de materiales poliméricos, Biopolímeros. **Informador Técnico**, 83(2), 120-123.
- CUQ, B., GONTARD, N., CUQ, J. L., & GUILBERT, S. (1997). Selected functional properties of fish myofibrillar protein-based films as affected by hydrophilic plasticizers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 45(3), 622-626.
- DAI, L., ZHANG, J., & CHENG, F. (2020). Cross-linked starch-based edible coating reinforced by starch nanocrystals and its preservation effect on graded Huangguan pears. **Food Chemistry**, 311, 125891.

- DAVIS, G., & SONG, J. H. (2006). Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. **Industrial crops and products**, 23(2), 147-161.
- DEMIRCAN, B., & VELIOĞLU, Y. S. (2021). Avokado: Bileşimi ve Sağlık Üzerine Etkileri. **Akademik Gıda**, 19(3), 309-324.
- DE LA CRUZ, J. E. C., & RAMIREZ, O. J. V. (2020, September). Convolutional neural networks for the Hass avocado classification using LabVIEW in an agro-industrial plant. In **2020 IEEE XXVII International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)** (pp. 1-4). IEEE.
- DÍAZ-MONTES, E., & CASTRO-MUÑOZ, R. (2021). Edible films and coatings as food-quality preservers: An overview. **Foods**, 10(2), 249.
- DILKES-HOFFMAN, L. S., LANE, J. L., GRANT, T., PRATT, S., LANT, P. A., & LAYCOCK, B. (2018). Environmental impact of biodegradable food packaging when considering food waste. **Journal of Cleaner Production**, 180, 325-334.
- DINIKA, I., VERMA, DK, BALIA, R., UTAMA, GL VE PATEL, AR (2020). Antimikrobiyal yenilebilir film kompozitinin geliştirilmesinde peynir altı suyu biyoaktif proteinlerinin ve peptitlerinin potansiyeli: Son trendlerin bir incelemesi. **Trends in Food Science & Technology**, 103, 57-67.
- DOMENE-LÓPEZ, D., GARCÍA-QUESADA, J. C., MARTIN-GULLON, I., & MONTALBÁN, M. G. (2019). Influence of starch composition and molecular weight on physicochemical properties of biodegradable films. **Polymers**, 11(7), 1084.
- DOS SANTOS, D. M., ASCHERI, D. P. R., DE LACERDA BUKZEM, A., MORAIS, C. C., CARVALHO, C. W. P., & ASCHERI, J. L. R. (2016). Physicochemical properties of starch from avocado seed (Persea Americana Mill). **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimento**, 34, 1-12.

- EZATI, P., TAJIK, H., MORADI, M., & MOLAEI, R. (2019). Intelligent pH-sensitive indicator based on starch-cellulose and alizarin dye to track freshness of rainbow trout fillet. **International journal of biological macromolecules**, 132, 157-165.
- FALGUERA, V., QUINTERO, J. P., JIMÉNEZ, A., MUÑOZ, J. A., & IBARZ, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. **Trends in Food Science & Technology**, 22(6), 292-303
- FLORES, S., FAMÁ, L., ROJAS, A. M., GOYANES, S., & GERSCHENSON, L. (2007). Physical properties of tapioca-starch edible films: Influence of filmmaking and potassium sorbate. **Food Research International**, 40(2), 257-265.
- GIMÉNEZ, B., DE LACEY, A. L., PÉREZ-SANTÍN, E., LÓPEZ-CABALLERO, M. E., & MONTERO, P. (2013). Release of active compounds from agar and agar-gelatin films with green tea extract. **Food Hydrocolloids**, 30(1), 264-271.
- GINTING, M. H. S., TARIGAN, F. R., & SINGGIH, A. M. (2015). Effect of gelatinization temperature and chitosan on mechanical properties of bioplastics from avocado seed starch (*Persea americana* Mill) with plasticizer glycerol. **International Journal of Engineering Science**, 4(12), 36-43.
- GINTING, M. H. S., HASIBUAN, R., LUBIS, M., ALANJANI, F., WINOTO, F. A., & SIREGAR, R. C. (2018, February). Supply of avocado starch (*Persea americana* mill) as bioplastic material. In **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering** (Vol. 309, p. 012098). IOP Publishing.
- DE GRAAF, R. A., KARMAN, A. P., & JANSSEN, L. P. (2003). Material properties and glass transition temperatures of different thermoplastic starches after extrusion processing. **Starch-Stärke**, 55(2), 80-86.
- GUPTA, P., TOKSHA, B., & RAHAMAN, M. (2022). A review on biodegradable packaging films from vegetative and food waste. **The Chemical Record**, 22(7), e202100326.

- GUTIÉRREZ-CONTRERAS, M., LARA-CHÁVEZ, M. B. N., GUILLÉN-ANDRADE, H., & CHÁVEZ-BÁRCENAS, A. T. (2010). Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. **Interciencia**, 35(9), 647-653.
- HAZRATI, K. Z., SAPUAN, S. M., ZUHRI, M. Y. M., & JUMAIDIN, R. (2021). Effect of plasticizers on physical, thermal, and tensile properties of thermoplastic films based on Dioscorea hispida starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, 185, 219-228.
- HASSAN, B., CHATHA, S. A. S., HUSSAIN, A. I., ZIA, K. M., & AKHTAR, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. **International journal of biological macromolecules**, 109, 1095-1107.
- HERNÁNDEZ-JOVER, T., IZQUIERDO-PULIDO, M., VECIANA-NOGUÉS, M. T., & VIDAL-CAROU, M. C. (1996). Biogenic amine sources in cooked cured shoulder pork. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 44(10), 3097-3101.
- SOGUT, E., & SEYDIM, A. C. (2018). The effects of Chitosan and grape seed extract-based edible films on the quality of vacuum packaged chicken breast fillets. **Food Packaging and Shelf Life**, 18, 13-20.
- JANSSON, A., & JÄRNSTRÖM, L. (2005). Barrier and mechanical properties of modified starches. **Cellulose**, 12, 423-433.
- JEYARAJ, E. J., LIM, Y. Y., & CHOO, W. S. (2021). Extraction methods of butterfly pea (*Clitoria ternatea*) flower and biological activities of its phytochemicals. **Journal of food science and technology**, 58(6), 2054-2067.
- KALPANA, S., PRIYADARSHINI, S. R., LEENA, M. M., MOSES, J. A., & ANANDHARAMAKRISHNAN, C. (2019). Intelligent packaging: Trends and applications in food systems. **Trends in Food Science & Technology**, 93, 145-157.
- KANMANI, P., & RHIM, J. W. (2014). Development and characterization of carrageenan/grapefruit seed extract composite films for active

packaging. **International journal of biological macromolecules**, 68, 258-266.

KARAKUŞ, E., & AYHAN, Z. (2019). Gıda Atıklarından Çevre Dostu Biyobozunur Ambalaj Malzemesi Üretimi. **Gıda**, 44(6), 1008-1019.

KATHULA, D. N. (2021). Avocado Varieties and Export Markets for Sustainable Agriculture and Afforestation in Kenya. **Journal of Agriculture**, 5(1), 1–26.

KOCH, K., GILLGREN, T., STADING, M., & ANDERSSON, R. (2010). Mechanical and structural properties of solution-cast high-amylose maize starch films. **International Journal of Biological Macromolecules**, 46(1), 13-19.

KUMAR, L., RAMAKANTH, D., AKHILA, K., & GAIKWAD, K. K. (2022). Edible films and coatings for food packaging applications: A review. **Environmental Chemistry Letters**, 1-26.

KUMARI, M., MAHAJAN, H., JOSHI, R., & GUPTA, M. (2017). Development and structural characterization of edible films for improving fruit quality. **Food Packaging and Shelf Life**, 12, 42-50.

LUBIS, M., HARAHA, M. B., GINTING, M. H. S., SARTIKA, M., & AZMI, H. (2016). Effect of microcrystalline cellulose (mcc) from sugar palm fibres and glycerol addition on mechanical properties of bioplastic from avocado seed starch (Persea americana Mill). **Proceedings of Engineering & Technology, Computer, Basics & Applied Sciences**, 331(3), 1-10.

MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., GARCÍA, M. A., MARTINO, M. N., & ZARITZKY, N. E. (2004). Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, 56(2), 129-135.

MANGARAJ, S., YADAV, A., BAL, L. M., DASH, S. K., & MAHANTI, N. K. (2019). Application of biodegradable polymers in food packaging industry: A comprehensive review. **Journal of Packaging Technology and Research**, 3, 77-96.

- MARTÍN, M. P., RIVEROS, C. G., PAREDES, A. J., ALLEMANDI, D. A., NEPOTE, V., & GROSSO, N. R. (2019). A natural peanut edible coating enhances the chemical and sensory stability of roasted peanuts. **Journal of food science**, 84(6), 1529-1537.
- MARTINS, J. T., CERQUEIRA, M. A., BOURBON, A. I., PINHEIRO, A. C., SOUZA, B. W., & VICENTE, A. A. (2012). Synergistic effects between κ -carrageenan and locust bean gum on physicochemical properties of edible films made thereof. **Food Hydrocolloids**, 29(2), 280-289.
- MARTINS, M. J. N., SANCHES, M. A. R., POLACHINI, T. C., OLIVEIRA, E. B. D., COIMBRA, J. S. D. R., & TELIS-ROMERO, J. (2023). Solubility of different salts used in the control of the water activity of foods. **Ciência e Agrotecnologia**, 47, e018722.
- MELGAR, B., DIAS, M. I., CIRIC, A., SOKOVIC, M., GARCIA-CASTELLO, E. M., RODRIGUEZ-LOPEZ, A. D., ... & FERREIRA, I. C. (2018). Bioactive characterization of Persea americana Mill. by-products: A rich source of inherent antioxidants. **Industrial Crops and Products**, 111, 212-218.
- MERINO, D., BERTOLACCI, L., PAUL, U. C., SIMONUTTI, R., & ATHANASSIOU, A. (2021). Avocado peels and seeds: processing strategies for the development of highly antioxidant bioplastic films. **ACS Applied Materials & Interfaces**, 13(32), 38688-38699.
- MORADI, M., TAJIK, H., ALMASI, H., FOROUGH, M., & EZATI, P. (2019). A novel pH-sensing indicator based on bacterial cellulose nanofibers and black carrot anthocyanins for monitoring fish freshness. **Carbohydrate Polymers**, 222, 115030.
- NAAMANI, G. (2007). Developments in the avocado world. **California Avocado Society Yearbook**, 90, 71-76.
- UNISA, I., ASHWAR, B. A., SHAH, A., GANI, A., GANI, A., & MASOODI, F. A. (2015). Development of potato starch based active packaging films loaded with antioxidants and its effect on shelf life of beef. **Journal of Food Science and Technology**, 52, 7245-7253.

- NAWAB, A., ALAM, F., HAQ, M. A., HAIDER, M. S., LUTFI, Z., KAMALUDDIN, S., & HASNAIN, A. (2018). Innovative edible packaging from mango kernel starch for the shelf life extension of red chili powder. **International Journal of Biological Macromolecules**, 114, 626-631.
- NOGUEIRA, G. F., SOARES, I. H. B. T., SOARES, C. T., FAKHOURI, F. M., & DE OLIVEIRA, R. A. (2022). Development and characterization of arrowroot starch films incorporated with grape pomace extract. **Polysaccharides**, 3(1), 250-263.
- NOPWINYUWONG A, TREVANICH S, SUPPAKUL P (2010) Development of a novel colorimetric indicator label for monitoring freshness of intermediate-moisture dessert spoilage. **Talanta** 81:1126–1132
- ÖZKAN, G., & GÜVEN, E. Ç. Meyve-sebze işleme atıklarından biyobozunur ambalaj materyali üretimi. *ITU Journal of Food Science and Technology*, 1(1), 39-44.
- PLEISSNER, D. (2018). Recycling and reuse of food waste. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, 13, 39-43.
- POZO, C., RODRÍGUEZ-LLAMAZARES, S., BOUZA, R., BARRAL, L., CASTAÑO, J., MÜLLER, N., & RESTREPO, I. (2018). Study of the structural order of native starch granules using combined FTIR and XRD analysis. **Journal of Polymer Research**, 25, 1-8.
- PRAKASH MARAN, J., SIVAKUMAR, V., THIRUGNANASAMBANDHAM, K., & SRIDHAR, R. (2014). Extraction, multi-response analysis, and optimization of biologically active phenolic compounds from the pulp of Indian jamun fruit. **Food Science and Biotechnology**, 23, 9-14.
- PUSHPADASS, H. A., MARX, D. B., & HANNA, M. A. (2008). Effects of extrusion temperature and plasticizers on the physical and functional properties of starch films. **Starch-Stärke**, 60(10), 527-538.
- RAMADHAN, M. O., & HANDAYANI, M. N. (2020, December). The potential of food waste as bioplastic material to promote environmental

sustainability: A review. In **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering** (980(1), 012082). IOP Publishing.

SABERI, B., CHOCKCHASAWASDEE, S., GOLDING, J. B., SCARLETT, C. J., & STATHOPOULOS, C. E. (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.

SADEGHI-VARKANI, A., EMAM-DJOMEH, Z., & ASKARI, G. (2018). Physicochemical and microstructural properties of a novel edible film synthesized from Balangu seed mucilage. **International Journal of Biological Macromolecules**, 108, 1110-1119.

SALGADO, P. R., ORTIZ, C. M., MUSSO, Y. S., DI GIORGIO, L., & MAURI, A. N. (2015). Edible films and coatings containing bioactives. **Current Opinion in Food Science**, 5, 86-92.

SANTACRUZ, S., RIVADENEIRA, C., & CASTRO, M. (2015). Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment. **Food hydrocolloids**, 49, 89-94.

SETER, S. D., ARNOLD, J. W., & CHEW, V. (2000). APC values and volatile compounds formed in commercially processed, raw chicken parts during storage at 4 and 13 C and under simulated temperature abuse conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 80(10), 1559-1564.

SHANBHAG, C., SHENOY, R., SHETTY, P., SRINIVASULU, M., & NAYAK, R. (2023). Formulation and characterization of starch-based novel biodegradable edible films for food packaging. **Journal of Food Science and Technology**, 60(11), 2858-2867.

SHUKLA, V., KANDEEPAN, G., VISHNURAJ, M. R., & SONI, A. (2016). Anthocyanins based indicator sensor for intelligent packaging application. **Agricultural research**, 5, 205-209.

- SILVA, I. R. A., MAGNANI, M., DE ALBUQUERQUE, F. S. M., BATISTA, K. S., AQUINO, J. D. S., & QUEIROGA-NETO, V. (2017). Characterization of the chemical and structural properties of native and acetylated starches from avocado (*Persea americana* Mill.) seeds. **International Journal of Food Properties**, 20(sup1), S279-S289.
- SINGH, G. P., BANGAR, S. P., YANG, T., TRIF, M., KUMAR, V., & KUMAR, D. (2022). Effect on the properties of edible starch-based films by the incorporation of additives: a review. **Polymers**, 14(10), 1987.
- SINGH, S., GAIKWAD, K. K., & LEE, Y. S. (2018). Antimicrobial and antioxidant properties of polyvinyl alcohol bio composite films containing seaweed extracted cellulose nano-crystal and basil leaves extract. **International Journal of Biological Macromolecules**, 107, 1879-1887.
- SOLIMAN, E. A., & FURUTA, M. (2014). Influence of phase behavior and miscibility on mechanical, thermal and micro-structure of soluble starch-gelatin thermoplastic biodegradable blend films. **Food and Nutrition Sciences**, 5(11), 1040-1055.
- SREEDHAR, B., SAIRAM, M., CHATTOPADHYAY, D. K., RATHNAM, P. S., & RAO, D. M. (2005). Thermal, mechanical, and surface characterization of starch-poly (vinyl alcohol) blends and borax-crosslinked films. **Journal of Applied Polymer Science**, 96(4), 1313-1322.
- SUHAG, R., KUMAR, N., PETKOSKA, AT, & UPADHYAY, A. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. **Food Research International**, 136, 109582.
- TABATABAEI, S. D., GHIASI, F., GAHRUIE, H. H., & HOSSEINI, S. M. H. (2022). Effect of emulsified oil droplets and glycerol content on the physicochemical properties of Persian gum-based edible films. **Polymer Testing**, 106, 107427.

- THAKUR, R., SABERI, B., PRISTIJONO, P., GOLDING, J., STATHOPOULOS, C., SCARLETT, C., ... & VUONG, Q. (2016). Characterization of rice starch- κ -carrageenan biodegradable edible film. Effect of stearic acid on the film properties. **International journal of biological macromolecules**, 93, 952-960.
- THAKUR, R., PRISTIJONO, P., BOWYER, M., SINGH, S. P., SCARLETT, C. J., STATHOPOULOS, C. E., & VUONG, Q. V. (2019). A starch edible surface coating delays banana fruit ripening. **LWT**, 100, 341-347.
- TURAL, S., SARICAOĞLU, F. T., & TURHAN, S. (2017). Yenilebilir Film ve Kaplamalar: Üretimleri, Uygulama Yöntemleri, Fonksiyonları ve Kaslı Gıdalarda Kullanımları. **Akademik Gıda**, 15(1), 84-94.
- UMARAW, P., MUNEKATA, P. E., VERMA, A. K., BARBA, F. J., SINGH, V. P., KUMAR, P., & LORENZO, J. M. (2020). Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products. **Trends in Food Science & Technology**, 98, 10-24.
- VIDANA GAMAGE, G. C., LIM, Y. Y., & CHOO, W. S. (2021). Anthocyanins from *Clitoria ternatea* flower: Biosynthesis, extraction, stability, antioxidant activity, and applications. **Frontiers in Plant Science**, 12, 792303.
- WAHIDIN, M., SRİMARLITA, A., SULAIMAN, I., & INDARTI, E. (2021, February). Transparency and thickness of jackfruit and durian seed starch edible film. In **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** (667, 012030). IOP Publishing.
- WIJAYA, C.; DIEM, Q.; HSU, Y.; PERMATASARI, S.; NYOO, J.; LAYSANDRA, L.; EDI, F.; ISMADJI, S. (2019). Heliyon Isolation and Characterization of Starch from *Limnophila Aromatica*. **Heliyon**, 5, 1–7.
- WU, Y., WU, H., & HU, L. (2024). Recent advances of proteins, polysaccharides and lipids-based edible films/coatings for food packaging applications: a review. **Food Biophysics**, 19(1), 29-45.

- WU, L., LV, S., WEI, D., ZHANG, S., ZHANG, S., LI, Z., ... & HE, T. (2023). Structure and properties of starch/chitosan food packaging film containing ultra-low dosage GO with barrier and antibacterial. **Food Hydrocolloids**, 137, 108329.
- YILDIRIM, R., İNAN, Ö., KODAL, M., & ÖZKOÇ, G. (2021). Ekmek Atıklarından Termoplastik Nişasta Eldesi Ve Düşük Yoğunluklu Polietilen İle Harmanlarının Özelliklerinin İncelenmesi. **Konya Journal of Engineering Sciences**, 9, 173-186.
- YILDIRIM-YALÇIN, M., ŞEKER, M., & SADIKOĞLU, H. (2019). Development and characterization of edible films based on modified corn starch and grape juice. **Food Chemistry**, 292, 6-13.
- YILDIRIM-YALÇIN, M., SADIKOĞLU, H., & ŞEKER, M. (2021). Optimization of mechanical and antioxidant properties of edible film based on grape juice and cross-linked maize starch and evaluation of its effects on the storage quality of fresh-cut pineapple. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 15, 4669-4678.
- YILDIRIM-YALÇIN, M., SADIKOĞLU, H., & ŞEKER, M. (2021b). Characterization of edible film based on grape juice and cross-linked maize starch and its effects on the storage quality of chicken breast fillets. **Lwt**, 142, 111012.
- YONG, H., & LİU, J. (2020). Recent advances in the preparation, physical and functional properties, and applications of anthocyanins-based active and intelligent packaging films. **Food Packaging and Shelf Life**, 26, 100550.
- YOSHIDA CMP, MACEİL VBV, MENDONCA MED, FRANCO TT (2014) Chitosan biobased and intelligent films: monitoring pH variations. **LWT food Sci Technol** 55:83–89
- ZHANG, H., & SABLANI, S. (2021). Biodegradable packaging reinforced with plant-based food waste and by-products. **Current Opinion in Food Science**, 42, 61-68.

ZOR, M., ŞENGÜL, M., KARAKÜTÜK, İ. A., & AKSOY, S. (2023). Investigation about Various Infusion Conditions on Physical, Chemical and Antioxidant Properties of Clitoria ternatea L. Tea. **Journal of the Institute of Science and Technology**, 13(3), 1738-1754.

ELEKTRONİK KAYNAKLAR

- URL-1 FAO; Agricultural production statistics 2000–2022)
<https://www.fao.org/statistics/highlights-archive/highlights-detail/agricultural->
- URL-2 <https://www.plastik-ambalaj.com/tr/component/content/article/119-plastik-ambalaja-makale/3768-biyopolimer-esasl-ambalaj-malzemelerinin-ozellikleri-ve-uygulamalar-uezerine-bir-degerlendirme>
- URL-3 FAOSTAT. (2020) ; <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

ÖZGEÇMİŞ

AD-SOYAD: Ayşe Gül AŞIKKUTLU FİDAN

ÖĞRENİM DURUMU

Yüksek Lisans: İstanbul Aydın Üniversitesi- Gıda Mühendisliği (2021-2024)

Lisans: Kocaeli Üniversitesi- İlahiyat Fakültesi- (2017-2020)

Lisans: Uludağ Üniversitesi- Gıda Mühendisliği (2006-2010)

Ön Lisans: Kocaeli Üniversitesi- Gıda Teknolojisi (2004-2006)

MESLEKİ DENEYİMLER

Ofaş GYO- İstanbul- İş Sağlığı ve Güvenliği (2016-2023)

İstanbul Halk Ekmek - İstanbul- Stajyer (2010)

Ülker Çikolata İstanbul- Stajyer(2009)

Bekard Catering- İstanbul- Stajyer(2005)

UZMANLIK ALANLARI

İş Sağlığı ve Güvenliği, Kalite Yönetim Sistemleri

YABANCI DİLLER

İngilizce (B1 Seviye)

Arapça (B1 Seviye)

Fransızca (A1 Seviye)

EĞİTİMLER

ISO 22000: 2005 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi Temel Eğitimi- KOSGEB
(2010)

BİLGİSAYAR BECERİLERİ

Microsoft office programları (Word, Excell, Powerpoint vb.