

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NAR VE PORTAKAL KABUĞU ATIKLARINDAN
BİYOBAZLI GIDA AMBALAJ MALZEMESİ
GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eylem KARAKUŞ

Enstitü Anabilim Dalı : GIDA MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zehra AYHAN

Haziran 2022

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NAR VE PORTAKAL KABUĞU ATIKLARINDAN
BİYOBAZLI GIDA AMBALAJ MALZEMESİ
GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eylem KARAKUŞ

Enstitü Anabilim Dalı : GIDA MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 13.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr. Zehra
AYHAN
Jüri Başkanı**

**Dr. Öğr. Üyesi Semin Özge
KESKİN
Üye**

**Dr. Öğr. Üyesi Semanur
YILDIZ
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Eylem Karakuş

13.06.2022

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisansta bilgi ve deneyimleriyle, araştırma, deneysel çalışma ve analiz kısımlarında yardımı esirgemeyen ve bu adımların planlanmasında bana yardımcı olan, yönlendiren ve her alanda desteğini ve sevgisini hissettiğim değerli danışman hocam Prof. Dr. Zehra Ayhan'a teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans savunma jürimde yer alan Dr. Öğretim Üyeleri Semanur Yıldız'a ve Semin Özge Keskin'e değerli katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvarındaki cihazların kullanımı konusunda yardımı esirgemeyen Arş. Gör. Elif Sezer'e, analizlerim konusunda her zaman yardımcı olan kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Güliz Haskaraca'ya, toz laboratuvarındaki sarsak eleği kullanmam konusunda her zaman cömert olan ve daha iyi sonuç almam için farklı öğütme yöntemlerini anlayış ve heyecanla bana anlatan hocam Prof. Dr. Ali Osman Kurt'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2020-7-24-31) teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca bana her anlamda destek olan, güvenen ve her zaman yanımda olan aileme ve erkek arkadaşım Serdar Tükez'e, laboratuvarında gece gündüz bana destek olan arkadaşlarım İrem Melda Karaca ve Amel Oboidi'ye, Sakaryada olduğum zamanlarda evde kedilerimle ilgilenen kardeşim, Evrim Gamze Karakuş'a, tez yazmak konusunda bana destek olan arkadaşım Aytuğ Özçavdar'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Gıda Ambalaj Malzemeleri	5
2.1.1. Petrol bazlı plastik malzemeler	6
2.1.2. Biyobozunur polimerler	8
2.1.2.1. Hidrolitik yollarla bozunabilen biyopolimerler.....	9
2.1.2.2. Enzimatik yollarla bozunabilen biyopolimerler	10
2.2. Gıda Endüstrisi Atıkları ve Potansiyel Kullanım Alanları	17
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1. Materyal	20
3.2. Yöntem	20
3.2.1. Atık nar ve portakal kabuklarından toz hammadde eldesi	20

3.2.2. Atık nar ve portakal kabuklarından biyofilm üretimi.....	22
3.3. Analizler	23
3.3.1. Fiziksel analizler	23
3.3.1.1. Kalınlık.....	23
3.3.1.2. Renk.....	24
3.3.2. Mekanik analiz	24
3.3.3. Işık geçirgenliği ve transparanlık analizi	25
3.3.4. Antimikrobiyal aktivite analizi.....	25
3.3.5. DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) yöntemiyle antioksidan tayini	26
3.3.6. Morfolojik analiz (SEM).....	26
3.3.7. Termal analiz.....	27
3.3.8. İstatistiksel analiz	27
 BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	28
4.1. Fiziksel Özellikler	28
4.1.1. Kalınlık ve renk.....	28
4.1.1.1. Partikül boyutunun nar ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin renk özelliklerine etkisi	31
4.1.1.2. Asit konsantrasyonunun nar ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin renk özelliklerine etkisi	33
4.1.1.3. Gliserol konsantrasyonunun nar ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin renk özelliklerine etkisi.....	35
4.2. Mekanik Özellikler.....	35
4.2.1. Partikül boyutunun nar ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin mekanik özelliklerine etkisi	38
4.2.2. Asit konsantrasyonunun nar ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin mekanik özelliklerine etkisi	40
4.2.3. Gliserol konsantrasyonunun nar ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin mekanik özelliklerine etkisi	42
4.3. Işık Geçirgenliği ve Transparanlık Özelliği	44
4.4. Nar ve Portakal Kabuğundan Elde Edilen Biyofilmlerde Antimikrobiyal	

Özellik.....	45
4.5. Nar ve Portakal Kabuğundan Elde Edilen Biyofilmlerde Antioksidan Özellik.....	48
4.6. Morfolojik Özellik (SEM).....	50
4.7. Termal Özellikler	53
BÖLÜM 5.	
SONUÇ	58
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	71

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: American Society for Testing Materials
DDE	: Diklorodifenildiklor Etilen
DSC	: Differential scanning calorimetry (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre)
EB	: Elongation at break (Kopma anındaki uzama)
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
PBS	: Polibutilen Süksinat
PC	: Polikarbonat
PCB	: Poliklor Bifenil
PCL	: Polikaprolakton
PET	: Polietilen Tereftalat
PHA	: Polihidroksi Alkanoat
PHB	: Polihidroksi Bütirat
PLA	: Polilaktik Asit
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinil Klorür
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı elektron mikroskobu)
TGA	: Thermogravimetric analysis (Termogravimetrik Analiz)
TS	: Tensile Strength (Çekme Mukavemeti)
TSB	: Tyryptic Soy Broth
T _c	: Crystallization Temperature (Kristalizasyon Sıcaklığı)
T _d	: Degradation Temperature (Bozunma Sıcaklığı)
T _g	: Glass Transition Temperature (Camsı Geçiş Sıcaklığı)
T _m	: Melting Temperature (Erime Sıcaklığı)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Pasifik Okyanusu'ndaki 7. kıta.....	2
Şekil 2.1. Gıda ambalajlanmasında kullanılan farklı ambalaj malzemeleri.....	5
Şekil 2.2. Plastik atıkların sebep olduğu hava, su ve toprak kirliliği	6
Şekil 2.3. 1950-2015 yılları arasında üretilen plastiklerin kullanım potansiyeli	7
Şekil 2.4. Sentetik polimerlerin gıda ambalajında kullanımı ve geri dönüşüm simgeleri	8
Şekil 2.5. Biyobozunur polimerlerin sınıflandırılması.....	9
Şekil 3.1. Nar ve portakal kabuğu tozlarını elde etmek için uygulanan ön işlemler.	21
Şekil 3.2. Kalınlık ölçmede kullanılan dijital mikrometre.....	23
Şekil 3.3. Taşınabilir renk ölçüm cihazı	24
Şekil 3.4. Tekstür analiz cihazı	24
Şekil 4.1. Nar ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmler.....	29
Şekil 4.2. Nar kabuğu filmlerinde oluşan inhibisyon zonları	46
Şekil 4.3. Portakal kabuğu filmlerinde oluşan inhibisyon zonları	48
Şekil 4.4. Nar kabuğu filmlerinin antioksidan aktivitesi.	49
Şekil 4.5. Portakal kabuğu filmlerinin antioksidan aktivitesi	49
Şekil 4.6. Nar kabuğu filmlerinin 100x büyütülmüş SEM görüntüleri.....	51
Şekil 4.7. Portakal kabuğu filmlerinin 100x büyütülmüş SEM görüntüleri	52
Şekil 4.8. Nar kabuğu filmlerinin TGA-DSC analizi.....	54
Şekil 4.9. Portakal kabuğu filmlerinin TGA-DSC analizi	55

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Sentetik polimerlerin adı, kısaltması ve kullanıldığı alanlar	16
Tablo 3.1. Nar kabuğu ve portakal kabuğu filmlerinde partikül boyutu, asit ve gliserol konsantrasyonu parametreleri için deneme deseni.....	33
Tablo 4.1. Nar kabuğundan elde edilen biyofilmlerin renk ve kalınlık değerleri	41
Tablo 4.2. Portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin renk - kalınlık değerleri	42
Tablo 4.3. Partikül boyutu, asit ve gliserol konsantrasyonunun nar kabuğundan elde edilen biyofilmlerin mekanik özelliklerine etkisi.....	47
Tablo 4.4. Partikül boyutu, asit ve gliserol konsantrasyonunun portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin mekanik özelliklerine etkisi.....	48
Tablo 4.5. Nar ve portakal kabuğu filmleri için seçilen asit ve gliserol konsantrasyonları	55
Tablo 4.6. Nar kabuğu filmlerinin <i>S.aureus</i> ve <i>E.coli</i> için oluşturduğu inhibisyon zon çapı.....	56
Tablo 4.7. Portakal kabuğu filmlerinin <i>S.aureus</i> ve <i>E.coli</i> için oluşturduğu inhibisyon zon çapı	58

ÖZET

Anahtar Kelimeler; Biyozunur plastik, gıda ambalajı, nar kabuğu, portakal kabuğu, gıda atıkları, biyopolimer

Petrol bazlı polimerlere alternatif olarak çevre dostu, yenilenebilir ve sürdürülebilir ambalaj malzemeleri önem kazanmaya başlamış ve gıda işleme atıkları da dahil olmak üzere farklı sürdürülebilir kaynaklardan biyo-bazlı ambalaj malzemelerinin geliştirilmesine daha fazla odaklanılmıştır. Bu çalışmanın amacı, nar ve portakal kabuğu atıklarından biyobazlı filmler geliştirmektir. Bu amaçla nar ve portakal kabukları kurutularak farklı tane boyutlarında un haline getirilmiştir. Çalışmada partikül boyutu, sitrik asit (%3 ve %5) ve gliserol (%7 ve %10) konsantrasyonunun solvent döküm yöntemiyle üretilen biyo bazlı filmlerin (her bir atık için 16 formülasyon olmak üzere) fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Mekanik özellikler dikkate alınarak %5 asit ve %7 gliserol içeren formülasyonlarda partikül boyutunun filmlerin antimikrobiyel, antioksidan, ışık geçirgenliği, morfolojik ve termal özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, partikül boyutunun test edilen film özellikleri üzerinde en önemli parametre ($p \leq 0,05$) olduğunu ve partikül boyutu küçüldükçe mekanik özelliklerin iyileştiğini göstermiştir. Hem nar hem de portakal kabuğundan üretilen biyofilmlerde en iyi mekanik özellikler (çekme mukavemeti ve kopma anındaki uzama) %5 sitrik asit konsantrasyonu kullanılarak sağlanmıştır. Gliserol konsantrasyonunun arttırılması, her bir atık türü için tüm parçacık boyutlarında çekme mukavemeti değerlerinde önemli bir azalmaya neden olmuştur. Ancak nar kabuğu filmlerinde kopma anında uzama değeri en düşük partikül boyutu olan 53 mikron ve %5 asit konsantrasyonunda maksimum değerine (%40,29) ulaşmıştır. Portakal kabuğu filmlerinde %3 asit konsantrasyonunda çekme kuvveti düşerken, kopmada uzamada önemli bir fark görülmemiştir. Nar ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmler, *E.coli* ve *S. aureus*'a karşı yüksek antimikrobiyal ve antioksidan aktivite göstermiştir. Elde edilen SEM görüntüleri hem nar kabuğu hem de portakal kabuğu filmlerinin homojen, pürüzsüz ve çatlaksız bir yüzeye sahip olduğunu göstermiştir. Nar kabuğu filmleri için TGA-DSC analizinin sonuçlarına göre filmlerin camsı geçiş sıcaklığı 90-100 °C, erime sıcaklığı 200-220 °C ve kristallenme sıcaklığı 250-255 °C olarak belirlenmiştir. Portakal kabuğu filmlerinde ise camsı geçiş sıcaklığı 85-90 °C, erime sıcaklığı 200-220 °C ve kristallenme sıcaklığı 255-260 °C olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, sürdürülebilir ve aktif gıda ambalajlamada nar ve portakal kabukları polimer yapısında yüksek antimikrobiyal ve antioksidan etki sağlama potansiyeline sahiptir, ancak mekanik ve özellikle termal özelliklerin geliştirilmesi gerekmektedir.

DEVELOPMENT and CHARACTERIZATION OF BIOBASED FOOD PACKAGING MATERIALS FROM ORANGE AND POMEGRANATE PEEL WASTE

SUMMARY

Keywords: Biodegradable plastic, food packaging, pomegranate peel, orange peel, food waste, biopolymer

Environmentally friendly, renewable and sustainable packaging materials are of getting interests as an alternative to the petroleum-based polymers and there has been more focus on bio-based materials from different sustainable sources including food waste. The aim of this study was to develop biobased films from pomegranate and orange peels. For this purpose, pomegranate and orange peels were dried and processed into flour in four different particle sizes. The effects of particle size, citric acid (3% and 5%) and glycerol (7% and 10%) concentrations on the physical and mechanical properties of bio-based films produced by solvent casting method were investigated. Considering the mechanical properties, the effect of particle size on antimicrobial, antioxidant, light transmission, morphological and thermal properties was investigated for films containing 5% acid and 7% glycerol. Results showed that the particle size was the most important parameter ($p \leq 0,05$) on the mechanical properties of the films tested as reducing the particle size improved the mechanical properties. The mechanical properties (tensile strength and elongation at break) were improved by using 5% acid concentration for the pomegranate and orange peel based films. Increasing glycerol concentration resulted in significant decrease in tensile strength values at all particle sizes for each waste type. However, elongation at break value (40.29%) was the highest at smallest particle size of 53 micron and 5% acid concentration for the pomegranate peel films. Pomegranate and orange peel based films showed very high antimicrobial and antioxidant activity against *E.coli* and *S. aureus*. SEM images showed that both pomegranate and orange peel based films had a homogeneous, smooth and crack-free surfaces. The results of TGA-DSC analysis for pomegranate film showed that glass transition, melting and crystallinity temperatures were 90-100 °C, 200-220 °C and 250-255 °C, respectively. For orange peel based films, the glass transition, melting and crystallinity temperatures were 85-90 °C, 200-220 °C and 255-260 °C, respectively. In conclusion, pomegranate and orange peels could be good potential as antimicrobial and antioxidant sources to be used in the polymer matrix in the sustainable and active food packaging, but especially mechanical and thermal properties need further improvement.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun her geçen gün artması, yaşam dinamiklerinin hızlanması ve değişmesi insanların beslenme alışkanlıklarında değişimleri de beraberinde getirmiştir. Bilinçli tüketici sayısının artmasıyla ambalajlı gıdalara olan eğilim ve ambalaj okuma alışkanlığı da giderek artmaktadır. Nüfusun artışı ile her alanda olduğu gibi gıda sektöründe de üretimler artmakta ve gıda güvenliği kapsamında bu ürünlerin tüketiciye ulaşması amaçlanmaktadır. Bu noktada ambalaj malzemeleri gıdanın taşınması, korunması gibi temel fonksiyonları yerine getirirken bir de ürün özelinde tüketiciye bilgi veren, tüketici ile iletişime geçen ve üründe raf ömrü boyunca oluşabilecek herhangi bir sorun olduğunda ürünün piyasadan çekilmesini sağlayan kompakt bir sistem haline gelmiştir (Karakuş ve Ayhan; 2019).

Artan nüfusun gıda ihtiyacını karşılamak için üretilen gıda ambalaj malzemelerinden en çok tercih edileni kolay işlenebilir, yüksek bariyer ve mekanik özellikleri sebebiyle plastiklerdir. Plastik ambalaj malzemeleri kullanıldıktan sonra doğru şekilde imha edilmedikleri zaman çok ciddi çevresel problemlere sebep olmaktadır. 2019 yılında Pasifik Okyanusu'nun Kaliforniya kıyısına yakın bir bölgesinde keşfedilen ve 7. kıta olarak adlandırılan Büyük Pasifik Çöp Alanı plastik atıkların oluşturduğu ve saklanamayacak kadar büyük olan bir problemdir (Şekil 1.1.) Çeşitli kaynaklarda derinliğinin okyanus tabanına kadar sürdüğü, yoğunluğu düşük plastiklerden oluştuğu için üzerine ayak basılamadığı ve yüz ölçümü olarak Türkiye'nin 2 katı büyüklükte olduğu belirtilmektedir. Covid-19 Pandemisi sebebiyle tek kullanımlık plastik ürünlere (tabak, çatal, kaşık, maske) olan talebin artması ise bu kıtayı her geçen gün beslemekte ve geri dönüşü olmayan bir su kirliliğine sürüklemektedir (Darı, 2022).



Şekil 1.1. Pasifik Okyanusu'ndaki 7. Kıta (Anonim, 2019).

Gıda ambalaj malzemesi olarak sentetik polimerlerin kullanımı kısıtlı petrol kaynakları sebebiyle hem sürdürülebilir değildir hem de çevre problemlerine sebep olmaktadır. Bu nedenle hem akademik hem de sektörel çalışmalar biyobozunur polimerlere doğru bir eğilim göstermektedir. Sentetik polimerlere alternatif olarak polisakkaritler, protein ve lidipler, mikroorganizmalar ya da tarımsal artıklardan elde edilen pek çok yan ürün kullanılmaktadır (Karakus ve ark., 2021).

Gıda endüstri atıkları özellikle meyve sebze işleme sonrasında açığa çıkan değerli bileşenleri içerisinde barındıran kabuk ve posalar da doğru imha yöntemi uygulanmadığında mikrobiyolojik olarak çevresel kirliliğe sebep olmaktadır. Her ne kadar hayvan yemi olarak kullanılsalar da katma değeri yüksek yeni ürünler oluşturmada hammadde olarak kullanılma potansiyelleri vardır. Son 20 yılda meyve kabuklarının içerisindeki antimikrobiyal, antifungal, antikanserojenik maddeler ve nişasta, selüloz gibi polimer yapıdaki bileşenler ekstrakte edilerek biyopolimerlerin yapısını fonksiyonel hale getirmek için kullanılmaktadır (Ali ve ark., 2019; Moghadam ve ark., 2020; McKay ve ark., 2021).

Küresel ambalaj pazarı son yıllarda istikrarlı bir büyüme göstermiş ve bu büyüme sonucunda 2020 yılına kadar ambalaj atığı miktarı yaklaşık 174,55 ton hacme ulaşmıştır (Eurostat, 2021). Plastik gıda ambalaj malzemeleri, dünyadaki yıllık plastik kullanımının %56'sını oluşturmaktadır (PAGEV, 2018). Bu ambalaj malzemeleri yüksek oranda petrol bazlı olup biyolojik olarak parçalanamadıkları için katı atık birikimine sebep olarak hem kısa hem de uzun vadede küresel çapta çevresel kaygılara

sebeup olmaktadırlar (Rhim ve ark., 2013; Zhong ve ark., 2020; Motellica ve ark., 2020). Mevcut araştırmalardaki eğilim, petrol bazlı polimerlere alternatif olarak daha sürdürülebilir ve biyolojik kaynaklardan elde edilebilir polimerleri araştırmak yönündedir (Nur Hanani, 2018; Amjadi ve ark., 2020). Bu amaçla gıda endüstrisi atıkları kullanım potansiyeli yüksek hammaddeler olarak değerdendirilmektir (Motaung ve ark., 2018). Gıda endüstrisi atıklarından biyopolimer film oluşturmak amacıyla yapılan çalışmalarda elma kabuğu, muz kabuğu, patates kabuğu ve limon kabuğu sıklıkla tercih edilmektedir (Sablani ve ark., 2009; Pitak ve ark., 2011; Borah ve ark., 2017). Matriks malzemesinin elma kabuğundan oluştuğu bir çalışmada kitosan biyopolimeri dolgu malzemesi olarak kullanılırken, farklı bir çalışmada elma kabuğu matriksinin içine elma kabuğundan elde edilen polifenoller eklenerek biyofilme fonksiyonel bir özellik kazandırılmıştır (Sablani ve ark., 2009; Riaz ve ark., 2018). Muz nişastası matriksine muz kabuğu ilavesi (Silva ve Macedo, 2020), patates kabuğu ve limon kabuğu karışımı (Borah ve ark., 2017), nişasta matriksinin içine nar kabuğu ilavesi (Amjadi ve ark., 2020) meyve atıklarının kullanıldığı çalışmalardandır. Meyve kabuğu atıkları dışında jelatin ve zein gibi proteinlerin de film oluşturabilme özelliğinden yararlanılmaktadır (Hanani ve ark., 2019). Tüm bu kaynaklar biyobazlı film üretimi için kullanım potansiyeli ve katma değeri yüksek olan önemli yan ürünlerdir.

Narın nar suyu ve nar şurubuna işlenmesinden sonra yan ürün olarak açığa çıkan kabuğu meyvenin toplam ağırlığının yarısını oluşturmaktadır (Tanveer ve ark., 2015). Ayrıca nar kabuğu fenolik bileşenler, flavanoidler ve tanenlerce zengin bir endüstriyel atık olarak nitelendirilmektedir (Malviya ve ark., 2014). Nar kabuğunun yapısını inceleyen birçok çalışma nar kabuğunun çok yüksek antioksidan ve antimikrobiyal aktivite gösterdiğini belirtmiştir (Amjadi ve ark., 2020; Moghadam ve ark., 2020). Bu özelliklerinden dolayı nar kabuğundan elde edilen bileşenler hem petrol bazlı hem de balık jelatini, polivinil alkol gibi doğal polimer matrikslerinde biyofilmlere antimikrobiyal ve antioksidan ajan olarak eklenerek filmlerin fonksiyonel özellikler kazanması için sıklıkla kullanılmaktadır (Hanani ve ark., 2018; He ve ark., 2019). Ayrıca nar kabuğu yüksek miktarda selüloz, hemiselüloz ve pektin içerdiği için polimer kaynağı olarak da kullanılabilme potansiyeli vardır.

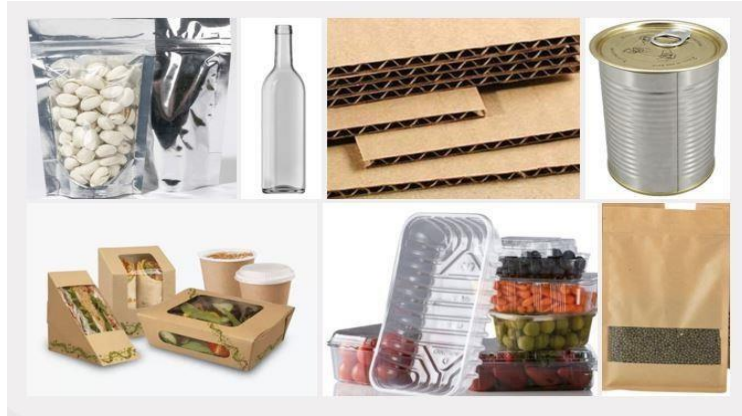
2016 yılında portakal üretimi 140 milyon tona ulaşmış olup, portakal işleme sonrasında %50 oranında atık açığa çıktığı belirtilmiştir (FAOSTAT, 2018; Bátori ve ark., 2017). Portakal kabuğu flavanoidler, fenolikler, karotenoidler, pektin, lignin, selüloz, çözüünür şeker sıvı ve katı yağlardan oluşmaktadır (Putnik ve ark., 2017). Pektin, atık portakal kabuklarının temel bileşeni olmasına rağmen yapısındaki selülozik lifler, kompozit filmlerin mekanik özelliklerini geliştirmektedir. Bu nedenle pekçok çalışmada portakal kabuğu atığı, epoksi ve polyester matrisinde bir takviye olarak kullanılmıştır (Awasthi ve ark., 2019; Mamman ve ark., 2020). Meyve endüstrisi atıklarından biyopolimer üretilmesi konusunda yürütülen pek çok çalışmada kabuklar genellikle takviye malzemesi olarak ya da kabuktan elde edilen spesifik bileşenlerin ekstrakte edilmesiyle kullanılmıştır.

Bu çalışmada nar ve portakal kabuklarının biyopolimer üretimi açısından potansiyeli araştırılmıştır. Bu kapsamda her iki atık çeşidi için de atıkların partikül boyutu, plastikleştirici (gliserol) ve asit konsantrasyonlarının etkisi araştırılmıştır. Elde edilen biyofilmlerin fiziksel, mekanik, geçirgenlik, antimikrobiyal, antioksidan, morfolojik ve termal özellikleri dikkate alınarak karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada “Sıfır Atık” yaklaşımı benimsenmiş ve kabuklarda herhangi bir ekstraksiyon yapılmadan atığın %100’ü kullanılmıştır.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Gıda Ambalaj Malzemeleri

Gıda endüstrisinde ambalaj malzemeleri, gıdayı kontaminasyondan ve çevreden gelebilecek herhangi bir etkiden korumanın yanı sıra ürünü tüketiciye tanıtan, ürünün taşınıp depolanmasını sağlayan, tüketiciyi ürünü incelemeye sevk eden ve gerekli durumlarda ürünün piyasadan toplanmasını sağlayacak olan bilgileri içeren sistemin ilk basamağıdır (Karakuş ve ark., 2021). Gıda endüstrisinde ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerine, üretim şekline ve muhafaza yöntemine göre cam, kağıt, karton, mukavva, alüminyum, teneke ve plastik olmak üzere pek çok farklı ambalaj malzemesi (Şekil 2.1.) kullanılmaktadır. Tüm bu ambalaj çeşitleri arasında sentetik (petrol bazlı) polimerler, düşük ağırlık, esneklik, dayanıklılık, kimyasal inertlik, transparanlık, yüksek mekanik mukavemet ve işlenebilirlik ve düşük gaz geçirgenliği gibi pek çok özelliğe sahiptirler (Çelik ve Tümer 2016; Sancar, 2017). Bu özellikleri sebebiyle petrol bazlı polimerler gıda ambalajlamada en çok tercih edilen ambalaj çeşididirler (Emadian ve ark., 2017). Plastik üretimi için doğal ve petrol türevli olarak kullanılan pek çok plastik çeşidi mevcuttur.



Şekil 2.1. Gıda ambalajlanmasında kullanılan farklı ambalaj malzemeleri

2.1.1. Petrol bazlı plastik malzemeler

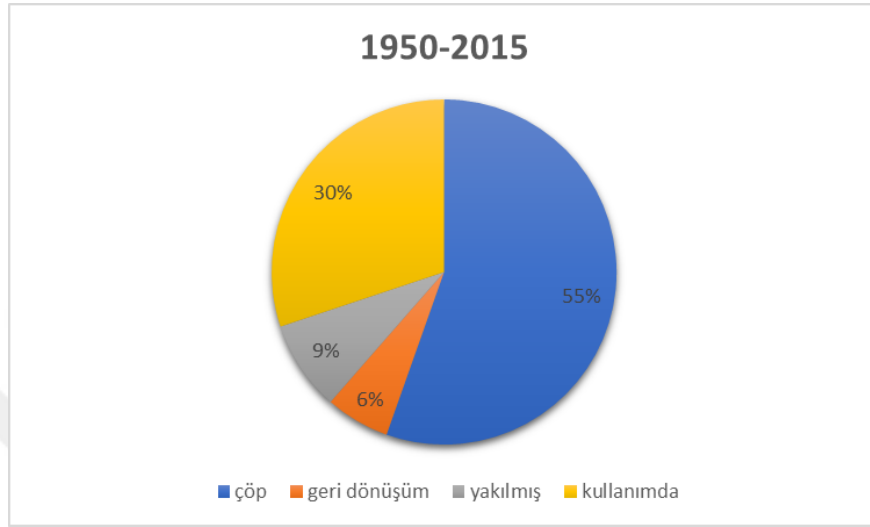
Petrol bazlı plastikler gıda ambalaj malzemesi olmasının yanısıra tek kullanımlık bardak, çatal, kap gibi ürünlerde de kullanılabilir. Özellikle Covid-19 salgını sebebiyle 2019-2020 yılları arasında tek kullanımlık plastik ürünlere olan eğilim ciddi ölçüde artmıştır (Akgün, 2020). Petrol bazlı polimerler kullanıldıktan sonra mikroorganizmalar tarafından bozunamadıkları ve doğada yok edilemedikleri için su, hava ve toprak kirliliği, ekolojik dengelerin bozulması gibi çok ciddi ve geri dönüşü olmayan çevresel problemlere sebep olmaktadır (Şekil 2.2.) (Sancar, 2017).



Şekil 2.2. Plastik atıkların sebep olduğu hava, su ve toprak kirliliği

1950-2015 yılları arasında dünyada 8,3 milyar ton plastik üretilmiş olup bu miktarın 4,9 milyar tonunun çöpe atıldığı, 800 milyon tonunun da yakıldığı tahmin edilmektedir (Şekil 2.3.). 2018 yılında dünya çapında açığa çıkan plastik atık miktarı 359 milyar ton olarak belirtilmişken, 2019 yılında bu miktar 368 milyar tona, 2020’de COVID-19 salgını sebebiyle %30 artarak 478,40 milyar tona ulaşmıştır (Ritchie ve Roser 2019; Plastics Europe, 2019; Plastics Europe, 2020; Dave, 2020). Plastik atıkların imhası noktasında kullanılan yöntemler hem yüksek maliyetli hem de benzen, dioksin gibi çevreye zarar veren kimyasal gazlar açığa çıkardığı için hem hava kirliliğine hem de uzun vadede toprak kirliliğine ve verimsizliğine sebep olmaktadır (İlyas, 2018; Drzyzga ve Prieto, 2021). Ayrıca petrol bazlı ambalaj malzemelerinin yapısına bağlı olarak doğada çözünme süresi yaklaşık 600 yıl gibi çok uzun bir süre olduğundan uzun vadede çok ciddi katı atık problemine sebep olmaktadır (Kayan, 2018). Plastik

atıklardan enerji elde etmek için yapılan yakma işlemleri ise CO₂ emisyonunu arttırıp dünyayı küresel sıcaklığa sürüklemenin yanısıra yakma işleminden sonra geriye kalan kül ve cüruf atıklarının depolama sahalarına gitmesi de ciddi hava ve toprak kirliliği problemlerine sebep olmaktadır (European Commission, 2011).



Şekil 2.3. 1950-2015 yılları arasında üretilen plastiklerin kullanım potansiyeli

Denizler ve okyanuslarda biriken petrol bazlı plastikler, hidrofobik kimyasalları akümüle ettiğinden suda çok yavaş bozunmakta ve dolayısı ile deniz yüzeylerinde konsantre halde poliklor bifenil (PCB) ve dikloro difenil dikloroetilen (DDE) oluşmasına sebep olmaktadır. Hem denizde yaşayan canlılar hem de balık avlayan kuşlar deniz yüzeylerindeki bu atıkları yiyecek olarak algıladıkları için midelerinde bu kimyasalların kalıntılarına rastlanmaktadır (Sancar, 2017).

Petrol bazlı polimerlerin üretiminin ve kullanımının yaygınlaşması çevresel zararlarla kalmayıp fosil yakıt kaynaklarının da önemli ölçüde tehdit edilmesine sebep olmaktadır (Köksal ve ark., 2019). Ayrıca fosil yakıt kaynaklarının azalması maliyetlerin artışına sebep olduğu için petrol bazlı polimerlerin üretimi ve kullanımı sürdürülebilir değildir (Tawakkal ve ark., 2014; Çelik ve Tümer, 2016). Tüm bu nedenlerle son yıllarda petrol bazlı polimerlere alternatif olarak, biyolojik olarak çözünebilen, sürdürülebilir, geri dönüşüm sağlanabilen, sıfır atık yaklaşımı kapsamında imha edilebilecek, karbon ayak izinin düşürülmesine katkı sağlayacak çeşitli doğal kaynaklardan elde edilen biyobozunur polimerlere yönelik çalışmalar

hem sektörel hem de akademik olarak ciddi artış göstermektedir. Gıda sektöründe kullanılan petrol bazlı plastiklerin isimleri, kısaltmaları, kullanıldıkları alanlar Tablo 2.1.'de, geri dönüşüm sembolleri ve görselleri sırasıyla Şekil 2.4.'te verilmiştir.

Tablo 2.1. Sentetik polimerlerin adı, kısaltması ve kullanıldığı alanlar

Plastik Adı	Kısaltması	Kullanıldığı Alan
Polietilen Tereftalat	PET	Bitkisel yağ, su ambalajı
Yüksek Yoğunluklu Polietilen	HDPE	Sert ambalajlar, ayran şişesi
Yüksek Yoğunluklu Polietilen	LDPE	Esnek ambalajlar
Polivinil Klorür	PVC	Taze et kapları
Polipropilen	PP	Ketçap şişesi
Polistiren	PS	Yumurta kartonu, kahve bardağı
Polikarbonat	PC	Su damacanası



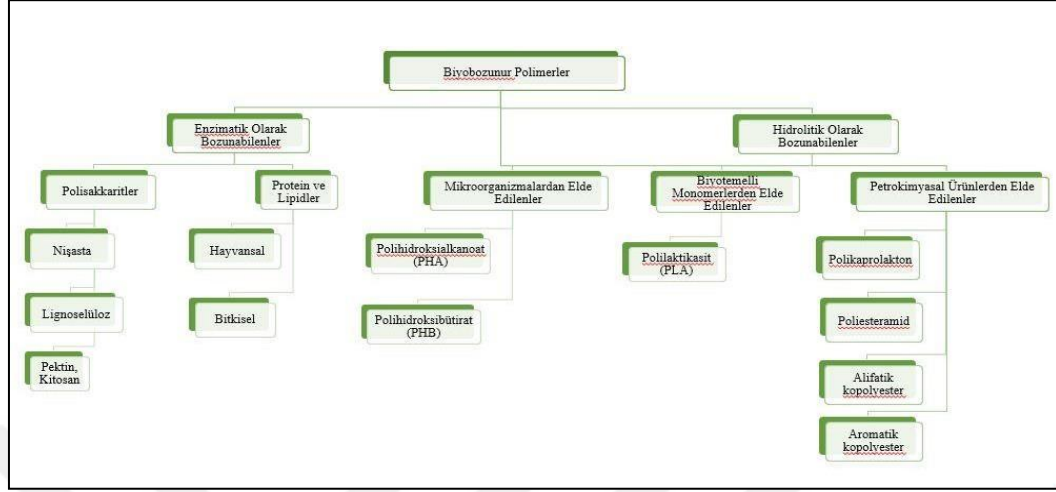
Şekil 2.4. Sentetik polimerlerin gıda ambalajında kullanımı ve geri dönüşüm sembolleri

2.1.2. Biyobozunur polimerler

“Bozunurluk” kelime anlamı olarak ısı, ışık, nem, kimyasal ve biyolojik aktivite gibi çevresel etkiler sonucunda polimerlerin fiziksel ve/veya kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimlerin tümüdür (Shah ve ark., 2008). “American Society for Testing Materials (ASTM)” tarafından yapılan tanıma göre Biyobozunur Polimerler, doğada bulunan bakteri, alg, maya ve diğer mikroorganizmaların etkisi ile çözünebilen polimerlerdir.

Biyobozunur polimerler elde edilme yöntemlerine ve karbon kaynaklarına göre hidrolitik olarak bozunabilenler ve enzimatik olarak bozunabilenler olmak üzere 2

kategoride incelenmektedir. Şekil 2.5.'te biyobozunur polimerlerin sınıflandırılmasına dair detaylar verilmiştir.



Şekil 2.5. Biyobozunur polimerlerin sınıflandırılması (Dursun ve ark., 2010; Yoruç ve Uğraşkan, 2017)

2.1.2.1. Hidrolitik yollarla bozunabilen biyopolimerler

Hidrolitik yollarla bozunabilen biyopolimerler karbon kaynaklarına göre mikrobiyal polimerler, biyo polimerler ve petrokimyasal polimerler olmak üzere 3 alt başlıkta incelenmektedir.

Mikrobiyal polimerler doğal veya genetiği değiştirilmiş mikroorganizmalar tarafından üretilen polimerlerdir (Haugaard ve Mortensen, 2003). Bu mikroorganizmalar çok miktarda yenilenebilir materyaller üretmektedir ve üretilen bu materyalleri karbon ve enerji kaynağı olarak biriktirmektedir (Ahmadzadeh ve Khaneghah, 2019). Bu kapsamda yer alan polihidroksi alkanonat (PHA), lipid ve karbonhidratların fermantasyonu sonucu oluşan lineer bir poliesterken, polihidroksi bütirat (PHB) nişastadan üretilen bir polimerdir (Kılınç ve ark., 2017). İsviçre’de yapılan bir çalışmada PHA bazlı ve PET bazlı (petrol bazlı polimer) şişeler Lugano Gölü’ne gömülüp biyobozunurlukları incelenmiştir. PHA bazlı şişe 254 günde tamamen bozunurken PET şişenin bozunmasının 5-10 yıl sürdüğü gözlenmiştir. (Gümüşderelioğlu, 2012). PHA’nın geçirgenlik özellikleri açısından düşük yoğunluklu polietilene (LDPE); PHB’nin ise mekanik özellikler açısından

polipropilene (PP) muadil olabileceği belirtilmiştir (Ayhan, 2012; Liu, 2006; Koide ve Shi, 2007). PHA'nın degradasyonunda sülfat indirgeyen bakterilerin ürettikleri esterase, depolimeraz ve adenil sülfat redüktaz enzimlerinin önemli rolü olduğu belirtilmiştir (Pinnel ve Turner, 2019).

Biyopolimerlerden polilaktik asit (PLA); mısır, nişasta ve şeker kamışı gibi doğal, tarımsal ve sürdürülebilir kökenli, poli (α -hidroksi asit) ailesinden alifatik bir polimerdir (Yoruç ve Uğraşkan, 2017). Laktik asit monomerlerinin polimerizasyonu, molekül ağırlığı yüksek olan laktitin halka açma polimerizasyonu veya serbest asidin polikondenzasyonu ile sentezlenmektedir (Kılınç ve ark., 2017). PLA düşük su buharı ve gaz geçirgenliği, kolay işlenebilirliği, mekanik olarak sert ve esnek oluşu, güçlü sızdırmazlık ve kartona ısıyla yapıştırılabilme gibi üstün özellikler nedeniyle en çok tercih edilen biyopolimerin başında yer almaktadır (Cha ve Chinnan 2004; Weber ve ark., 2010). Gıda sektöründe daha çok gıda ambalaj malzemesi olarak, bardaklarda, esnek filmlerde ve yoğurt kaplarında kullanıldığı için HDPE ve PET'in yerini alabilecek alternatif bir biyopolimerdir (Tawakkal, 2014; Jabeen ve ark., 2015).

Petrokimyasal polimerler arasında yer alan polikaprolakton (PCL) ve polibutilen süksinat (PBS) gıda sanayiinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu polimerler petrol kökenli olmalarına rağmen biyolojik olarak parçalanabildikleri için biyopolimer olarak sınıflandırılmaktadır (Çelik ve Kılıç, 2020). PCL lineer hidrofobik ve kısmen kristal yapısı sayesinde mikroorganizmalar tarafından parçalanabildiği için petrol kökenli olan polimerlerle kompostlandığında onları biyobozunur hale getiren bir kimyasal görevini de üstlenmektedir (Kılınç ve ark., 2017; Yoruç ve Uğraşkan, 2017). Gıda ile temasa uygun olan PCL köpük kaplarda, meyve ve sebze filelerinde ve kaplamalarda gıda ambalaj malzemesi olarak kullanılmaktadır (Li, 2010).

2.1.2.2. Enzimatik yollarla bozunabilen biyopolimerler

Doğal olarak elde edilen ve yaygın şekilde kullanılan polisakkarit nişastadır (Ivankovic ve ark., 2017). Hasadı ve üretimi fazla yapılan buğday, pirinç, patates ve mısır gibi doğal ürünlerden elde edilmektedir. Nişasta, ekmek ve kek gibi ürünlerin ham maddesi olmanın yanısıra gıda endüstrisinde stabilizatör, nem tutucu, parlatma

ve yapı oluşturma gibi pek çok farklı fonksiyonu için de kullanılmaktadır (Fennema ve ark., 2017). Nişasta doğada diğer polisakkaritlerden farklı olarak granül halde bulunmakta ve suda çözüneme özelliği bulunmamaktadır. Nişasta, farklı glikoz monomerlerinden oluşan amiloz ve amilopektinden meydana gelmektedir. Amilozun doğrusal bir yapısı, amilopektinin ise yüksek derecede dallanmış bir yapısı vardır. Kimyasal yapısı sebebiyle nişasta biyofilm oluşturabilme özelliğine sahip bir polisakkaritlerden biridir. Laboratuvar ortamında hem yenilebilir hem de yenilebilir olmayan nişasta bazlı film üretimi mümkündür (Jiménez ve ark., 2012). Polimer matriksi olarak kullanılan nişasta film oluşturma özelliğine sahip olmasına rağmen hidrofilik yapısı sebebiyle tek başına gıda ambalaj malzemesi olarak üretimi uygun değildir (Priya ve ark., 2014). Bu nedenle nişastanın farklı polimerler veya farklı materyaller ile kompozit hale getirilerek zayıf olan özellikleri geliştirilebilmektedir. Farklı nişasta kaynaklarının film matriksi olarak kullanıldığı çalışmalar Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Nişastanın matriks olarak kullanıldığı çalışmalar, film üretim yöntemi ve malzemelerin özellikleri (Karakuş ve ark., 2021)

Matriks	Film/Malzeme Üretim Yöntemi	Malzeme Özellikleri	Kaynak
Mısır Nişastası	Saf su, %5 mısır nişastası, %5 PVA, %25 sitrik asit, %20 selüloz ve %0.15 gluteraldehit ilavesi, 1500 rpm'de 5 dakika karıştırma, çözelti dökme yöntemiyle film üretimi, oda sıcaklığında 72 saat kurutma	Malzemeler birbirleriyle karışabilirlik, homojen yapı, toprakta 120 gün sonunda partikül boyutunda azalma, kırılgenlik, toplam kütlede azalma ve selüloz ilavesiyle mekanik özelliklerin geliştirilmesi	Priya, ve ark., 2014
Nişasta	Saf su, nişasta, gliserol, sıcak su banyosunda 90°C'de 30 dakika 500 rpm'de çalkalama, farklı oranlarda MMT (%0,3,5) ve TiO ₂ (%0.5,1,2) ilavesi, çözelti dökme yöntemiyle film üretimi, 60°C'de 15 saat kurutma, 25°C'de %55 bağıl nemde 48 saat şartlandırma	XRD ve FTIR analizlerine sonucunda MMT ve TiO ₂ arasında sinerjik bir etkileşim varlığı, en iyi film yapısına sahip %3 MMT ve %2 TiO ₂ katkılı nişasta filmin çekme direnci değerinde %12 artış, kopma anındaki uzama miktarında %15,57 azalış	Oleyaei, ve ark., 2016
Mısır Nişastası	Saf su, mısır nişastası, 100°C'de 40 dakika karıştırma, %3 gliserol ve farklı oranlarda ε-PL ilavesi, çözelti dökme yöntemiyle film üretimi, 50°C'de 4 saat kurutma	FTIR ve DSC analizi sonucunda nişasta ile ε-PL dolgu maddesi arasında etkileşim varlığı, yapıyı güçlendirme, ε-PL katkı oranı arttıkça çekme direnci değerinde %114 ve kopma anındaki uzama miktarında %127 artış, en etkin film yapısının %2 ε-PL katkılı film olması	Zhang ve ark., 2015

Bitkilerin hücre duvarında doğal olarak bulunan heteropolisakkaritlerden biri de pektindir. Başlıca pektin kaynakları turunçgiller, elma, şeker pancarı, muz ve kavun gibi meyvelerin et ve kabuk kısımlarıdır (Atalay ve ark., 2018). Gıda endüstrisinde jelleşme, kıvam, stabilizasyon ve reolojik özellikleri sebebiyle kullanılmakta olup, yenilebilir ve biyobozunur gıda ambalaj malzemesi olarak da değerlendirilmektedir (Şen ve ark., 2021). Yapısındaki homogalakuronan, galakturonik asit ünitelerinin birleşmesiyle oluşan dallanmış bir polimerdir (Thakur ve ark., 2019). Biyobozunurluk, biyoyumluluk, fiziksel ve kimyasal özellikleri dikkate alındığında biyopolimer üretim uygulamaları için kullanılma potansiyeli olan bir hammaddedir (Batista ve ark., 2019). Ayrıca pektinin jel oluşturabilme özelliği pektinden elde edilen filmlere mekanik özellik kazandırmaktadır (Ezati ve Rhim., 2020). Yapılan bir çalışmada pektinden elde edilen biyopolimerin meyve ve sebze ambalajı olarak kullanılmasıyla birlikte ürünlerin solunum ve oksidasyon hızlarını azalttığı böylelikle raf ömrünü uzattığı rapor edilmiştir (Ciolacu ve ark., 2014). İncelenen çalışmalardaki pektinin kaynağı, film üretim yöntemi ve elde edilen malzeme özellikleri Tablo 2.3.'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Pektinin matriks olarak kullanıldığı çalışmalar, film üretim yöntemi ve malzeme özellikleri (Karakuş ve ark., 2021)

Matriks	Film/Malzeme Üretim Yöntemi	Malzeme Özellikleri	Kaynak
Yüksek Metoksilli Pektin/ Glukomannan	Saf su, %2'lik pektin solüsyonu, %2'lik glukomannan, gliserol, 40°C'de 30 dakika karıştırma, çay fenollerini ekleme, çözelti dökme yöntemine göre film üretimi, 45°C'de 10 saat kurutma, 25°C'de %50 bağıl nemde şartlandırma	Kontrol filme göre %2 katkılı filmin çekme direnci değerinde %25 ve kopma anındaki uzama oranında %45 artış, katkı oranının artmasıyla <i>E.coli</i> ve <i>S.aureus</i> bakterilerine karşı artan antimikrobiyal etki	Lei ve ark., 2020
Düşük Metoksilli Pektin	Saf su ve etanol, pektin ve gluten ilavesi, 25°C'de 30 dakika karıştırma, gliserol ilavesi, 25°C'de 6 dakika santrifüjleme 40°C'de 15 saat kurutma, soyma, %2'lik CaCl ₂ çözeltisine daldırma, 40°C'de kurutma, 25°C'de %58 bağıl nemde şartlandırma	Filmlerde gluten konsantrasyonu arttıkça su buharı geçirgenliğinde %33 ve suda çözünmede %36 azalma, pektin konsantrasyonu arttıkça artan çekme direnci değeri (2.5 MPa'dan 13 MPa'a) ve kopma anındaki uzama miktarlarında %52 artış	Sartori ve ark., 2018
Pektin	Saf su, farklı konsantrasyonlarda MKF solüsyonu, 18 saat boyunca vorteks işlemi, %3'lük pektin solüsyonunun hazırlanması, pektin solüsyonuna potasyum sorbat ve gliserol ilavesi, kalsiyum klorür ilavesi, 85°C'de karıştırma, 20 saniye vakum altında degaze işlemi, çözelti dökme yöntemiyle film üretimi, 60°C'de 3 saat kurutma, 25°C'de %57,7 bağıl nemde şartlandırma	Homojen ve pürüzsüz film yapısı, %5 MKF ilavesiyle çekme direnci değerinde %55 artış, su buharı geçirgenliğinde %20 azalma, MKF konsantrasyonu arttıkça toplam fenolik madde miktarında artış ve buna bağlı olarak filmlerin antioksidan özelliklerinde artış	Bernant ve ark., 2017
Elma Kabuğu Pektini	%3'lük elma kabuğu solüsyonu, 22000 rpm'de 5 dk homojenizasyon, 2 saat karıştırma, yüksek basınçlı homojenizatörde 138, 172 ve 207 Mpa'da homojenizasyon, sıcak su banyosunda 90°C'de 30 dakika karıştırma, buz içinde 5°C'ye soğutma, gliserol ilavesi, 23°C'de %35 bağıl nemde 32 saat kurutma, 23°C'de %52 bağıl nemde şartlandırma	Homojenizasyon basıncının artmasıyla filmlerin oksijen ve su buharına karşı duyarlılığının artması, çekme direnci ve kopma anındaki uzama miktarlarında azalma	Sablani ve ark., 2009

Kitin 1884'te tanımlanmış, selülozdan sonra en çok bulunan ve çok önemli bir doğal polisakkarittir. Kitinin %50 oranında deasetilasyonu ile sulu asidik ortamda çözünür hale gelmiş hali "kitosan" olarak adlandırılır (Şimsek ve Keyf, 2018). Kitosan biyoyoumlu, biyobozunur yapısı ve film oluşturma kabiliyeti, doğal antibakteriyel ve antifungal özelliklerinden dolayı pek çok araştırmada kullanılmıştır (Tan ve ark., 2015; Hu ve ark., 2016). Ayrıca ABD, AB ve Çin'de güvenli gıda koruyucusu olarak sınıflandırılmıştır (Al-Naamani ve ark., 2016, Alirezalu ve ark., 2019; Garavand ve

ark., 2020). Katkısız kitosan filminin mekanik ve bariyer özellikleri gıda ambalajı olarak kullanımını kısıtlamaktadır (Aljawish ve ark., 2016). Kitosan bazlı gıda ambalaj malzemelerinin mekanik ve bariyer özelliklerini geliştirmek için film formülasyonuna nano dolgular ilave edilebilir. Nano gümüş, nano çinko oksit, nano titanyum dioksit ve nanokiller en çok eklenen nanomalzemelerdir. Literatürdeki kitosan bazlı biyopolimerlerin üretim yöntemleri ve elde edilen filmlerin özellikleri Tablo 2.4.'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Kitosanın matriks olarak kullanıldığı çalışmalar, film üretim yöntemleri ve malzeme özellikleri (Karakuş ve ark., 2021)

Matriks	Film/Malzeme Üretim Yöntemi	Malzeme Özellikleri	Kaynak
Kitosan	%0,5 Kitosan çözeltisine 0.015, 0.03, 0.06 ve 0.15 M nanoAg eklenerek çözelti dökme yöntemiyle 40°C'de vakum altında kurutularak filmler hazırlanmıştır.	Çekme direncinde 60 MPa'dan 100 MPa'a artış, su buharı geçirgenliğinde %30 azalma, <i>E.coli</i> , <i>S.aureus</i> , <i>B.cereus</i> , <i>E.faecalis</i> mikroorganizmalarına karşı antimikrobiyal etkide artış	Zarei ve ark., 2014
Kitosan	%1 kitosan solüsyonuna %1,2,5,10 laponite-nanoAg eklenip çözelti dökme yöntemiyle 40°C'de 24 saat kurutularak filmler hazırlanmıştır.	Homojen dağılım, kimyasal yapı olarak uyumlu, konsantrasyonun artmasıyla çekme direncinde azalma, sudaki çözünürlükte %2 artış, sudaki şişme de %90 azalma, su buharı ve oksijen iletiminde azalma, antimikrobiyal etkide <i>S. aureus</i> , <i>E.coli</i> , <i>A. niger</i> , <i>P. citrinum</i> mikroorganizmalarına karşı katkısız kitosan filmine göre azalma, kral meyvesinin raf ömrünü 7 güne kadar uzatma	Wu ve ark., 2018
Kitosan Jelatin	2 gram Kitosan %2 asetik asit ile çözündürülür, 2 gram jelatini kollaidal gümüş çözeltisi ile karıştırılmasından sonra kitosan çözeltisinden 90 mL, Jelatin - Ag çözeltisinden 10 mL alınıp çözelti dökme yöntemiyle filmler hazırlanmıştır.	Homojen dağılımda azalma, Ag nanopartikül konsantrasyonuna bağlı olarak opaklıkta azalma, gerilme direncinde azalma (28 MPa'dan 21 MPa'a), elastiklikte %10 artış, kırmızı üzümlerin raf ömrünü 18. güne kadar uzatma	Kumar ve ark., 2018
Kitosan	%1 Kitosan matrisi içerisine 1 gram nano TiO ₂ eklenerek çözelti dökme yöntemiyle 80°C de 5 saat kurutularak filmler hazırlanmıştır.	Malzemelerin birbiri ile morfolojik ve kimyasal yapı olarak uyumlu olması. <i>S.aureus</i> , <i>S.pneumonia</i> , <i>P.aeruginosa</i> , <i>P.vulgaris</i> , <i>C.albicans</i> mikroorganizmalarına karşı yüksek antimikrobiyal aktivite	Karthikeyan a ve ark., 2017
Kitosan	Karides kabuğundan %90 oranında deasetilasyon yoluyla elde edilen kitosandan 0,5g ve 50-80 nm parçacık boyutlarına sahip 0,05 g nanoTiO ₂ kullanılarak çözelti dökme yöntemiyle filmler hazırlanmıştır.	Filmin çekme dayanımı 24,4 MPa'dan 46,33 MPa, elastikliği %15,23'ten %25,77'ye kadar artma. <i>E.coli</i> , <i>S.aureus</i> , <i>C.albicans</i> ve <i>A.niger</i> mikroorganizmalara karşı %99 bakterisidal etki. 6 gün içerisinde bozulan kırmızı üzümün raf ömrünü 22 güne kadar uzatma	Zhang ve ark., 2017

Proteinler aminoasit adı verilen ve pek çok aminoasidin kombinasyonu ile oluşan üç boyutlu ve lineer olmayan heterobiyopolimerler sınıfındadırlar (Zubair ve Ulah, 2020). Proteinlerin fizikokimyasal özellikleri onları oluşturan aminoasitlerin sayısına, sıralanmasına ve çeşidine göre farklılık göstermektedir. Doğada 100'den fazla aminoasit yapısı bulunmaktadır. 20 farklı aminoasit farklı kombinasyonlarda bir araya gelerek peptit bağlarıyla bağlanıp proteinleri meydana getirmektedir. Proteinlerin sahip olduğu 3 boyutlu ağ yapısı içerisinde kovalent, hidrojen, hidrofobik, disülfid ve kovalent olmayan farklı kimyasal bağlar bulunmaktadır (Rahmani ve ark., 2014). Proteinlerden elde edilen biyopolimerlerde film formülasyonları oluşturulurken proteinlerin yapılarındaki bu bağların denatürasyonu ve yapılarındaki açık zincirlerle plastikleştiriciler arasında bağ oluşması polimerlerin mekanik ve bariyer özelliklerini iyileştirmek için uygulanan en yaygın yöntemlerden biridir. Protein kaynaklarından biyopolimer üretebilmek amacıyla ana polipeptit zincirleri arasındaki çapraz bağların modifikasyonu gerçekleşmelidir. Protein yapısının modifikasyonu için doğru bir çözücü seçimi ile polipeptit zincirlerinin kısmi denatürasyonu, asit ya da baz ilavesiyle pH değişimleri, çapraz bağları meydana getirecek bir elektrodun varlığı, sıcaklık ve radyasyon gibi çeşitli kimyasal yöntemler uygulanır (Janjarasskul ve Krochta, 2010; Shankar ve ark., 2015, Gupta ve Nayak., 2015). Böylelikle peptit zincirleri-çözücü, polipeptit zincirleri-plastikleştirici gibi yeni bir moleküller arası reaksiyon oluşmaktadır. Ayrıca hammaddenin partikül boyutunun küçültülmesi, polimer solüsyonunun ultrasonik su banyosunda sonike edilmesi gibi fiziksel uygulamalar da protein filmlerinin yapısını geliştirmektedir.

Biyobozunur polimer çalışmalarında proteinler de sıklıkla tercih edilen yenilenebilir kaynaklar arasındadır. Sürdürülebilir olması adına doğada bol miktarda bulunmaları, hayvan ve bitki bazlı olmaları sebebiyle alternatif sunmaları (Dursun ve Erkan., 2014), aminoasit çeşidi ve dizilimi açısından farklılık göstermeleri, peptit zincirleri arasında çapraz bağlanma yaparak ağsı özellikte olmaları, gıda endüstrisi yan ürünleri oldukları için düşük maliyette olmaları, biyoyumluluk göstermeleri sebepleriyle diğer biyobozunur polimerlere göre daha fazla tercih edilmektedir. Bununla birlikte proteinlerden üretilen biyofilmler antioksidanları ve aroma bileşenlerini yapısında barındırabildiği için gıdaya kontrollü bir şekilde geçişini de sağlamaktadır (Gupta ve

Nayak., 2015). Protein bazlı filmler düşük geçirgenlik özelliğine sahip olmaları nedeniyle araştırmacıların dikkatini çekmektedir. İncelenen çalışmalarda kullanılan protein kaynağı, malzeme üretim yöntemleri ve malzeme özellikleri Tablo 2.5.'te verilmiştir.

Tablo 2.5. Proteinlerin matriks olarak kullanıldığı çalışmalar, film üretim yöntemleri ve malzeme özellikleri (Karakuş ve ark., 2021)

Matriks	Film/Malzeme Üretim Yöntemi	Malzeme Özellikleri	Kaynak
Soya Proteinini	Saf su, soya proteini, 80°C'de karıştırma, gliserol ilavesi, oda sıcaklığında %1 ZnO partiküllerini ekleme, homojenizasyon, çözücü dökme yöntemi ile film üretimi, 50°C'de 24 saat kurutma, 45°C ve %45 bağıl nemde şartlandırma	ZnO eklenmesiyle çekme direnci değerinde %33, kopma anındaki uzama değerinde %39 artış ve A.niger'e karşı antifungal etki	Wu ve ark., 2019
Peynir Altı Suyu Proteinini	Saf su, %7(w/v) PAS proteinleri, %7 kalsiyum kazeinat, %0,5 potasyum sorbat, %3,75 (w/v) gliserol, %5 montmorillonit, karıştırma, çözücü dökme yöntemi ile film üretimi, 40 °C 'de 24 saat kurutma, 25 °C'de polietilen torbada şartlandırma	%5 montmorillonit ilavesiyle su buharı geçirgenliği hızında %20 azalmasına bağlı olarak çileklerin raf ömrünü 6 günden 9 güne uzatma	Junqueira ve ark., 2017
Ayçiçeği Proteinleri	Saf su, %5 (w/v) ayçiçeği proteini, %1,5 (w/v) gliserol, 25 °C'de 30 dk karıştırma, pH=11 olarak ayarlama, karanfil esansiyel yağı ilavesi, 20.000 rpm'de 2 dk homojenizasyon, çözücü dökme yöntemi ile film üretimi, 60°C'de 5 saat kurutma, 20 °C ve %58 bağıl nemde 48 saat şartlandırma	Filmlerin antioksidan özelliklerindeki artışa bağlı olarak sardalya köftelerindeki lipit oksidasyonunu geciktirme	Salgado ve ark., 2011
Balık Jelatini	Saf su, %7(w/v) PAS proteinleri, %7 kalsiyum kazeinat, %0,5 potasyum sorbat, %3,75 (w/v) gliserol, %5 montmorillonit, karıştırma, çözelti dökme yöntemi ile film üretimi, 40 °C'de 24 saat kurutma, 25°C'de polietilen torbada şartlandırma	%8 kitosan içeren filmlerin çekme direncinde kontrol filme göre %51 artış, kopma anındaki uzamada ise %70 azalma, su buharı geçirgenliğinde %62 azalma	Hosseini ve ark., 2015

2.2. Gıda Endüstrisi Atıkları ve Potansiyel Kullanım Alanları

Dünya nüfusunun hızla artışı ve yeni dünya düzeni son birkaç yılda her alanda tüketimi ve dolayısı ile üretimi arttırmıştır. Tüketim ve üretimdeki artış sebebiyle çevreyi koruma ve kaynakların sürdürülebilirliği konularında ciddi bir farkındalık oluşmuştur. Bu farkındalık sayesinde doğal kaynakların yönetimi, yenilenebilir kaynakların kullanımı yenilenemeyen rezervlere alternatif olarak ön plana çıkarılmaktadır (Sarıtunalı, 2021). Üretimin artmasıyla birlikte gıda sanayiinde, özellikle meyve sebze işleme endüstrisinde yan ürün olarak açığa çıkan yüksek oranda kabuk, posa, çekirdek gibi biyo atıklar azot, fosfor, karbon gibi makro bileşenler ve yüksek oranda su aktivitesine sahiptirler. Bu nedenle hem katı atık birikmesine hem de fermentasyona sebep olarak fiziksel ve mikrobiyolojik olarak çevre kirliliği oluşturmaktadırlar (Topkaya, 2017). Buna rağmen biyoatıklar pektin, nişasta, selüloz, agar, jelatin, aljinat, karregenat, flavanoidler ve antioksidan maddelerce çok zengin olduklarından farklı alanlarda hammadde olarak kullanılarak katma değeri yüksek ürünlere dönüştürebilmektedir (Metin ve Baygar, 2018; Okur ve ark., 2018). Türkiye, toprak yapısının çeşitliliği, coğrafi konumu ve iklim şartları ile pekçok farklı türde bitkinin yetişmesi için elverişli bir coğrafyadır. Özellikle meyve-sebze işlemeciliği gıda endüstrisinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. 2020 yılında üretilen tarımsal ürünler içerisinde portakal üretimi %42,35, limon üretimi %18,57, elma üretimi ise %15,85 olarak kayıtlara geçmiştir (TÜİK, 2020). Aynı şekilde yüksek üretim kapasitesi ve küresel pazardaki üretim payı göz önüne alındığında Çin ve Hindistan da tarımsal atıklardan biyopolimer üretiminde lider olma kapasitesine sahiptir (Sharma ve ark., 2020). Portakal, nar, ananas, limon, patates, muz, mango kabukları, domates ve üzüm posaları yüksek polisakkarit içeriği sebebiyle biyopolimer film üretiminde tercih edilebilecek potansiyel atık çeşitlerindendir (Weshahy ve Rao, 2012; Rivas et al., 2008; Demir ve ark., 2019; Shivamathi ve ark., 2022; Chu ve ark., 2022; Deb ve ark., 2022; Meydanju ve ark., 2022).

Portakal suyu işleme endüstrisinde kullanılan portakalların toplam ağırlığının yaklaşık %50'sinin kabuk ve posa olmak üzere yan ürün olarak atıldığı, atık olarak sınıflandırılan bu biyokütlenin %95'inin su, organik ve değerli bileşenlerden oluştuğu, pektin, çözünabilir şeker, selüloz, nişasta protein, lignin, kül, yağ ve aromatik

bileşenler içerdiği literatürde yer almaktadır (Bátori ve ark., 2017). Portakal kabuğu yüksek oranda nişasta, pektin ve lif içerdiği için biyopolimer üretimi için potansiyel bir atık kaynağı olarak nitelendirilmektedir (Ojha ve ark., 2012).

Punicaceae ailesinin bir üyesi olan nar meyvesi; antik çağlardan beri mistik özellikleri ile ön plana çıkan pek çok farklı amaçla kullanılan bir meyvedir. Nar meyvesinin fenolik bileşenlerce zengin bir içeriğe sahip olduğu pek çok çalışma ile açığa çıkarılmıştır (Wang ve ark., 2010; Costa ve ark., 2020; Kaderides ve ark., 2021). Nar kabuğunun ise posasından ve meyvesinden çok daha fazla antioksidan, antosiyanin, gallotanenler, hidroksisinamik asit, hidroksibenzoik asit, elajitanenler ve gallagil esterleri içerdiği tespit edilmiştir (Yılmaz ve Usta, 2010). Ayrıca nar kabuğunun çok yüksek antioksidan, antikanserojenik, antienflamatuar ve antimikrobiyel etki gösterdiği de pek çok çalışma ile ispatlanmıştır (Al-Zoreky, 2009; Jain ve ark., 2012; Türkyılmaz ve ark., 2017). Nar kabuğunun ekstraksiyonu sonucu elde edilen antioksidan, antimikrobiyal katkı maddeleri ve pektin gıda ambalaj malzemelerinin yapısına eklenerek aktif ambalaj malzemelerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Gullon ve ark., 2016; Farshi ve ark., 2019; Azarpazhooh ve ark., 2019). Nar kabuğu genel olarak maş fasülyesi, kitosan, jelatin, nişasta, PVA, PLA gibi polimer matrislerinin yapısına antimikrobiyal aktivite sağlanması amacıyla ekstrakte edilmiş şekilde eklenmektedir (Bertolo ve ark., 2020; Costa ve ark., 2020; Moghadam ve ark., 2020; Bodbodak ve ark., 2021; Zeng ve ark., 2021).

Gıda endüstrisinde yan ürün olarak açığa çıkan atıkların, biyopolimer üretiminde değerlendirilmesi ile ilgili pekçok çalışma yürütülmektedir. Soya hem üretimi hem de tüketimi fazla olduğu için çok fazla atık veren ürünlerden biridir. Bu nedenle diğer biyopolimer kaynaklarına göre ekonomik olarak çok daha düşük maliyetlidir. (Kowalczyk ve Piorkowska 2012). Soyadan elde edilen protein izolatına valeks taneninin %15 eklenmesiyle elde edilen filmlerin oksijen geçirgenliğinde düşüş, su buharı geçirgenliğinde ise artış gözlenmiştir. Eklenen valeks taneninin artan konsantrasyonu ile filmlerin çekme mukavemeti artarken çekme anındaki uzama miktarlarında artış gözlenmiştir. Bu durumun sebebi ise tanenlerin, protein izolatındaki hidrofobik uçlarla etkileşime girerek zayıf hidrojen bağları oluşturması ve

filmlerin kırılgenliğının artmasıdır (Wang ve ark., 2017).

Muz meyvesi işlendikten sonra yaklaşık olarak %30'u kadar muz kabuğu yan ürün olarak açığa çıkmaktadır. Muz kabuğu potasyum açısından çok zengin bir atık olmasının yanısıra selüloz, antioksidan ve fenolik bileşenler bakımından da oldukça zengin ve katma değeri yüksek bir atık çeşididir (González-Montelongo vd., 2010). Muz kabuğundan elde edilen pektinden üretilen filmlerin yapısına kristal nanoselüloz partiküllerinin eklendiği bir çalışmada selüloz nanokristallerinin konsantrasyonunun %5 olduğu filmde en yüksek mekanik özellikler gözlemlenirken, daha yüksek konsantrasyonlarda çekme mukavemetinin düştüğu gözlenmiştir. (Oliveria ve ark., 2017).

Nar işleme endüstrisinde %55 oranında nar kabuğu açığa çıkmaktadır. Nar kabuğu pektini tanen, antioksidan ve antimikrobiyel bakımından oldukça zengin bir bileşime sahiptir. Film matriksi olarak nar kabuklarından elde edilen pektinin kullanıldığđı bir çalışmada ise formülasyona farklı konsantrasyonlarda montmorillonit kili eklenmiş olup, filmlerin mekanik ve bariyer özellikleri incelenmiştir. Montmorillonit kil konsantrasyonunun artmasıyla su buharı geçirgenliğinde %40'lık azalma; çekme anındaki uzama miktarında düşüş gözlenmiştir. (Oliveria ve ark., 2016).

Gıda endüstrisindeki pekçok farklı atık biyopolimer üretiminde kullanılabilecek ve yüksek katma değeri olan malzemelere dönüştürülebilecek potansiyele sahiptir. Ayrıca gıda endüstrisi atıklarından biyopolimer üretimi ile beraber hem petrol bazlı polimerlerin hem de gıda atıklarının oluşturduğu çevre kirliliğinin önüne geçmek mümkündür. Yapılan çalışmalarda genellikle atığın içinden ekstrakte edilen bir bileşen film matriksi ya da dolgu malzemesi olarak kullanılırken bu çalışma kapsamında atıktan herhangi bir bileşen ekstrakte edilmeden, "0 Atık Yaklaşımı" dikkate alınarak atığın tamamından film üretilebilme potansiyeli araştırılmıştır.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Nar ve portakal kabuğu atıkları, Döhler Group'un Karaman'daki meyve işleme fabrikasından temin edilmiştir. Gliserol (analitik derece) ve sitrik asit monohidrat, etanol Merck Chemicals Co.'dan (Darmstadt, Almanya) satın alınmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Atık nar ve portakal kabuğundan toz hammadde eldesi

Nar ve portakal kabukları kaba kirlerinden arındırılmak ve yapılarında bulunan suda çözünen şekerin bir kısmının uzaklaştırılmasını sağlamak için 1 gece musluk suyunda bekletilmiş ve sonrasında temizlenerek kabaca kesilmiştir. Kalan şekeri çıkarmak için 1 birim kabuk 1,5 birim saf su olacak şekilde erlenlere tartılmıştır. Erlenler çalkalamalı sıcak su banyosunda 115 rpm'de 20 dakika boyunca 35°C'de çalkalanmıştır (Bátori ve ark. 2007). Bu adım iki kez tekrarlanmıştır. Yıkama aşamaları tamamlandıktan sonra, kabuklar 2 cm çapında daha küçük ve düzenli parçalar halinde kesilmiş ve zorlanmış taşınım prensibi ile çalışan kurutma fırınında (Zhicheng, ZRD-5110, Çin) 60°C'de 24 saat kurutulmuştur. Kurutulmuş kabuk parçaları, laboratuvar öğütücüsü kullanılarak öğütülmüştür. Parçalamanın etkinliğini arttırmak ve daha ince partikül boyutlu toz elde etmek için kabuklar kahve değirmeni (Bosch MKM 6000, Slovenya) kullanılarak ikinci kez öğütülmüştür. Elde edilen inceltilmiş tozlar öğütme aşamasının herhangi bir basamağında nem çekmiş olabileceği ihtimali göz önüne alınarak etüvde 60°C'de 24 saat boyunca kurutulmuştur. Son olarak, nar ve portakal kabuğu tozları, sarsak elek sistemi (Retsch, AS-200, Almanya) kullanılarak 150-125, 106 -75, 75-53 ve 53 µm olacak şekilde partikül boyutuna göre sınıflandırılmıştır. Atık nar kabukları için toz hammadde eldesi akış şeması Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Nar ve portakal kabuğu tozlarını elde etmek için uygulanan ön işlemler

3.2.2. Atık nar ve portakal kabuklarından biyofilm üretimi

Farklı partikül boyutlarına ayrıştırılan nar ve portakal kabuğu tozları farklı konsantrasyonlarda (%3-5) sitrik asit anhidrat içeren saf suda çözündürülmüştür. Nar kabuğu film solüsyonunu hazırlamak için her bir partikül boyutundaki nar kabuğu tozlarından %5 (a/h); portakal kabuğu tozlarından ise %2 (a/h) olacak şekilde beherlere alınmıştır. Üzerlerine %7 (a/h) ve %10 (a/h) olmak üzere iki farklı konsantrasyonda gliserol eklenmiştir. Gliserol ve tozların homojen bir şekilde karışmasını sağlamak için oda sıcaklığında 500 rpm'de 2 dakika boyunca karıştırılmıştır. Karışım homojen ve viskoz bir yapıya ulaştıca üzerlerine 100 mL'yi tamamlayacak şekilde %3 ve %5 sitrik asit anhidrat içeren çözelti eklenerek film solüsyonları hazırlanmıştır. Film solüsyonları manyetik karıştırıcı kullanılarak 5'er dakika boyunca 500 rpm'de ve oda sıcaklığında karıştırılmıştır. Daha homojen bir yapı elde edebilmek için film solüsyonları Ultra Turrax T18 (IKA, Almanya) kullanılarak 10.000 rpm'de 5 dakika daha homojenize edilmiştir. Yapılan ön denemeler 10.000 rpm'de yapılan karıştırma işlemleri sonucunda minimum düzeyde hava kabarcığı oluştuğunu ve elde edilen filmlerin yapısının pürüzsüz, hava kabarcıksız ve homojen olduğunu göstermiştir. 5 dakikanın sonunda beherler manyetik karıştırıcıda 500 rpm'de film çözeltilerinin merkez sıcaklığı 70°C olana kadar karıştırılmıştır. Daha sonra film solüsyonları vakum pompası kullanılarak degaze edilmiştir. Bu işlem ile turrax işleminde oluşan hava kabarcıklarını uzaklaştırmak amaçlanmıştır. Son olarak her bir formülasyon için 30 mL'lik film solüsyonu 12 cm çapındaki cam petrilere dökülüp 65°C'de 24 saat etüvde (Ecocell 222, MMM, Almanya) kurutulmuştur. Filmler 24 saat sonra soyulmuş ve 48 saat desikatörde tutulmuştur.

Her iki atık türü (nar ve portakal) için 16 farklı film formülasyonu hazırlanmış olup, partikül boyutu, plastikleştirici (gliserol) konsantrasyonu ve asit (sitrik asit) konsantrasyonu ana parametreleri için çalışma planı Tablo 3.1.'de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Nar ve portakal kabuğu filmlerinde partikül boyutu, asit ve gliserol konsantrasyonu parametreleri için deneme deseni

Biyofilm Kodu	Partikül Boyutu (μ)	Asit Konsantrasyonu (%)	Gliserol Konsantrasyonu (%)
N1/P1	150-125	3	7
N2/P2			10
N3/P3		5	7
N4/P4			10
N5/P5	106-75	3	7
N6/P6			10
N7/P7		5	7
N8/P8			10
N9/P9	75-53	3	7
N10/P10			10
N11/P11		5	7
N12/P12			10
N13/P13	53	3	7
N14/P14			10
N15/P15		5	7
N16/P16			10

N: Nar kabuğu, P: Portakal kabuğu

3.3. Analizler

3.3.1. Fiziksel analizler

3.3.1.1. Kalınlık

Dökülen filmlerin kalınlığı, her filmin rastgele üç konumundan Şekil 3.2.'de gösterildiği gibi bir dijital mikrometre (Asimeto 107-01-0, Almanya) kullanılarak belirlenmiş olup, her formülasyon için 2 paralel filmden olmak üzere toplam 6 ölçüm alınmıştır.



Şekil 3.2. Kalınlık ölçmede kullanılan dijital mikrometre

3.3.1.2. Renk

Elde edilen nar kabuğu ve portakal kabuğu filmlerinin renkleri, Şekil 3.3.'teki renk ölçüm cihazı (PCE-CSM 7, Meschede, Almanya) ile yapılmış olup, L^* ($L=0$ siyah, $L=100$ beyaz), a^* ($-a=$ yeşillik, $+a=$ kırmızılık), b^* ($-b=$ mavilik, $+b=$ sarılık) ve ΔE değerleri belirlenmiştir. Renk ölçümleri her film yüzeyinin 3 farklı noktasında gerçekleştirilmiş ve her formülasyon için 2 paralelden ortalama altı ölçüm alınmıştır.



Şekil 3.3. Taşınabilir renk ölçüm cihazı

3.3.2. Mekanik analiz

Mekanik özellikler (çekme mukavemeti ve kopma anındaki uzama) polimerler için önemli özelliklerdendir. Elde edilen filmlerin mekanik özelliklerini belirleyebilmek için Şekil 3.4.'teki tekstür analiz cihazı (TA.XT plus, Stable Micro System, İngiltere) kullanılarak çekme mukavemeti (MPa) ve kopma anındaki uzama (%) miktarları belirlenmiştir. Analiz için A/MTG çekme çeneleri kullanılmıştır. Testten önce filmler 80×20 mm boyutlarında dikdörtgen şeritler halinde kesilmiştir. Proplar arasındaki mesafe 50 mm, hareketli probun hızı 10 mm/s olarak ayarlanmış ve her filmde alınan 3 farklı kesitte gerçekleştirilmiştir (Dehghani ve ark., 2018). Sonuçlar 2 paralel filmde alınan 6 değer ortalama ölçümü olarak verilmiştir.



Şekil 3.4. Tekstür analiz cihazı

3.3.3. Işık geçirgenliği ve transparanlık analizi

Işık geçirgenliği testi için filmler 4 mm boyunda ve 40 mm eninde kesilmiştir. Film kesitleri UV-VIS (Shimadzu, UV–1240, Kyoto, Japonya) spektrofotometre hücresine yerleştirilmiş ve filmlerin analizi 250-850 nm arasındaki dalga boylarında gerçekleştirilmiştir (Liang ve ark., 2018). Filmlerin transparanlığı aşağıdaki formülden (Denklem 3.1) hesaplanmıştır.

$$Transparanlık = \frac{A(film)}{x} \quad (3.1)$$

Burada $A_{(film)}$ biyofilmin absorbansını ve x ise filmin kalınlığını ifade etmektedir.

3.3.4. Antimikrobiyal aktivite analizi

Filmlerin *E.coli* ve *S. aureus* bakterileri üzerindeki antimikrobiyal aktiviteleri agar disk difüzyon yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir (CLSI, 2012). Hem nar (N3, N7, N11, N15) hem de portakal kabuğu (P3, P7, P11, P15) filmlerinde %5 asit ve %7 gliserol içeren formülasyonlar seçilmiş olup, partikül boyutunun antimikrobiyal özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, her bir bakteri, 24 saat boyunca 37°C'de Trypticase Soy Broth (TSB) agar stok kültürden aktive edilmiştir. 24 saat sonunda aktifleşen her bir bakteri süspansiyonundan 1 mL alınmış ve 9 mL'lik agara eklenerek ikinci bir aktifleştirme yapılmıştır. İkinci 24 saatin sonunda bakteri içeren 100 µl süspansiyon Mueller-Hinton Agar (Merck 105437) üzerine yayılmış ve birkaç dakika içinde bakteriyel süspansiyonun besiyeri tarafından emilmesi için bırakılmıştır. Elde edilen filmler 10 mm çapında kesilmiş ve aşılınmış petri kutularına yerleştirilmiştir. Petri kapları 37°C'de 24 saat inkübe edilmiştir. Filmlerin antimikrobiyal aktivitesi, film disklerinin etrafındaki inhibisyon büyüme zonlarının ölçülmesiyle belirlenmiştir (Hanani ve ark., 2018). Bir filminden alınan 2 disk test edilmiş olup, 2 paralel olarak çalışılmıştır. Sonuçlar elde edilen 4 değerın ortalaması olarak verilmiştir.

3.3.5. DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) yöntemiyle antioksidan tayini

Nar ve portakal kabuğu filmlerinin antioksidan aktivitelerini tayin edebilmek için 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) yöntemi kullanılmıştır. Hem nar (N3, N7, N11, N15) hem portakal (P3, P7, P11, P15) kabuğu filmlerinde %5 asit ve %7 gliserol içeren formülasyonlar kullanılmış olup partikül boyutunun antioksidan özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. İlk olarak 100 mg film örnekleri 2 mL saf su içeren cam şişeye alınıp oda sıcaklığında (25°C) homojen hale gelinceye kadar karıştırılmıştır. Elde edilen solüsyondan 1 mL alınmış ve 0,04 g/L DPPH içeren etanol solüsyonuna eklenmiştir. Karışım 30 dakika boyunca karanlıkta bekletilmiş ve UV-VIS spektrometrede 517 nm dalga boyunda 3 tekrarlı olacak şekilde ölçülmüştür (Almasi ve ark., 2020). Film içermeyen solüsyon ise kontrol olarak kullanılmıştır. Filmlerin antioksidan özelliği yüzde olarak aşağıdaki formülden hesaplanmıştır.

Örneklerin antioksidan aktivitesi, aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 3.2) hesaplanmıştır.

$$\% \text{ DPPH giderme aktivitesi} = \frac{A(\text{kontrol}) - A(\text{film})}{A(\text{kontrol})} \quad (3.2)$$

Burada $A_{(\text{kontrol})}$ kontrolün absorbansını ve $A_{(\text{film})}$ ise biyofilmin absorbansını ifade etmektedir.

3.3.6. Morfolojik analiz (SEM)

Atıkların matriks içindeki yapılarının daha detaylı biçimde incelenebilmesi için SEM analizi hizmet alımı olarak SARGEM’de yaptırılmıştır. Hem nar (N3, N7, N11, N15) hem portakal (P3, P7, P11, P15) filmlerinde %5 asit ve %7 gliserol içeren formülasyonlar kullanılmış olup partikül boyutunun mikroyapısal özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Analiz öncesinde filmler küçük parçalar halinde kesilmiş, platin ile kaplanarak filmlere iletkenlik kazandırılmıştır. Görüntüleme düşük vakum altında 115 kV’da yapıp, 50x-100x-500x ve 1000x aralığında görüntüler elde edilmiştir. (Shams ve ark., 2019).

3.3.7. Termal analiz (TGA-DSC)

Eş zamanlı TGA-DSC (Termogravimetrik Analiz- Diferansiyel Taramalı Kalorimetre) termal analizi ile malzemelerin ısı kapasitelerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi belirlenmiştir. Aynı zamanda malzemeler ısıtıldığında yapılarında meydana gelen ağırlık kaybının sıcaklığa karşı grafiği oluşturularak malzemenin termal kararlılığı belirlenmektedir. Nar kabuğu ve portakal kabuğu filmlerinin termal özellikleri TGA-DSC (Netzsch, STA 449f1a, Germany) analizi ile belirlenmiştir. Hem nar (N3, N7, N11, N15) hem portakal kabuğu (P3, P7, P11, P15) filmlerinde %5 asit ve %7 gliserol içeren film formülasyonları kullanılmış olup, partikül boyutunun termal özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen nar ve portakal kabuğu filmlerinden 5 mg örnek alınarak alüminyum kaplara tartılarak TGA-DSC cihazına yerleştirilmiştir. 50-250°C sıcaklıkları arasında 10°C/dk hızında azot atmosferinde analiz edilmiştir (Ouyang ve ark., 2016).

3.3.8. İstatistiksel analiz

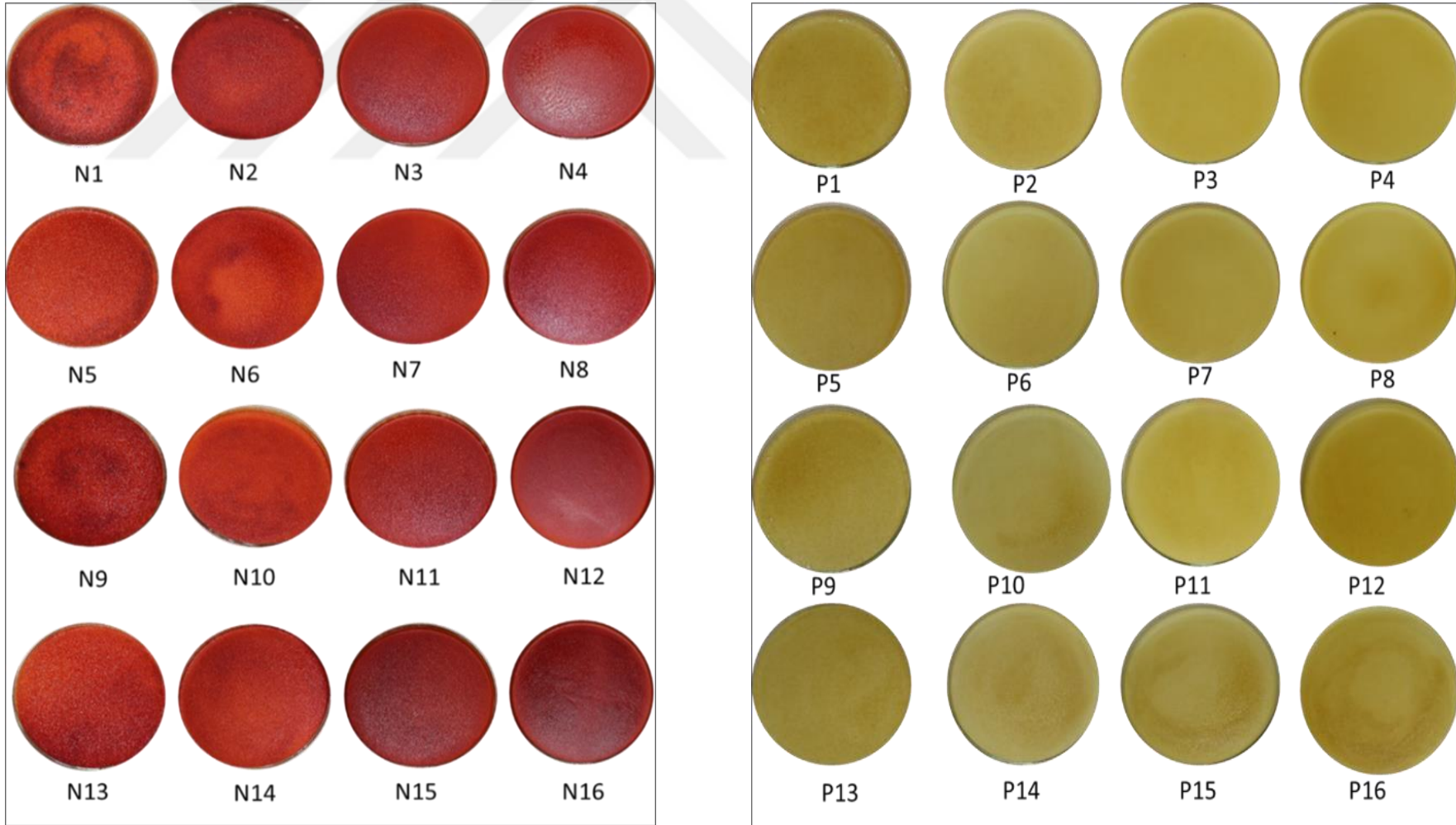
DeneySEL parametrelerin (partikül boyutu, asit ve plastikleştirici konsantrasyonları) biyofilmlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri, Minitab istatistik programı kullanılarak varyans analizi (3 yollu Anova) ile değerlendirilmiş ve %5 anlamlılıkta çoklu karşılaştırmalar için Duncan testi uygulanmıştır. Partikül boyutunun antimikrobiyal, antioksidan ve ışık geçirgenliğine etkisi tek yönlü Anova ile değerlendirilmiştir. Tüm veriler ortalama $\pm$ standart sapma olarak sunulmuştur.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Fiziksel Özellikler

4.1.1. Kalınlık ve renk

Nar kabuğu ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlere ait kalınlık ve renk değerleri sırasıyla Tablo 4.1.' ve Tablo 4.2.'de verilmiştir. Nar kabuğundan elde edilen biyofilmlerin kalınlıkları 0,39-0,55 mm arasında; portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin kalınlıkları ise 0,35-0,43 mm arasında belirlenmiştir. Her bir atıktan elde edilen 16 filmin görüntüleri Şekil 4.1.'de verilmiş olup narda kabuk rengine bağlı olarak kırmızı rengin, portakal da ise sarı rengin hâkim olduğu görülmektedir. Gıda ambalaj malzemelerinin rengi gıdaların pazarlanmasında büyük bir role sahip olup ve tüketici kabul edilebilirliğini direkt olarak etkileyebilmektedir.



Şekil 4.5. Nar ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmler

Tablo 4.1.Nar kabuğundan elde edilen biyofilmlerin renk ve kalınlık değerleri

Film Kodu	Partikül Boyutu (mikron)	Asit Kons. (%)	Gliserol Kons. (%)	L*	a*	b*	Kalınlık (mm)
N1	150-125	3	7	44,89±2,06 ^{Aax}	24,52±2,42 ^{Aax}	7,56±2,44 ^{Aabx}	0,44±0,03
N2	150-125	3	10	47,52±0,38 ^{Aay}	28,13±0,23 ^{Aax}	12,35±0,76 ^{Aax}	0,48±0,02
N3	150-125	5	7	50,50±1,67 ^{Aax}	28,13±1,03 ^{Aax}	10,83±1,95 ^{Aax}	0,51±0,06
N4	150-125	5	10	51,21±0,61 ^{Aax}	28,40±0,79 ^{Abx}	12,72±1,61 ^{Abx}	0,55±0,03
N5	106-75	3	7	47,32±0,19 ^{Aax}	29,03±0,73 ^{Aax}	12,59±1,16 ^{Aax}	0,45±0,04
N6	106-75	3	10	48,22±0,16 ^{Aay}	29,66±0,07 ^{Aay}	14,20±0,21 ^{Aay}	0,49±0,04
N7	106-75	5	7	49,23±0,77 ^{Aax}	31,03±0,41 ^{Aax}	14,81±1,05 ^{Aax}	0,48±0,03
N8	106-75	5	10	50,52±0,33 ^{Aabx}	32,29±0,23 ^{Aax}	16,56±0,09 ^{Aax}	0,49±0,05
N9	75-53	3	7	44,75±0,89 ^{Aay}	25,16±1,15 ^{Aax}	6,28±1,37 ^{Abx}	0,43±0,04
N10	75-53	3	10	45,01±0,08 ^{Aby}	25,67±0,40 ^{Aby}	7,35±0,21 ^{Aby}	0,45±0,05
N11	75-53	5	7	52,34±0,95 ^{Aax}	30,68±1,03 ^{Aax}	13,49±1,71 ^{Aax}	0,45±0,04
N12	75-53	5	10	49,51±0,06 ^{Abx}	27,40±0,06 ^{Abx}	9,21±0,30 ^{A^{chx}}	0,52±0,06
N13	53	3	7	45,13±0,47 ^{Aay}	26,43±0,11 ^{Aax}	7,06±0,49 ^{A^{abx}}	0,39±0,04
N14	53	3	10	44,66±0,57 ^{Aby}	25,59±1,05 ^{Abx}	6,97±0,68 ^{Abx}	0,48±0,02
N15	53	5	7	51,10±1,14 ^{Aax}	29,76±1,24 ^{Aax}	11,51±2,07 ^{Aax}	0,43±0,04
N16	53	5	10	48,72±0,49 ^{Abx}	27,37±1,58 ^{Abx}	8,48±1,24 ^{A^{cx}}	0,55±0,05

A-B: aynı partikül boyutu ve asit konsantrasyonunda gliserol konsantrasyonları arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

a-d: Aynı asit ve gliserol konsantrasyonunda partikül boyutları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

x-y: aynı partikül boyutu ve aynı gliserol konsantrasyonunda asit konsantrasyonları arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

Tablo 4.2. Portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin renk ve kalınlık değerleri

Film Kodu	Partikül Boyutu (mikron)	Asit Kons. (%)	Gliserol Kons. (%)	L *	a*	b*	Kalınlık (mm)
P1	150-125	3	7	65,56±0,92 ^{Bay}	12,08±0,85 ^{Aax}	38,05±0,90 ^{Acby}	0,41±0,04
P2	150-125	3	10	84,61±0,00 ^{Aax}	9,54±0,21 ^{Aax}	42,31±0,56 ^{Aax}	0,40±0,02
P3	150-125	5	7	81,91±0,80 ^{Aax}	11,34±0,42 ^{Aax}	42,27±0,08 ^{Aabx}	0,42±0,05
P4	150-125	5	10	83,84±0,56 ^{Aax}	9,58±0,34 ^{Aax}	41,80±0,82 ^{Abx}	0,43±0,02
P5	106-75	3	7	64,50±4,98 ^{Aax}	9,85±0,31 ^{Abx}	36,47±0,33 ^{Bcx}	0,38±0,03
P6	106-75	3	10	84,77±0,88 ^{Aax}	9,60±0,18 ^{Aax}	42,27±0,18 ^{Aax}	0,42±0,06
P7	106-75	5	7	84,33±1,85 ^{Aax}	9,73±0,48 ^{Abx}	39,90±1,59 ^{Abx}	0,40±0,07
P8	106-75	5	10	84,26±0,40 ^{Aax}	9,38±0,28 ^{Aax}	39,19±0,12 ^{Acy}	0,48±0,06
P9	75-53	3	7	68,04±0,25 ^{Bay}	10,21±0,33 ^{Abx}	39,12±0,57 ^{Bby}	0,33±0,01
P10	75-53	3	10	83,05±2,40 ^{Aax}	11,06±1,45 ^{Aax}	44,47±0,02 ^{Aax}	0,39±0,05
P11	75-53	5	7	83,19±0,04 ^{Aax}	10,23±0,00 ^{Aabx}	45,17±0,06 ^{Aax}	0,40±0,02
P12	75-53	5	10	84,81±0,47 ^{Aax}	9,58±0,29 ^{Aax}	41,59±0,13 ^{Bby}	0,39±0,05
P13	53	3	7	67,21±0,06 ^{Bay}	11,21±0,06 ^{Aabx}	41,23±0,07 ^{Aay}	0,35±0,02
P14	53	3	10	81,56±1,30 ^{Aax}	11,99±1,33 ^{Aax}	46,46±3,17 ^{Aax}	0,37±0,04
P15	53	5	7	83,55±1,80 ^{Aax}	10,68±0,52 ^{Aabx}	46,47±0,93 ^{Aax}	0,37±0,03
P16	53	5	10	82,92±1,56 ^{Aax}	10,39±1,12 ^{Aax}	44,57±0,14 ^{Aax}	0,37±0,03

A-B: aynı partikül boyutu ve asit konsantrasyonunda gliserol konsantrasyonları arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

a-d: Aynı asit ve gliserol konsantrasyonunda partikül boyutları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

x-y: aynı partikül boyutu ve aynı gliserol konsantrasyonunda asit konsantrasyonları arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

4.1.1.1. Partikül boyutunun nar ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin renk özelliklerine etkisi

Nar kabuğundan elde edilen biyofilmlerde (N1, N3, N5, N7) %3 ve 5 asit ve %7 gliserol konsantrasyonunda, partikül boyutunun L* ve a* değerlerinde istatistiki olarak önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir (p>0.05). Nar kabuğu filmlerinde a* değerinin yüksek çıkmasının sebebi yapısında bulunan gallik asit, kuersetin gibi tanenler ve antosiyanin gibi kırmızı renk maddeleridir (İkinci ve ark., 2021). 150-125 mikron ve 106-75 mikron partikül boyutundaki nar kabuklarından elde edilmiş filmlerde (N2, N4, N6, N8), %3 ve 5 asit ve %10 gliserol konsantrasyonunda L* değerleri arasında önemli bir fark görülmemiştir. Ancak partikül boyutu 75-53 mikron altındaki nar kabuklarından elde edilen filmlerde L* değerinde önemli ölçüde azalma gözlenmiştir. Partikül boyutunun azalması yüzey alanını arttırdığından gliserol ile daha

fazla etkileşime girmiş ve gliserol matrikste tutulup yüzeye çıkması engellenmiştir. Partikül boyutu arttıkça gliserol yapıdan daha kolay ayrılarak yüzeye çıkmış ve film yüzeylerinde parlamaya neden olmuştur.

Partikül boyutunun a^* değeri üzerindeki etkisi incelendiğinde yalnızca 106-75 mikron partikül boyutuna sahip olan nar kabuklarından elde edilen filmlerde istatistiki açıdan fark oluşmuştur. 106-75 mikron partikül boyutuna sahip filmlerde a^* değeri (32.29) istatistiki olarak diğer partikül boyutuna sahip filmlerin a^* değerinden daha yüksektir (N8). 150-125 mikron, 75- 53 mikron ve 53 mikron partikül boyutundan elde edilen filmlerin (N4, N12, N16) a^* değerleri arasında %5 asit ve %10 gliserol konsantrasyonunda önemli bir farklılık meydana gelmemiştir ($p>0.05$).

Nar kabuğundan elde edilen filmlerde partikül boyutunun b^* değeri üzerine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda %3 asit ve %10 gliserol içeren 150-125 mikron (N2) ve 106-75 mikron (N6) partikül boyutuna sahip nar kabuklarından oluşan filmlerin b^* değerinin 75-53 mikron (N10) ve 53 (N14) mikron altındaki partikül boyutlarından elde edilen filmlere göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. ($p\leq 0.05$). %3 asit ve %7 gliserol içeren filmlerde ve %5 asit ve %10 gliserol içeren filmlerde partikül boyutunun değişmesi filmlerin b^* değerleri üzerinde anlamlı bir değişikliğe sebep olmamıştır ($p>0.05$).

Portakal kabuklarından elde edilen filmlerde partikül boyutunun L^* , a^* ve b^* değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar portakal kabuğu filmlerinin b^* değerlerinin nar kabuğu filmlerinin b^* değerlerine kıyasla çok daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Portakal kabuğunun yapısında çok düşük miktarda kırmızılık ve bol miktarda karotenoid bulunduğu için portakal kabuğu filmlerin b^* değerleri a^* değerlerinden daha yüksek çıkmıştır (Ghanem ve ark., 2012). Tüm partikül boyutları için %3 asit ve %7 gliserol konsantrasyonlarında portakal kabuğundan elde edilen filmlerin (P1, P5, P9, P13) L^* değerinde istatistiki açıdan herhangi bir fark bulunmamıştır ($p>0.05$). Ayrıca aynı formülasyonlar için partikül boyutu ile a^* değeri arasında bir trend ortaya çıkmamıştır. Portakal kabuğu filmlerinde %5 asit konsantrasyonu ve %10 gliserol konsantrasyonu için partikül boyutunun

değiştirilmesiyle L^* ve a^* değerlerin açısından önemli bir farklılık gözlemlenmemiştir (P4, P8, P12, P16). Ancak b^* değeri 53 mikron olan en küçük partikül boyutunda (P16), diğer partikül boyutlarına (P4, P8, P12) kıyasla daha yüksektir. %3 asit ve %7 gliserol konsantrasyonunda en küçük partikül boyutuna sahip olan filmin (P13) b^* değeri diğer partikül boyutlarına (P1, P5, P9) göre önemli ölçüde daha yüksek olarak gözlenmiştir. Ayrıca, %3 asit ve %10 gliserol konsantrasyonunda (P2, P6, P10, P14) partikül boyutunun L^* , a^* ve b^* değerleri üzerinde önemli bir etkisi tespit edilmemiştir. Sitrik asit ve gliserol konsantrasyonu sırasıyla %5 ve %7 olduğunda, partikül boyutları arasında L^* değeri açısından anlamlı bir fark bulunmamakta ve a^* ve b^* değerleri (P3, P7, P11, P15) için herhangi bir trend gözlenmemektedir.

Patates kabukları ve lime posalarından biyofilm üretilen bir çalışmada ise polimer solüsyonunda patates kabuğu oranı arttığında filmlerin a^* değerlerinde, lime posası oranı arttığında ise filmlerin b^* değerlerinde artış gözlenmiştir. (Borah ve ark., 2017). Yine aynı çalışmada patates kabuklarının ve lime posasının partikül boyutunu küçültmek için film formülasyonlarına farklı sürelerde ultrason işlemi uygulanmış ve süre uzadıkça filmlerin L^* değerlerinde artış gözlenmiştir. Partikül boyutu küçüldükçe film yapısındaki bağlar kuvvetlendiği ve yapıdaki boşluklar azaldığı için film yüzeyine çarpan ışınlar kırınıma uğramadan direkt yansıtıldığı için daha parlak görüntüler elde edilmiştir.

4.1.1.2. Asit konsantrasyonun nar ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin renk özelliklerine etkisi

Elde edilen nar kabuğu ve portakal kabuğu filmlerinde aynı partikül boyutu ve gliserol konsantrasyonunda asit konsantrasyonunun filmlerin renk değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Nar kabuğu filmlerinde 150-125 mikron (N2, N3) ve 106-75 mikron (N5, N7) için %7 gliserol içeren filmlerde sitrik asitin %3'ten %5'e artışı L^* değerinde önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Ancak, 75-53 mikron (N9, N11) ve 53 mikron (N13, N15) altındaki partikül boyutuna sahip nar kabuklarından elde edilen filmlerde %7

gliserol konsantrasyonunda asit konsantrasyonunun artması filmlerin L^* değerlerini arttırmıştır. %10 gliserol içeren filmlerde ise asit konsantrasyonunun artması tüm partikül boyutlarında L^* değerinin artmasına neden olmuştur ($p \leq 0.05$).

Tüm partikül boyutlarında ve %7 gliserol konsantrasyonunda a^* ve b^* değerleri artan asit oranından etkilenmemiştir. Ancak 106-75 mikron (N6, N8) ve 75-53 mikron (N10, N12) partikül boyutlarında ve %10 gliserol içeren filmlerde asit konsantrasyonunun artışı a^* ve b^* değerlerinde önemli artışa neden olmuştur ($p \leq 0.05$). Diğer partikül boyutlarında ise asit konsantrasyonunun artması filmlerin a^* ve b^* değerlerini etkilememiştir.

%7'lik gliserol konsantrasyonunda, asit konsantrasyonunun %3'ten %5'e yükselmesi 150-125 mikron (P1, P3), 75-53 mikron (P9, P11) ve 53 mikron (P13, P15) partikül boyutlarını içeren filmlerde L^* ve b^* değerlerinde artışa neden olmuştur. Ancak %7 gliserol konsantrasyonunda 106-75 (P5, P7) partikül boyutu için L^* ve b^* değerleri üzerinde asit konsantrasyonunun herhangi bir etkisi olmamıştır. Asit konsantrasyonunun değişmesi hiçbir partikül boyutu için a^* değerinde önemli bir etkiye sebep olmamıştır. Gliserol konsantrasyonu %10 olduğunda, sitrik asit konsantrasyonunun tüm partikül boyutları için L^* ve a^* değerleri üzerinde önemli etkisi olmamıştır. 106-75 mikron (P6, P8) ve 75-53 mikron (P10, P12) partikül boyutları için, portakal kabuğundan elde edilen filmlerde asit konsantrasyonunun artmasıyla sadece b^* değeri önemli ölçüde azalmıştır.

Asit konsantrasyonunun %3'ten %5'e çıkmasıyla L^* değerinde artışın sebebi, polimer yapısındaki amorf bölgelerin asit ile reaksiyona girerek daha kristal bir yapı oluşturması ve biyofilm üzerine gelen ışığın kristal bölgelerde kırılmadan geri yansıtılması olabilir. Kazeinat ve metilselülozdan biyopolimer üretilen bir çalışmada solüsyona laktik asit bakterilerinin eklenmesi ile filmlerin L^* değerinde önemli ölçüde artış gözlenmiştir. (Sánchez ve ark., 2014).

4.1.1.3. Gliserol konsantrasyonunun nar ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin renk özelliklerine etkisi

Elde edilen nar kabuğu ve portakal kabuğu filmlerinde aynı partikül boyutu ve asit konsantrasyonunda gliserol konsantrasyonunun filmlerin renk değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir (Tablo 4.2.).

L^* , a^* ve b^* değerleri aynı asit konsantrasyonu (%3 ve %5) ve aynı partikül boyutu için artan gliserol konsantrasyonu ile önemli ölçüde değişmemiştir. Pirinç nişastası ve kitosanın matriks olarak kullanıldığı bir çalışmada sorbitol, gliserol ve polietilen glikol olmak üzere üç farklı plastikleştirici kullanılmış ve benzer bir sonuç gözlenmiştir. Plastikleştirici çeşidi ve konsantrasyonunun L^* ve a^* değerlerini etkilemediği belirtilmiştir (Bourtoom, 2008).

4.2. Mekanik Özellikler

Nar kabuğu ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin çekme mukavemeti (TS) ve kopma anındaki uzama değerleri (EB) sırasıyla Tablo 4.3. ve Tablo 4.4.'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Partikül boyutu, asit ve gliserol konsantrasyonunun nar kabuğundan elde edilen biyofilmlerin mekanik özelliklerine etkisi

Film No	Partikül Boyutu (mikron)	Asit Konsantrasyonu (%)	Gliserol Konsantrasyonu (%)	Çekme Mukavemeti-TS (MPa)	KopmaAnındaki Uzama Değeri-EB (%)
N1	150-125	3	7	0,35±0,03 ^{Adx}	23,28±1,96 ^{Abx}
N2	150-125	3	10	0,27±0,02 ^{Abx}	22,73±1,30 ^{Abx}
N3	150-125	5	7	0,31±0,01 ^{Acx}	22,03±0,26 ^{Abx}
N4	150-125	5	10	0,28±0,01 ^{Acx}	22,78±0,89 ^{Acx}
N5	106-75	3	7	0,56±0,01 ^{Acy}	23,05±0,13 ^{Aby}
N6	106-75	3	10	0,31±0,01 ^{Bby}	22,64±1,46 ^{Abx}
N7	106-75	5	7	0,61±0,00 ^{Abx}	29,06±1,27 ^{Aax}
N8	106-75	5	10	0,39±0,01 ^{Bbx}	24,96±1,37 ^{Acx}
N9	75-53	3	7	0,72±0,01 ^{Abx}	27,20±1,82 ^{Aabx}
N10	75-53	3	10	0,45±0,02 ^{Bax}	23,53±1,05 ^{Abx}
N11	75-53	5	7	0,84±0,13 ^{Abx}	28,81±1,95 ^{Aax}
N12	75-53	5	10	0,51±0,06 ^{Aax}	29,19±1,47 ^{Abx}
N13	53	3	7	0,87±0,05 ^{Aay}	29,87±1,56 ^{Aax}
N14	53	3	10	0,33±0,00 ^{Bby}	30,08±0,22 ^{Aay}
N15	53	5	7	1,28±0,02 ^{Aax}	31,55±0,15 ^{Bax}
N16	53	5	10	0,52±0,01 ^{Bax}	40,29±0,52 ^{Aax}

A-B: aynı partikül boyutu ve asit konsantrasyonunda gliserol konsantrasyonları arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

a-d: Aynı asit ve gliserol konsantrasyonunda partikül boyutları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

x-y: aynı partikül boyutu ve aynı gliserol konsantrasyonunda asit kons. Arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

N: Nar kabuğu; P: Portakal kabuğu

Tablo 4.4. Partikül boyutu, asit ve gliserol konsantrasyonunun portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin mekanik özelliklerine etkisi

Film No	Partikül Boyutu (mikron)	Asit Konsantrasyonu (%)	Gliserol Konsantrasyonu (%)	Çekme Mukavemeti-TS (MPa)	KopmaAnındaki Uzama Değeri-EB (%)
P1	150-125	3	7	0,72±0,06 ^{Abx}	32,84±1,70 ^{Aax}
P2	150-125	3	10	0,46±0,01 ^{Bax}	30,47±2,13 ^{Aax}
P3	150-125	5	7	0,58±0,02 ^{Acx}	34,02±2,45 ^{Abx}
P4	150-125	5	10	0,46±0,02 ^{Aax}	35,42±0,61 ^{Acx}
P5	106-75	3	7	0,86±0,05 ^{Aabx}	34,38±0,71 ^{Aay}
P6	106-75	3	10	0,46±0,02 ^{Bax}	38,92±5,37 ^{Aax}
P7	106-75	5	7	0,68±0,00 ^{Abx}	40,08±0,20 ^{Aax}
P8	106-75	5	10	0,46±0,01 ^{Bax}	38,76±0,11 ^{Bbx}
P9	75-53	3	7	0,87±0,01 ^{Aax}	35,48±2,70 ^{Aax}
P10	75-53	3	10	0,48±0,01 ^{Bax}	29,55±0,25 ^{Aay}
P11	75-53	5	7	0,59±0,03 ^{Acy}	37,16±0,32 ^{Babx}
P12	75-53	5	10	0,49±0,02 ^{Aax}	42,79±1,07 ^{Aax}
P13	53	3	7	0,85±0,02 ^{Aabx}	38,59±0,17 ^{Aax}
P14	53	3	10	0,45±0,00 ^{Bay}	29,33±0,11 ^{Bay}
P15	53	5	7	0,76±0,01 ^{Aax}	37,20±0,72 ^{Aabx}
P16	53	5	10	0,49±0,01 ^{Bax}	38,97±0,62 ^{Abx}

A-B: aynı partikül boyutu ve asit konsantrasyonunda gliserol konsantrasyonları arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

a-d: Aynı asit ve gliserol konsantrasyonunda partikül boyutları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

x-y: aynı partikül boyutu ve aynı gliserol konsantrasyonunda asit kons. Arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

N: Nar kabuğu; P: Portakal kabuğu

4.2.1. Partikül boyutunun nar ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin mekanik özelliklerine etkisi

Nar kabuklarından elde edilen filmler için mekanik özellikler incelendiğinde %3 asit ve %7 gliserol içeren filmlerde partikül boyutundaki azalma ile çekme mukavemeti önemli ölçüde artmıştır (N1, N5, N9, N13). Çekme mukavemeti, en büyük partikül boyutunu (150-125 mikron) içeren film (N1) için 0,35 MPa iken en küçük partikül boyutunu (53 mikron) içeren film (N13) için 0,87 MPa olmuştur. İlk üç partikül boyutundan elde edilen filmlerin (N1, N5, N9) kopma anındaki uzama değerleri arasında önemli bir fark görülmezken, 53 mikron partikül boyutunu içeren filmde (N13) kopma anındaki uzama %29,87 olarak en yüksek değerine ulaşmıştır.

%3 asit ve %10 gliserol konsantrasyonunda, en yüksek çekme mukavemetini 0,45 MPa ile 75-53 mikron boyutundaki kabuklardan elde edilen film (N10) göstermiştir. TS değeri açısından %3 asit ve %10 gliserol konsantrasyonunda diğer partikül boyutları arasında önemli bir fark gözlemlenmemiştir (N2, N6, N14). Kopma anındaki uzama değerleri ise ilk üç partikül boyutu (N2, N6, N10) için önemli ölçüde değişmemiştir. Ancak 53 mikronluk en küçük partikül boyutuna sahip filmin (P14) uzama değeri diğer filmlere göre önemli ölçüde artmış ve %30,08 ile en yüksek uzama değeri göstermiştir.

Genel olarak %5 asit içeren filmlerde gliserol oranı fark etmeksizin partikül boyutunun azalması çekme mukavemeti ve kopma anındaki uzamayı arttırmıştır. 53 mikron partikül boyutuna sahip filmde en yüksek çekme mukavemeti %5 sitrik asit ve %7 gliserol kombinasyonu için 1,28 MPa iken kopma anındaki uzama değeri %31,55 olarak belirlenmiştir (N15). Kopma anındaki uzamanın en fazla olduğu %40,29 değeri 53 mikron partikül boyutunda ve %5 sitrik asit ve %10 gliserol içeren filmde belirlenmiştir (N16). Gliserol konsantrasyonunun artması filmlerin elastik özelliklerini arttırmıştır.

Portakal kabukları için hem %3 asit ve %7 gliserol içeren (P1, P5, P9, P13) hem de %3 asit %10 gliserol (P2, P6, P10, P14) içeren filmlerde partikül boyutunun azalması

filmlerin TS ve EB değerlerinde önemli bir değişikliğe sebep olmamıştır ($p>0.05$). %5 asit ve %7 gliserol içeren filmlerde maksimum çekme mukavemeti 53 mikron partikül boyutu içeren filmelerde (P15) tespit edilmiştir ($p<0,05$). Ancak, P3, P7, P11 ve P15 filmlerinin kopmada uzama değerleri partikül boyutu ile değişmemiştir. En büyük partikül boyutundaki filmde TS 0,58 MPa iken en küçük partikül boyutundaki filmde bu değer %25,86 artarak 0,76 MPa olmuştur. %5 asit ve %10 gliserol içeren filmlerde (P4, P8, P12) partikül boyutunun azalmasının TS değerini değiştirmedığı ve kopmada uzama değerinin 53 mikron boyutunu içeren film (P16) hariç azalan partikül boyutu ile artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.

Matriks ve dolgu malzemelerinin partikül boyutunun filmlerin mekanik özelliklerini doğrudan etkileyen en önemli parametrelerden biri olduğu yapılan pekçok çalışma ile ispatlanmıştır. Matriks malzemesi ile film formülasyonundaki diğer bileşenlerin (dolgu malzemesi, plastikleştirici, asitlik düzenleyici, antimikrobiyal ve antioksidan ajanlar vb.) solüsyon içerisinde etkili bir ara yüzey oluşturması ve böylelikle mekanik özellikleri geliştirmesi matriks malzemesinin partikül boyutu ile doğrudan ilişkilendirilmektedir (Lau ve ark., 2006; Fu ve ark., 2008). Partikül boyutunun küçülmesiyle matriks malzemesi ve diğer bileşen arasındaki etkileşim ara yüzeyi artmakta ve filme uygulanan kuvvet, oluşan bu ara yüzeydeki tüm partiküllere eşit olarak transfer edilmektedir. Bu durum filmin çekme mukavemetini (TS) arttırmaktadır (Giannelis, 1996; Fu ve ark., 2008). Film matriksinde nişasta kaynağı olarak patates kabukları ve pektin kaynağı olarak lime posasının kullanıldığı bir çalışmada partikül boyutunu küçültmek için 45 ve 60 dakika olmak üzere iki farklı sürede ultrason işlemi uygulanmıştır. Yapılan ön çalışmalar matriks malzemesinin partikül boyutunun film oluşturabilme özelliğini doğrudan etkilediğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, partikül boyutunun ultrason işlemiyle küçüldüğünü, 60 dakika ultrasona maruz kalan filmlerin TS değerlerinin 45 dakika kalana göre daha fazla yüksek çıktığını göstermiştir. Patates kabuğu ve lime posasının partikül boyutunun küçülmesiyle hem film yapısında homojen bir dağılım sağlanmıştır. Ayrıca ultrason işlemi patates kabuğunun yapısındaki nişasta ve lime posasının yapısındaki pektin bağlarının zayıflamasına böylelikle filmlerin EB değerlerinin de artmasına katkı sağlamıştır (Borah ve ark., 2017).

4.2.2. Asit konsantrasyonunun nar ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin mekanik özelliklerine etkisi

Nar kabuğu filmlerinde asit konsantrasyonundaki %3'ten %5'e artış, hem %7 hem de %10'luk gliserol konsantrasyonlarında sadece 106-75 ve 53 mikron partikül boyutlarında filmlerin çekme mukavemetini arttırmıştır. Genel olarak, %7 gliserol konsantrasyonunda 106-75 mikron partikül boyutundaki filmler (N5, N7) dışında diğer partikül boyutları için kopma anındaki uzama değeri asit konsantrasyonundaki artışla istatistiki açıdan değişim göstermemiştir. En yüksek çekme mukavemeti değeri 1.28 MPa ile 53 mikron partikül boyutunda, %5 asit ve %7 gliserol içeren filmde (N15) elde edilmiştir. Asit konsantrasyonundaki artışla, kopma anındaki uzama değeri %7 gliserol konsantrasyonunda 106-75 mikron partikül boyutu (N5, N7) için ve %10 gliserol konsantrasyonunda 53 mikronluk en küçük partikül boyutu (N14, N16) için önemli ölçüde artış göstermiştir. Asit miktarının %3'ten %5'e çıkarılmasıyla biyobazlı filmde çekme mukavemetinde gözlenen artış, nar kabuğunda bulunan pektin, selüloz gibi polimer yapılarının asit miktarının artışıyla daha fazla denatüre olmasına ve moleküller arası etkileşimin artmasına bağlanabilir.

Portakal kabuğu filmlerinde %7 gliserol konsantrasyonu için 75-53 mikron partikül boyutundaki film dışında diğer partikül boyutlarının tamamında asit artışı TS değerlerinde herhangi bir değişikliğe sebep olmamıştır (P9, P11). 75-53 mikron partikül boyutunda ise %7 gliserolde asit konsantrasyonunun %3'ten %5'e çıkması ile TS değerinde önemli ölçüde azalma görülmüştür. 106-75 mikron (P5, P7) partikül boyutu içeren filmler hariç, diğer partikül boyutlarını içeren filmlerde asit konsantrasyonunun kopma anındaki uzama değerine önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

%10'luk gliserol konsantrasyonunda (P14, P16) sadece 53 mikronluk en küçük partikül boyutu için asit konsantrasyonunun çekme mukavemeti üzerinde önemli bir etkisi olmuştur. Kopma anındaki uzama değeri yalnızca 75-53 (P10 ve P12) ve 53 mikron (P14, P16) partikül boyutları için asit konsantrasyonundaki artışla önemli

ölçüde artmıştır. 75-53 mikron partikül boyutuna sahip filmlerde %10'luk gliserol konsantrasyonunda asit konsantrasyonunun %3'ten %5'e yükselmesiyle P10 filminin kopma anındaki uzaması %29.55'e, P12 filminin değeri ise %42.79'a yükselmiştir. 53 mikron partikül boyutu için asit konsantrasyonu arttığında kopma anındaki uzama da %29,33'ten %38,97'ye yükselmiştir. Sonuç olarak, asit konsantrasyonundaki artışın küçük partikül boyutu içeren filmlerin mekanik özellikleri üzerinde daha etkili olduğu söylenebilir.

Asit konsantrasyonunun artması nar ve portakal kabuklarının yapısındaki amorf halde bulunan selülozun hidrolize olmasını ve kristal yapıya geçmesini sağlamıştır (Cano ve ark., 2015; Garcia ve ark., 2021). Literatürde selüloz kristallerinin nişasta, PLA, PHA gibi biyopolimer matrikslerinde mekanik özellikleri geliştirdiği belirtilmektedir (Marmol ve ark., 2022; Vaezi ve Asadpour, 2022).

Bezelye nişastasının matriks olarak kullanıldığı bir çalışmada bezelye kabuğu liflerinin asit ile hidrolizi sonrasında elde edilen dolgu malzemesinin yapıya eklenmesiyle filmlerin gelişmiş mekanik özellikler gösterdiği belirtilmiştir (Dursun ve Erkan, 2014). Patates nişastası ve kitosanın kullanıldığı bir çalışmada sitrik asit konsantrasyonunun filmlerin yapısı, su buharı geçirgenlikleri, fiziksel, mekanik ve antimikrobiyal özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Sitrik asit konsantrasyonunun %5'ten %15'e çıkarılmasıyla TS değeri 9,72 MPa'dan 12,55 MPa'ya artmıştır (Wu ve ark., 2019).

Lamine edilmiş yenilebilir filmin yapısına yağ asidi eklenen bir çalışmada da asit konsantrasyonunun artması lamine filmin kopma anındaki uzama değerini %3'ten %13.8 e çıkarmıştır (Park ve ark., 1994). Kitosan filmlerine %0,02-%0,16 oranlarında ferulik asit eklenen bir çalışmada ise ferulic asidin filmlerin mekanik, termal ve antimikrobiyal özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar filmlere eklenen ferulik asit konsantrasyonun artması ile filmlerin TS değerinde artış sağladığını kanıtlamıştır (Woranuch ve ark., 2015).

4.2.3. Gliserol konsantrasyonunun nar ve portakal kabuğundan elde edilen biyofilmlerin mekanik özelliklerine etkisi

Nar kabuğu filmlerinde %3 asit konsantrasyonunda gliserol konsantrasyonundaki %7'den %10'a olan artış 150-125 mikron partikül boyutu dışındaki filmlerde (N1, N2) TS değerinde önemli düzeyde azalmaya sebep olmuştur ($p < 0,05$). Bununla birlikte, gliserol konsantrasyonundaki artış ile tüm partikül boyutlarını içeren filmlerde kopma anındaki uzama değerinde önemli bir etki belirlenmemiştir. %5'lik asit konsantrasyonunda, gliserol konsantrasyonundaki artış 106-75 (N7, N8) ve 53 mikron (N15, N16) partikül boyutları için çekme mukavemetinin azalmasına sebep olmuştur. Gliserol konsantrasyonundaki artışın kopma anındaki uzama değerine etkisi incelendiğinde, en küçük partikül boyutu (53 mikron, N15, N16) için %5 sitrik asit konsantrasyonunda kopma anındaki uzama miktarı önemli ölçüde artış göstermiştir. Gliserolün nar kabuğunda selüloz molekülleri arasındaki etkileşimi azaltması ve bu sayede esneklik kazandırması ile açıklanabilir. Bu durumun sebebi olarak nar kabuğu tozlarının partikül boyutunun azalmasıyla gliserol ile reaksiyona girecek yüzey alanı arttığından polimer-polimer etkileşiminin zayıflaması polimer-gliserol etkileşiminin artması gösterilebilir (Gennadios ve ark., 1994; Sobral, 2001).

Genel olarak filmlerin mekanik özellikleri, aynı partikül boyutu ve gliserol konsantrasyonu için asit konsantrasyonunun %3'ten %5'e çıkarılmasından da etkilenmektedir. Bu durum %5 asit konsantrasyonunda polimer zincirlerinin daha fazla denatüre olmasıyla açıklanabilir. Denatüre olan zincirler açılır ve daha fazla polimer-polimer etkileşimi sağlayabilecek açık uçlu grubun ortaya çıkmasını ve mekanik özelliklerin gelişmesini sağlar.

Nar kabuğu filmleri için kopma anındaki uzama değeri gözönüne alındığında, en küçük partikül boyutu ve %10'luk gliserol konsantrasyonu için EB değeri %30,08'den %40,29'a yükselerek yaklaşık %34'lük artış göstermiştir.

Portakal kabuğu filmlerinde ise %3 asit konsantrasyonunda gliserol konsantrasyonunun %7'den %10'a çıkması tüm partikül boyutları için TS değerinde

azalmaya sebep olurken, EB değerinde yalnızca 53 mikron boyutundaki filmde değişiklik gözlenmiştir. 53 mikron dışındaki partikül boyutlarında gliserol artışı EB değerinde herhangi bir değişiklik oluşturmazken en küçük partikül boyutunda azalmaya sebep olmuştur. %5 asit içeren 106-75 mikron (P7, P8) ve 53 mikron (P15, P16) partikül boyutundaki filmlerde gliserol artışı TS değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. EB değerleri dikkate alındığında 106-75 mikron boyutunda gliserol artışı EB değerini azaltırken 75-53 mikron boyutunda gliserol artışı EB değerini %37,16'dan %42,79'a çıkarmıştır.

Plastikleştiriciler poliol yapısındaki çok küçük molekül boyutuna sahip olup polimer zincirleri arasındaki hidrojen bağlarının arasına girerek bağları zayıflatmakta ve polimer yapısını esnekletmektedir (Gontard ve ark., 1993; Sobral ve ark., 2001; Baldwin ve Banker 2007). Literatürdeki biyobazlı kaynaklardan elde edilen biyofilmlerin çoğu için sonuçlar benzer trend göstermektedir. Manyok nişastasının matriks malzemesi olarak kullanıldığı bir çalışmada %0, %10, %20, %30, %40, %50 konsantrasyonlarında gliserol kullanılmış ve filmlerin mekanik (TS, EB) ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonunda gliserol konsantrasyonunun artmasıyla polimerler arası C-C etkileşimlerinin azalmasına bağlı olarak TS değeri azalırken EB değerinde artış gözlenmiştir. (Bergo ve ark., 2008). Benzer şekilde matriks olarak aljinat ve pektinin kullanıldığı bir çalışmada artan gliserol konsantrasyonları değerlendirilerek filmler karakterize edilmiştir. Elde edilen verilere göre gliserol konsantrasyonunun aşamalı olarak %1'den %15'e çıkmasıyla filmlerin suda çözünabilirliği, nem içeriği, volumetrik şişme değeri ve esnekliği (EB) artarken çekme mukavemeti (TS) azalmıştır (Da Silva ve ark., 2009). Yulaf nişastasından biyofilm elde edilen başka bir çalışmada gliserol, sorbitol, gliserol sorbitol karışımı, üre ve sükroz plastikleştirici olarak kullanılmış olup filmlerin morfolojik, nem tutma kapasite, su buharı geçirgenliği ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışma verileri nişasta filmleri için en etkili plastikleştirici çeşidinin gliserol olduğunu ve gliserol konsantrasyonunun artmasıyla TS değerinin azalıp EB değerinin arttığını göstermiştir (Mali ve ark., 2006).

Hem nar hem de portakal kabuğu filmlerinden elde edilen sonuçlar, partikül boyutunun mekanik özellikleri açıkça etkilediğini göstermiştir ($p<0,05$). Partikül boyutu küçültülerek daha homojen ve düzgün yüzeyler elde edilmiştir. Genel olarak, partikül boyutunun küçültülmesi atıklardan elde edilen biyopolimerlerin TS değerinde artış sağlamıştır.

Tüm bu veriler dikkate alındığında gliserol ve asit konsantrasyonu sırasıyla %7 ve %5 olmak üzere seçilmiş ve diğer özellikler (antimikrobiyal, antioksidan, ışık geçirgenliği ve transparanlık, termal özellikler ve yüzey morfolojisi) sabit asit ve gliserol konsantrasyonunda farklı partikül boyutu dikkate alınarak analiz edilmiştir. Analizi yapılan filmlerin tablosu Tablo 4.5.'te verilmiştir.

Tablo 4.5. Nar ve portakal kabuğu filmleri için seçilen asit ve gliserol konsantrasyonları

Biyofilm Kodu	Partikül Boyutu (mikron)	Asit Konsantrasyonu (%)	Gliserol Konsantrasyonu (%)
N3	150-125	5	7
N7	106-75	5	7
N11	75-53	5	7
N15	53	5	7
P3	150-125	5	7
P7	106-75	5	7
P11	75-53	5	7
P15	53	5	7

N: Nar kabuğu, P: Portakal kabuğu

4.3. Işık Geçirgenliği ve Transparanlık Özelliği

Gıda ambalaj malzemelerinde aranan özelliklerden biri de UV dalga boyundaki ışığa karşı bariyer özellik göstermesidir. Özellikle yağ, yağ içeren ve baharat gibi ürünlerde güneş ışınları gıdalardaki yağ asitlerinin okside olmasını ve böylelikle gıdanın içinde serbest radikallerin oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu nedenle ambalaj malzemelerinin güneş ışığına karşı bariyer özellik göstermeleri beklenmektedir. Elde edilen filmler için spektrometrede 250-850 nm dalga boyunda okuma yapılmıştır. Hem

nar kabuğu hem de portakal kabuğu filmlerinin ışık geçirgenliği ve transparan özellik göstermediği tespit edilmiştir. Elde edilen filmlerin renkleri ve yapıları incelendiğinde ışığa karşı bariyer özellik gösterdiği ve transparan olmadığı açıkça görülmektedir. Ksantan gum ve limon kabuğunun birlikte kullanıldığı bir çalışmada da limon kabuğu içeren filmlerin ışığa karşı bariyer bir özellik gösterdiği belirtilmiştir (Meydanju ve ark., 2022).

4.4. Nar ve Portakal Kabuğundan Elde Edilen Biyofilmlerde Antimikrobiyal Özellik

%5 asit ve %7 gliserol konsantrasyonuna sahip nar kabuğu ve portakal kabuğu filmlerinde antimikrobiyal etki olup olmadığı, partikül boyutunun antimikrobiyal aktivite üzerindeki etkisi incelenmiştir. Nar kabuğundan elde edilen N3, N7, N11 ve N15 filmlerinin *S. aureus* ve *E. coli*'ye karşı oluşturduğu inhibisyon zonlarının çapları verilmiştir (Tablo 4.6.).

Tablo 4.6. Nar kabuğu filmlerinin *S.aureus* ve *E.coli* için oluşturduğu inhibisyon zon çapı

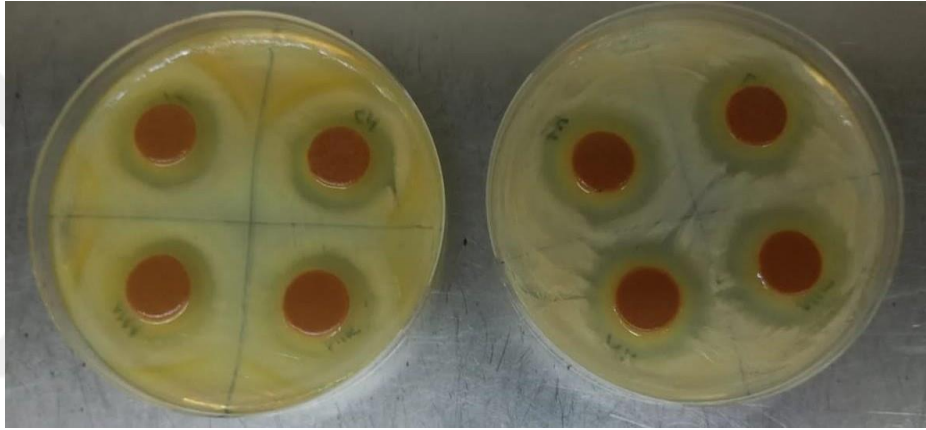
Film No	<i>S. aureus</i> için zon çapı (mm)	<i>E.coli</i> için zon çapı (mm)
N3	34,00±1,83A	30,50±0,58A
N7	33,75±2,75A	30,25±0,96A
N11	33,75±1,26A	30,50±1,12A
N15	34,00±0,82A	31,25±0,96A

*Aynı harf her bir bakteri için filmler arasında önemli bir fark olmadığı göstermektedir ($p>0.05$).

N: Nar kabuğu (N3: 150-125 mikron, N7: 106-75 mikron, N11:75-53 mikron, N15: 53 mikron)

N3, N7, N11 ve N15 filmleri, partikül boyutundan bağımsız olarak hem Gram pozitif (*S. aureus*) hem de Gram negatif bakterilere (*E. coli*) karşı etkili antimikrobiyal aktivite göstermiştir. Bunun nedeni, nar kabuğunun biyoaktif bileşikler, özellikle fenolik asitler, flavonoidler ve hidrolize edilebilir tanenler açısından zengin olmasıdır (Khemakhem ve ark., 2021; El-Hamamsy ve ark., 2020). Nar kabuğunun antimikrobiyal aktivitesi çoğunlukla tanenlerin (özellikle punikalaginler) ve polifenollerin (esas olarak allajik asit) varlığına bağlanmaktadır. Nar kabuğunun

içindeki bileşenler genel olarak güçlü antimutajenik, antioksidan ve antimikrobiyal özellikler sergilemektedir. (Harini ve ark., 2018). Nar kabuğu yüksek moleküler ağırlıklı fenolik, proantosiyanidinler, kompleks polisakkaritler, flavanoidler ve güçlü antimutajenik, antioksidan ve antimikrobiyal özellikler gösteren kayda değer miktarda mikro elementlerin varlığı ile karakterize edilmiştir (Harini et al., 2018). Çalışmaların çoğu, antimikrobiyal biyofilm üretimi için nar kabuğu ekstraktına odaklanmıştır (Xu ve ark., 2017; Habibipour ve ark., 2019). Farklı konsantrasyonlarda nar kabuğu içeren nişasta bazlı filmlerin ve maş fasulyesi protein filminin de antimikrobiyal özellikler gösterdiği bildirilmektedir (Ali ve ark., 2019; Moghadam ve ark., 2020). Nar kabuğu filmlerinin oluşturduğu zonlar Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.6. Nar kabuğu filmlerinde oluşan inhibisyon zonları

Portakal kabuğundan elde edilen P3, P7, P11 ve P15 filmlerinde antimikrobiyal aktivite incelenmiştir. Tablo 4.7.'de portakal kabuğu filmlerinin *S. aureus* ve *E. coli*'ye karşı oluşturduğu inhibisyon zonlarının çapları verilmiştir.

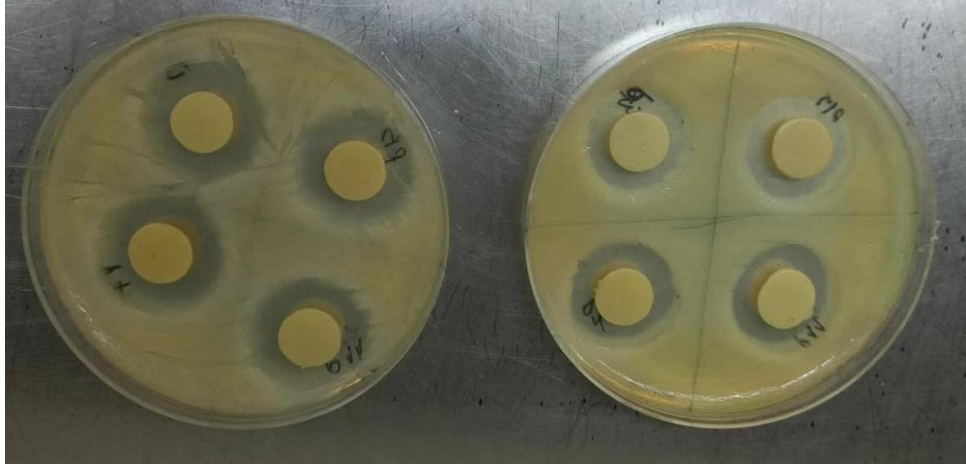
Tablo 4.7. Portakal kabuğu filmlerinin *S.aureus* ve *E.coli* için oluşturduğu inhibisyon zon çapı

Film No	<i>S. aureus</i> için zon çapı (mm)	<i>E.coli</i> için zon çapı (mm)
P3	26,00±0,00B	27,00±0,00A
P7	26,00±0,00B	27,00±1,41A
P11	26,00±0,00B	25,50±0,71A
P15	29,00±2,00A	29,00±1,41A

*Aynı harf her bir bakteri için filmler arasında önemli bir fark olmadığını göstermektedir ($p>0.05$).

P: Portakal kabuğu (P3: 150-125 mikron, P7: 106-75 mikron, P11:75-53 mikron, P15: 53 mikron)

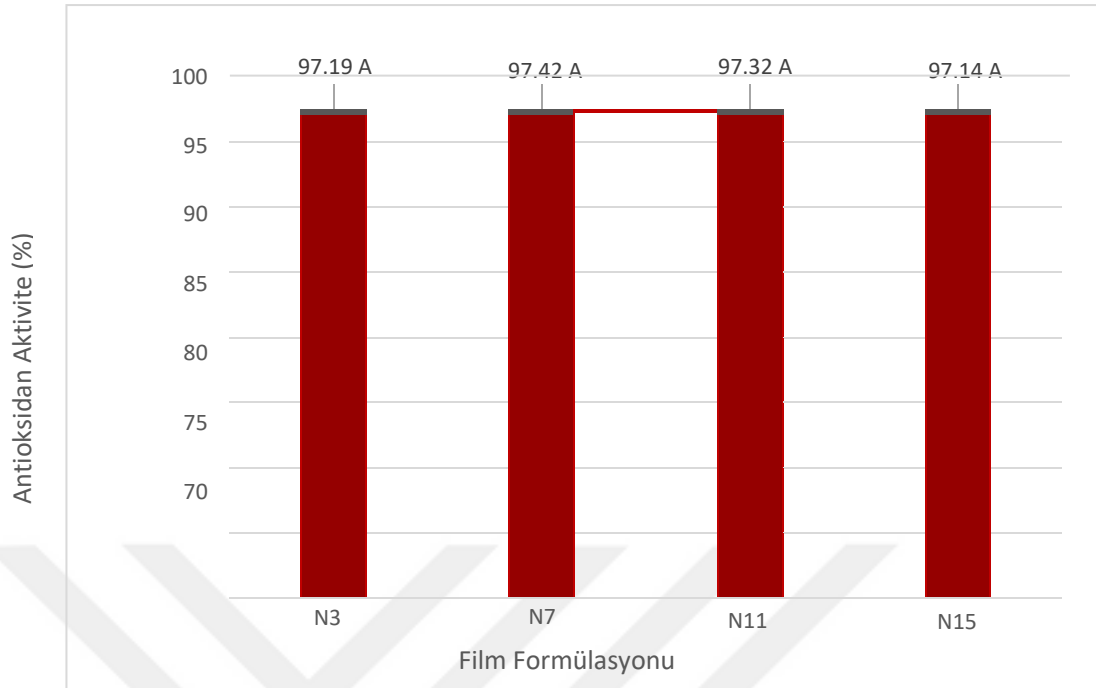
Tablo 4.7.'de portakal kabuğundan elde edilen filmlerin agar disk difüzyon yöntemi ile Gram pozitif (*S. aureus*) ve Gram negatif bakterilere (*E. coli*) karşı oluşturduğu inhibisyon zon çapları verilmiştir. Partikül boyutunun küçültülmesinin *S. aureus*'a karşı antimikrobiyal aktiviteyi önemli ölçüde arttırdığı ($p<0,05$) gözlenmiştir. 53 mikron partikül boyutundaki portakal kabuğu filmi, *S. aureus* üzerinde diğer partikül boyutlarına göre daha büyük bir inhibisyon zonu oluşturmuştur. Partikül boyutunun küçültülmesi ile formülasyona eklenen portakal kabuklarının yüzey alanı artırılmış ve yüzey alanının artmış olması antimikrobiyal özelliğin artmasını sağlamış olabilir (Buzea ve ark., 2007; Emami-Karvani ve ark., 2011). Bununla birlikte portakal kabuğu filmleri *E. coli* üzerinde de ciddi bir antimikrobiyal özellik göstermiştir. Partikül boyutundan bağımsız olarak tüm portakal kabuğu filmlerinin, literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında çok yüksek antimikrobiyal aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Petriye aktarılan film kesitinin 10 mm olduğu düşünüldüğünde 53mikron partikül boyutundaki filmin yaklaşık 3 katı büyüklükte zon oluşturduğu söylenebilir. Portakal kabuğu tozu ile takviye edilen jelatin filmlerin, formülasyonda artan portakal kabuğu konsantrasyonuyla *S. aureus* ve *E. coli*'ye karşı antimikrobiyal aktivite gösterdiği rapor edilmiştir (Taghavi ve ark., 2021; Terzioğlu ve ark., 2021). Ayrıca portakal kabuğu yağının kitosan/çinko oksit film matriksine eklenmesiyle filmlerin antimikrobiyal özelliklerinde artış gözlenmiştir. (Krishnan ve ark., 2020; Kirtil ve ark., 2021). Portakal kabuğu filmlerinin oluşturduğu zonlar Şekil 4.3.'te verilmiştir.



Şekil 4.7. Portakal kabuğu filmlerinde oluşan inhibisyon zonları

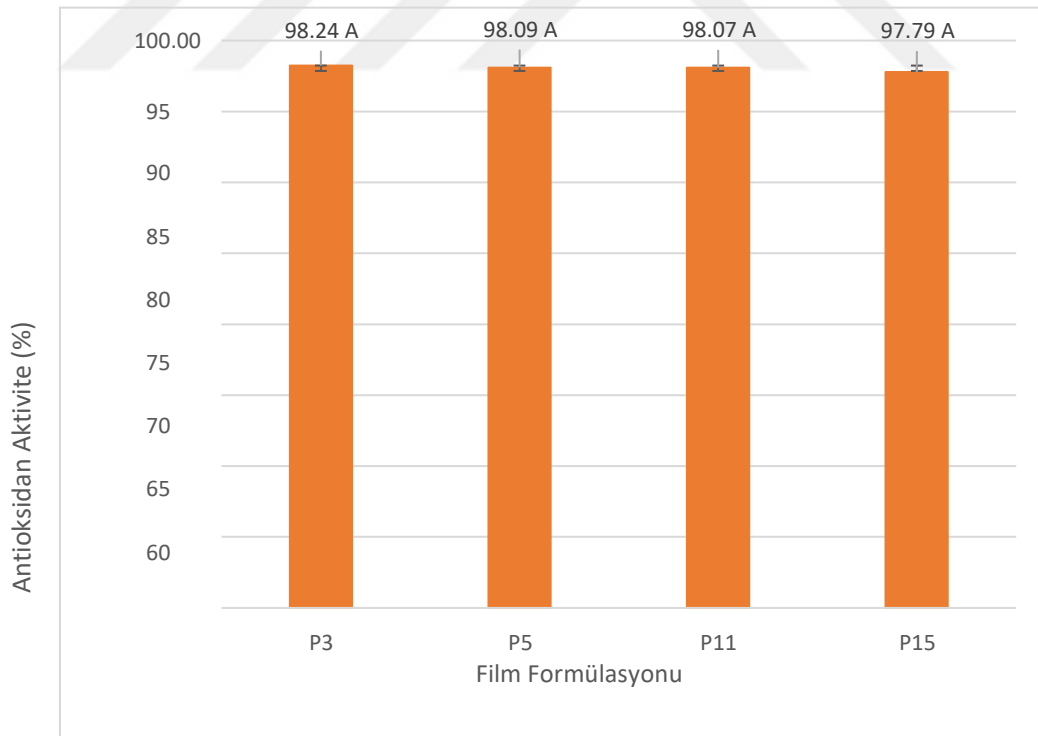
4.5. Nar ve Portakal Kabuğundan Elde Edilen Biyofilmlerde Antioksidan Özellik

Şekil 4.4.'te nar kabuğu filmlerinin Şekil 4.5.'te portakal kabuğu filmlerinin % antioksidan aktivitesi verilmiştir. Hem nar kabuğu hem de portakal kabuğu filmleri yüksek antioksidan özellik göstermiştir. Şekil 4.4.'te görüldüğü gibi antioksidan aktivite %97,14'ün altına düşmemiş olup, dört farklı film formülasyonu arasında önemli bir fark görülmemiştir.



Şekil 4.8. Nar kabuğu filmlerinin antioksidan aktivitesi.

*Aynı harf antioksidan kapasite için filmler arasında önemli bir fark olmadığı göstermektedir ($p > 0.05$).
N: Nar kabuğu (N3: 150-125 mikron, N7: 106-75 mikron, N11: 75-53 mikron, N15: 53 mikron)



Şekil 4.9. Portakal kabuğu filmlerinin antioksidan aktivitesi

Aynı harf antioksidan kapasite için filmler arasında önemli bir fark olmadığı göstermektedir ($p > 0.05$).
P: Portakal kabuğu (P3: 150-125 mikron, P7: 106-75 mikron, P11: 75-53 mikron, P15: 53 mikron)

Nar kabuğu filmlerinde olduğu gibi portakal kabuğu filmleri de yüksek antioksidan aktivite tespit edilmiş olup, partikül boyutu farklı olan 4 film arasında çok önemli bir fark görülmediği dikkat çekmektedir.

Bezelye proteininin matriks malzemesi olarak kullanıldığı bir çalışmada elde edilen filmlere antimikrobiyal ve antioksidan özellik kazandırmak için film solüsyona %25 oranında nar kabuğu eklenmiştir. Elde edilen veriler antioksidan etkinin nar kabuğunun yapısında bulunan ve yüksek antioksidan kapasiteye sahip olan punikalajin bileşeni sayesinde oluştuğunu göstermiştir (Moghadam ve ark., 2020).

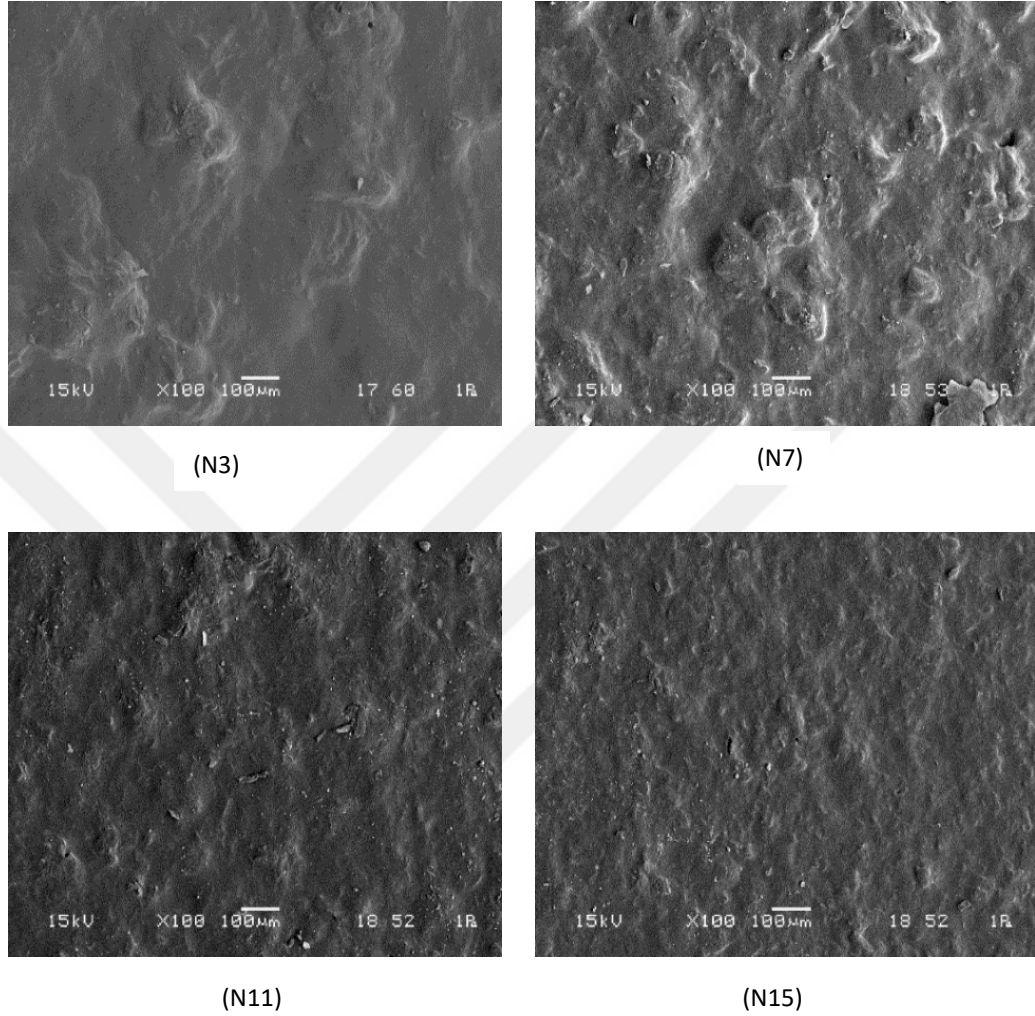
Zein proteinin matriks malzemesi ve kitosan nanopartiküllerinin dolgu malzemesi olarak kullanıldığı bir çalışmada filmlere antimikrobiyal ve antioksidan özelliklerini güçlendirmek için film solüsyonuna nar kabuğu ekstratı eklenmiştir. Bu çalışmada nar kabuğundan ekstrakt elde edebilmek için etilalkol ve metil alkol olmak üzere 2 farklı solüsyon ile ultrasonifikasyon uygulanmıştır. Filmlerin antioksidan özellikleri incelendiğinde metanol ile 40 dakika ultrasonifikasyon işlemi uygulanan nar kabuğu ekstraktı içeren filmin %90 antioksidan özellik gösterdiği belirtilmiştir (Cui ve ark., 2020).

Gelatinin film matriksi olarak kullanıldığı diğer bir çalışmada ise film formülasyonuna %3-15 arasında portakal kabuğu eklenmiştir. Elde edilen filmlerde antioksidan aktivite tayini yapılmış ve %15 portakal kabuğu içeren filmin %79 oranında antioksidan özellik gösterdiği literatürde belirtilmiştir. Bu etkinin portakal kabuğundaki fenolik bileşenler, C vitamini ve karotenoidlerden ileri geldiği ifade edilmiştir (Kalaycıoğlu ve Erim, 2017; Taghavi ve ark., 2021).

4.6. Morfolojik Özellik (SEM)

Morfolojik özellikler biyofilmlerin yüzey yapılarındaki gözenekleri ve homojenliği göstermektedir. Biyofilmlerin yapılarının homojen olması hem bariyer hem de mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Nar kabuğu ve portakal kabuğu filmleri platin ile kaplanarak SEM’de 100x oranında büyütülerek filmlerin yüzey

morfolojileri incelenmiştir. Nar kabuğu filmlerine ait SEM görüntüleri Şekil 4.6.'da; portakal kabuğuna ait görüntüler Şekil 4.7.'de verilmiştir.

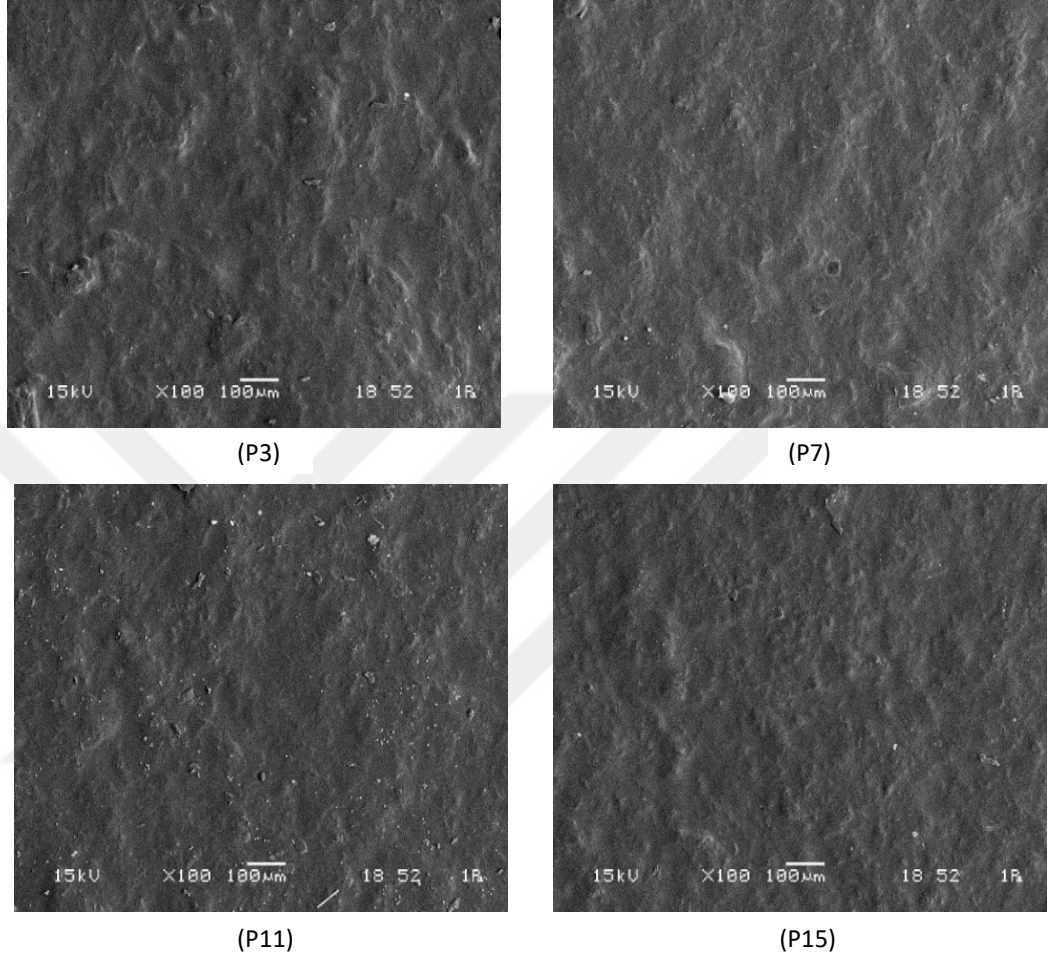


Şekil 4.10. Nar kabuğu filmlerinin 100x büyütülmüş SEM görüntüleri

N: Nar kabuğu (N3: 150-125 mikron, N7: 106-75 mikron, N11:75-53 mikron, N15: 53 mikron)

SEM görüntülerinden de görüldüğü gibi %5 asit ve %7 gliserol içeren nar kabuğu filmlerinde 150-125 μm (N3) ve 106-75 μm (N7) partikül boyutundaki filmler hafif katmanlı ve pürüzlü yapıdayken 75-53 μm (N11) ve 53 μm (N15) partikül boyutuna sahip filmler daha homojen, katmansız ve pürüzsüz bir yapı göstermiştir. Nar kabuğundan elde edilen filmlerde partikül boyutunun 150-125 mikrondan 53 mikrona doğru küçülmesi filmlerin daha homojen, çatlaksız ve pürüzsüz bir hale gelmesini sağlamıştır. Film matriksi olarak tek bir atık kullanılması, filmlerin yüzeylerinin homojen ve pürüzsüz olmasını sağlamıştır (Routh, 2013). Partikül boyutunun

küçülmesine bağlı olarak yüzey morfolojisinin iyileşmiş olması Tablo 4.3. ve Tablo 4.4.'te görüldüğü gibi filmlerin artan mekanik özelliklerini de destekler niteliktedir.



Şekil 4.11. Portakal kabuğu filmlerinin 100x büyütülmüş SEM görüntüleri

P: Portakal kabuğu (P3: 150-125 mikron, P7: 106-75 mikron, P11: 75-53 mikron, P15: 53 mikron)

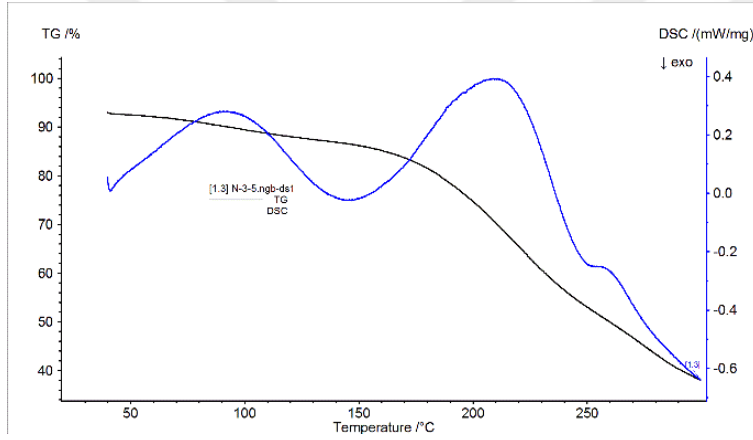
SEM görüntülerinden de görüldüğü üzere %5 asit ve %7 gliserol içeren portakal kabuğundan elde edilen ve 150-125 μm partikül boyutuna sahip filmde çok hafif katmanlı bir yapı gözlenmiştir. Partikül boyutu azaldıkça film yüzeyindeki pürüzlülük azalmış olup özellikle 75-53 μm ve 53 μm partikül boyutunda homojen bir film yapısı oluşmuştur.

Nar kabuğu ekstraktının zein matriksine eklendiği bir çalışmada nar kabuğu ekstraktının yapıya girmesiyle katmanlı bir yapı gözlenmiştir (Cui ve ark., 2020). Jelatin filmine aktif ambalaj özelliği kazandırmak için portakal kabuklarının dolgu

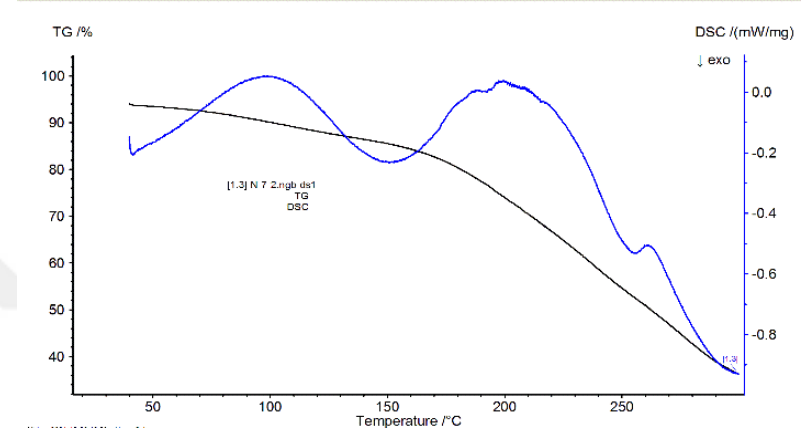
malzemesi olarak kullanıldığı bir çalışmada film formülasyonuna portakal kabuğu eklendikçe filmlerin homojen yapılarında hafif dalgalanmalar meydana geldiği tespit edilmiştir (Hossein ve ark., 2021). Balık jelatini ve portakal kabuğundan elde edilen pektinden oluşan bir film formülasyonunda formülasyondaki pektin miktarının artması SEM görüntülerinde küçük çapta katmanlar oluşmasına sebep olmuştur (Jridi ve ark., 2020).

4.7. Termal Özellikler

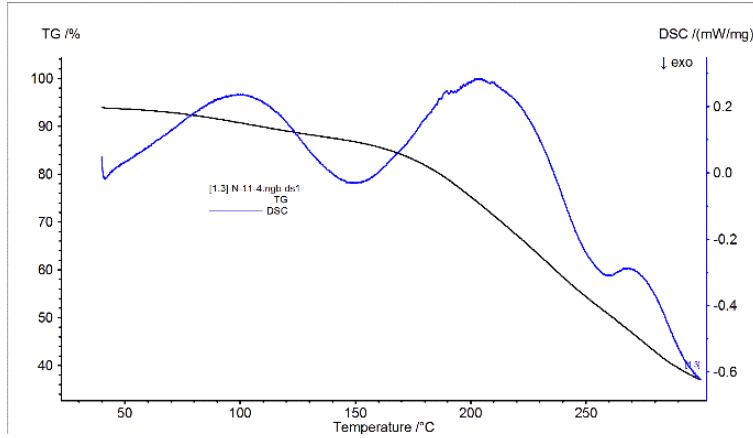
Gıda ambalaj malzemelerinde termal özellikler, polimerin işleneceği sıcaklık parametresinin belirlenebilmesinde en önemli faktördür. %5 asit ve %7 gliserol içeren nar kabuğu filmlerinde seçilen partikül boyutları için TGA-DSC analiz sonucu Şekil 4.8.'de verilmiştir. Grafikteki siyah çizgi TGA analizini; mavi sinüs dalgalı çizgi DSC analizini ifade etmektedir.



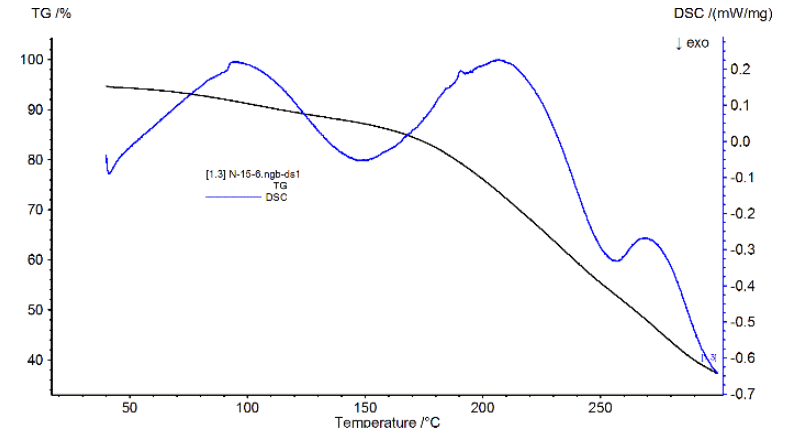
(N3)



(N7)



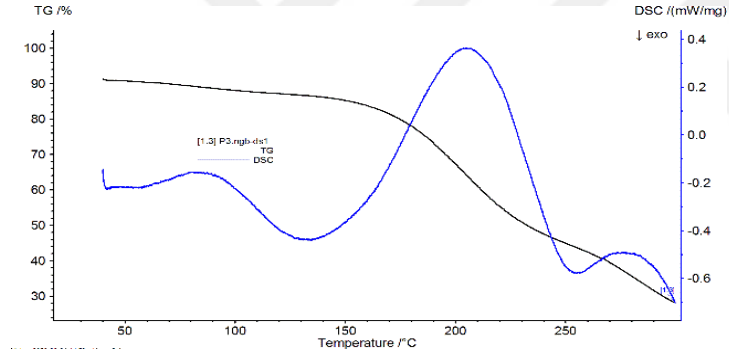
(N11)



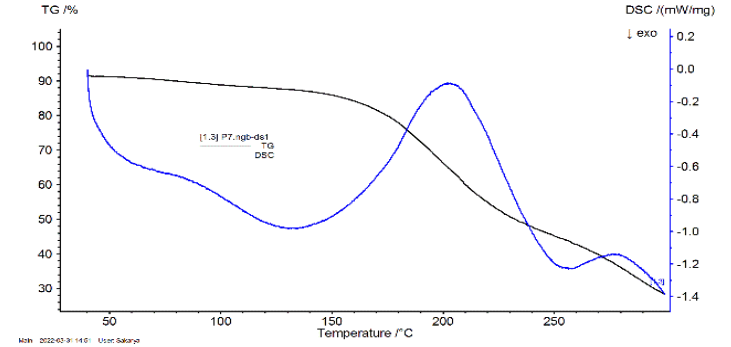
(N15)

Şekil 4.12. Nar kabuğu filmlerinin TGA-DSC grafikleri

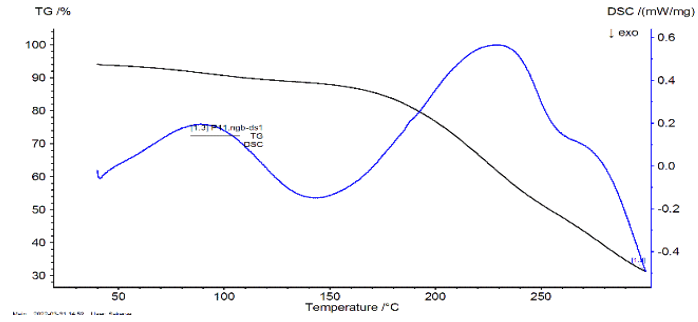
N: Nar kabuğu (N3: 150-125 mikron, N7: 106-75 mikron, N11:75-53 mikron, N15: 53 mikron)



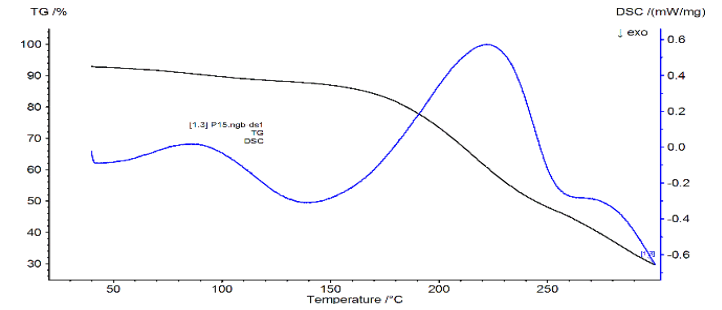
(P3)



(P7)



(P11)



(P15)

Şekil 4.13. Portakal kabuğu filmlerinin TGA-DSC grafikleri

P: Portakal kabuğu (P3: 150-125 mikron, P7: 106-75 mikron, P11:75-53 mikron, P15: 53 mikron)

Şekil 4.8.'de %5 asit ve %7 gliserol içeren nar kabuğu filmlerinin 50-250 °C aralığında termal davranışı görülmektedir. Nar kabuğu filmleri için DSC analizinin sonuçlarına göre filmlerin camsı geçiş sıcaklığı (T_g) 90-100 °C, erime sıcaklığı (T_m) 200-220 °C ve kristallenme sıcaklığı (T_c) 250-255 °C olarak belirlenmiştir. Nar kabuğundan elde edilen biyofilmler 260°C'de bozunma göstermiştir (T_d). T_g (camsı yapıya geçiş sıcaklığı) değerlerinin yüksek olması kullanılan nar kabuğunun hidrofobik yapısı ve ön aşamalarda çözünebilir şekerin yapıdan uzaklaştırılmasından kaynaklanmış olabilir (Pelissari ve ark., 2017). TGA eğrisi incelendiğinde ise nar kabuğu filmlerinde yaklaşık olarak 160°C'de kütle kaybının başladığı görülmektedir.

Şekil 4.9.'da %5 asit ve %7 gliserol içeren portakal kabuğu filmlerinin 50-250 °C aralığında termal davranışı görülmektedir. Portakal kabuğu filmlerinde termal analiz sonuçlarına (DSC) göre camsı geçiş sıcaklığı 85-90 °C, erime sıcaklığı 200-220 °C ve kristallenme sıcaklığı 255-260 °C olarak belirlenmiştir. TGA eğrisi dikkate alındığında yaklaşık 170°C'den sonra ağırlık kaybının başladığı görülmektedir. Pektinden oluşan biyofilmlerin kütle kaybının 190-220 °C olduğunu gösteren birçok çalışma vardır (Chaichi ve ark., 2017; Mendes ve ark., 2019; Meerasri ve Sothornvit, 2020).

Hem TGA hem de DSC eğrileri incelendiğinde termal özelliklerin partikül boyutu değişiminden çok fazla etkilenmediği tespit edilmiştir. Hem nar kabuğu hem de portakal kabuğundan elde edilen filmler kese kağıdı ambalaj malzemesi ile yakın termal özellikler göstermiştir (Maraveas, 2019). Bu durum hem kağıdın hem de nar ve portakal filmlerinin yapısında bulunan selüloz molekülünden kaynaklanmış olabilir. Elde edilen biyofilmler termal özellikler açısından polivinil klorür (T_g : 81°C ve T_m : 212 °C) ile benzerlik göstermiştir (Pekdemir, 2020). Elde edilen biyofilmler gıda ambalaj malzemesi olarak sentetik filmlerle kıyaslandığında termal özellikler açısından geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla polimer matriksinin içine termal kararlılığı sağlayabilmek ve kristalizasyon sıcaklığını azaltmak için kil gibi farklı dolgu maddeleri eklenebilir (Çankaya, 2017). Nişasta/kil biyonanokompozitlerinin camsı geçiş sıcaklığı -23,8°C, kitosan biyopolimerinde bu değer 72°C, nişastadan elde edilen biyopolimer filmde ise 100°C olarak belirtilmiştir (Krishnapriya ve ark. 2010; Çankaya, 2017; Abral ve ark., 2018). Bu değerler dikkate alındığında elde edilen nar

ve portakal kabuğu biyofilmlerinin termal özelliklerinin diğeri biyopolimerle paralellik gösterdiğini söylenebilir.



BÖLÜM 5. SONUÇ

Bu çalışma nar ve portakal kabuğu atıklarının aktif biyofilm geliştirilmesinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Gıda ambalaj malzemelerinde önemli bir özellik olan mekanik özelliklere partikül boyutunun önemli etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Partikül boyutunun küçültülmesiyle hem nar hem de portakal kabuğu filmlerinin mekanik özellikleri gelişmektedir. Atıkların partikül boyutunun küçültülmesi matriks içinde yüzey alanını arttırdığından gliserol ve asit ile olan etkileşimleri arttırmış ve filmlerin daha mukavemetli olmasını sağlamıştır. Asit konsantrasyonunun artmasıyla polimer denatürasyonu artmış ve ortaya çıkan polimer zincirleri ile gliserol arasındaki etkileşim artmış ve filmlerin mekanik özellikleri gelişmiştir. Gliserol konsantrasyonunun artması ile filmlerin yapılarındaki hidrofilik yani -OH gruplarının sayısı artmıştır. Buna bağlı olarak polimer zincirleri arasındaki kuvvetler azalmış ve filmlerin esnekliği artmıştır.

Hem nar hem de portakal kabuğu filmlerinde yüksek antimikrobiyal ve antioksidan özellik tespit edilmiştir. Bu durum nar kabuğu filmleri için kabuğundaki antosiyanin, gallotanen, hidroksisinamik asit, gallik asit gibi fenolik bileşenlerin varlığından ileri gelmektedir. Portakal kabuğu filmlerinde ise hidroseller ve limonen gibi esansiyel yağların varlığı bu etkiyi sağlamaktadır. Nar ve portakal kabukları aktif ambalaj uygulaması için çok yüksek potansiyele sahiptir.

Partikül boyutunun azalması filmlerin mikro yapılarını iyileştirmiştir. Partikül boyutunun azalmasıyla filmler daha homojen, çatlaksız ve pürüzsüz bir yapıya sahip olmuştur. Mikro yapıdaki bu iyileşmeler filmlerin mekanik özelliklerinin de gelişmesine katkıda bulunmuştur.

Partikül boyutunun azalması hem nar hem de portakal kabuğu filmlerinin termal özellikleri üzerinde önemli bir değişikliğe sebep olmamıştır. Portakal ve nar kabuğundan elde edilen filmlerin termal davranışları birbirine yakın bulunmuş olup, bunun yapıdaki pektin ve selüloz gibi polimerlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında meyve endüstrisi atıklarından olan nar ve portakal kabuğunun yapılarında bulunan doğal polimerler (pektin, selüloz, hemiselüloz) sayesinde uygun plastikleştirici ve çözücü kullanılmasıyla homojen yapıda film oluşturabildiği, oluşan bu filmlerin yüksek antimikrobiyal ve antioksidan etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen biyofilmlerin çekme mukavemeti ve kopma anındaki uzama değerlerinin gıda ambalajlama için yetersiz olduğu ve mekanik özelliklerin kristal nanoselüloz ve montmorillonit kili gibi nano dolgular ile geliştirilebileceği düşünülmektedir. Sürdürülebilir ve aktif gıda ambalajlamada nar ve portakal kabukları yüksek antimikrobiyal ve antioksidan biyopolimer kaynağı olarak iyi bir potansiyele sahip olmasına rağmen termal ve mekanik özelliklerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- Abral, H., Dalimunthe, M. H., Hartono, J., Efendi, R. P., Asrofi, M., Sugiarti, E., Kim, H. J. 2018. Characterization of tapioca starch biopolymer composites reinforced with micro scale water hyacinth fibers. *Starch-Stärke*, 70(7-8), 1700287.
- Ahmadzadeh, S., Khaneghah, A. M. 2020. Role of green polymers in food packaging. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*; Choudhury, I., Hashmi, S., Eds, 305-319.
- Akgün, O. 2020. Covid-19 salgını döneminde türkiye’de alınan idari kararların salgının önlenmesindeki etkisinin değerlendirilmesi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*. 7(7), 201-228.
- Al-Naamani, L., Dobretsov, S., Dutta, J. 2016. Chitosan-zinc oxide nanoparticle composite coating for active food packaging applications. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 38, 231- 237.
- Ali, A., Chen, Y., Liu, H., Yu, L., Baloch, Z., Khalid, S., Chen, L. 2019. Starch-based antimicrobial films functionalized by pomegranate peel. *International Journal of Biological Macromolecules*. 129, 1120-1126.
- Alirezalu, K., Hesari, J., Nemati, Z., Munekata, P. E., Barba, F. J., Lorenzo, J. M. 2019. Combined effect of natural antioxidants and antimicrobial compounds during refrigerated storage of nitrite-free frankfurter-type sausage. *Food Research International*. 120, 839-850.
- Aljawish, A., Muniglia, L., Klouj, A., Jasniewski, J., Scher, J., Desobry, S. 2016. Characterization of films based on enzymatically modified chitosan derivatives with phenol compounds. *Food Hydrocolloids*. 60, 551-558
- Al-Zoreky, N.S. 2009. Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit peels. *International Journal of Food Microbiology*. 134(3), 244-248.
- Almasi, H., Azizi, S., Amjadi, S. 2020. Development and characterization of pectin films activated by nanoemulsion and Pickering emulsion stabilized marjoram (*Origanum majorana L.*) essential oil. *Food Hydrocolloids*. 99, 10533
- Anonim, 2019, <https://www.istanbuldogu.com/tag/7-kita/>, Erişim Tarihi: 18.09.2019.
- Awasthi, A., Saxena, K. K. 2019. Evaluation of mechanical properties of orange peel reinforced epoxy composite. *Materials Today: Proceedings*. 18, 3821-3826.
- Atalay, D., Türken, T., Erge, H.S. 2018. Pektin; Kaynakları ve ekstraksiyon yöntemleri, *Gıda*. 43(6), 1002-1018.

- Ayhan, Z., 2012. Yeni Ambalaj Teknolojileri (Bölüm 3). Gıda Mühendisliğinde Isıl Olmayan Güncel Teknikler ve Uygulamalar, 43-77. Ed. Baysal T, İçier F, Nobel Yayınları.
- Azarpazhooh, E., Sharayei, P., Zomorodi, S., Ramaswamy, H. S. 2019. Physicochemical and phytochemical characterization and storage stability of freeze-dried encapsulated pomegranate peel anthocyanin and in vitro evaluation of its antioxidant activity. *Food and Bioprocess Technology*. 12(2), 199–210.
- Baldwin, E.A., Baker, R.A. 2002. Use of proteins in edible coatings for whole and minimally processed fruits and vegetables, *Protein-based films and coatings*, CRC Press, FL.
- Bátori, V., Jabbari, M., Åkesson, D., Lennartsson, P. R., Taherzadeh, M. J., Zamani, A. 2017. Production of pectin-cellulose biofilms: a new approach for citrus waste recycling. *International Journal of Polymer Science*, 2017.
- Batista, R.A., Espitia, P.J.P., Quintans, J.D.S.S., Freitas, M.M., Cerqueira, M.Â., Teixeira, J.A., Cardoso, J.C. 2019. Hydrogel as an alternative structure for food packaging systems. *Carbohydrate Polymers*. 205, 106-116.
- Bergo, P. V. A., Carvalho, R. A., Sobral, P. J. A., Dos Santos, R. M. C., Da Silva, F. B. R., Prison, J. M., Habitante, A. M. Q. B. 2008. Physical properties of edible films based on cassava starch as affected by the plasticizer concentration. *Packaging Technology and Science: An International Journal*. 21(2), 85-89.
- Bertolo, M. R., Martins, V. C., Horn, M. M., Brenelli, L. B., Plepis, A. M. 2020. Rheological and antioxidant properties of chitosan/gelatin-based materials functionalized by pomegranate peel extract. *Carbohydrate Polymers*. 228, 115386.
- Bodbodak, S., Shahabi, N., Mohammadi, M., Ghorbani, M., Pezeshki, A. 2021. Development of a novel antimicrobial electrospun nanofiber based on polylactic acid/hydroxypropyl methylcellulose containing pomegranate peel extract for active food packaging. *Food and Bioprocess Technology*. 14(12), 2260-2272.
- Borah, P. P., Das, P., Badwaik, L. S. 2017. Ultrasound treated potato peel and sweet lime pomace based biopolymer film development. *Ultrasonics Sonochemistry*. 36, 11-19.
- Bourtoom, T. 2008. Plasticizer effect on the properties of biodegradable blend film from rice starch-chitosan. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 30.
- Cano, A., Fortunati, E., Cháfer, M., González-Martínez, C., Chiralt, A., Kenny, J. M. 2015. Effect of cellulose nanocrystals on the properties of pea starch–poly (vinyl alcohol) blend films. *Journal of Materials Science*. 50(21), 6979-6992.
- Ciolacu, L., Nicolau, A.I., Hoorfar, J. 2014. *Global Safety of Fresh Produce, Edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables*, Edited by Hoorfar, J., Woodhead Publishing, England, 233-244.
- Chu, J., Metcalfe, P., Linford, H. V., Zhao, S., Goycoolea, F. M., Chen, S., Orfila, C. 2022. Short-time acoustic and hydrodynamic cavitation improves dispersibility and functionality of pectin-rich biopolymers from citrus waste. *Journal of Cleaner Production*. 330, 129789.

- Costa, N. N., de Faria Lopes, L., Ferreira, D. F., de Prado, E. M. L., Severi, J. A., Resende, J. A., Villanova, J. C. O. 2020. Polymeric films containing pomegranate peel extract based on PVA/starch/PAA blends for use as wound dressing: In vitro analysis and physicochemical evaluation. *Materials Science and Engineering*. 109, 110643.
- Çankaya, N. 2017. Biyopolimerler ve montmorillonit kil nanokompozitleri. *Politeknik Dergisi*. 20(3), 663-673.
- Çelik, M., Kılıç, E. 2020. Bitkisel kaynaklı biyopolietilenin biyokompozit üretiminde ve polimer karışımlarında kullanımı. *Journal of Textiles and Engineers*. 27(119).
- Çelik, İ., Tümer, G. 2016. Gıda ambalajlamada son gelişmeler. *Akademik Gıda*. 14(2), 180-188.
- Çelik, S. Ö. 2018. Atıktan türetilmiş yakıt: Yasal çerçeve, Avrupa'daki ve Türkiye'deki durum. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*. 1(2), 63-71.
- Cha, D.S., Chinnan, M.S., 2004. Biopolymer-based antimicrobial packaging: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 44(4), 223-237.
- Cui, H., Surendhiran, D., Li, C., & Lin, L. 2020. Biodegradable zein active film containing chitosan nanoparticle encapsulated with pomegranate peel extract for food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*. 24, 100511.
- Emadian, S. M., Onay, T. T., Demirel, B. 2017. Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*. 59, 526-536.
- European Commission, 2011. Plastic Waste in the Environment, Final Report.
- FAO. 2018. World Food And Agriculture–Statistical Pocketbook 2018. Rome. <https://doi.org/10.4060/CA1796EN>
- Fu, S. Y., Feng, X. Q., Lauke, B., Mai, Y. W. 2008. Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate–polymer composites. *Composites Part B: Engineering*. 39(6), 933-961.
- Darı, A. B. 2022. Covid-19 pandemisi döneminde plastik atık temelli çevre kirliliğini konu alan kamu spotları. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. (40), 281-308.
- Dave, F. 2020. COVID-19 has worsened the ocean plastic pollution problem. *Scientific American*, <https://www.scientificamerican.com/article/covid-19-has-worsened-the-ocean-plasticpollution-problem/>; Erişim tarihi: [25.02.2021].
- Da Silva, M. A., Bierhalz, A. C. K., & Kieckbusch, T. G. 2009. Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca²⁺ ions: Effect of the plasticizer concentration. *Carbohydrate Polymers*. 77(4), 736-742.
- Dehghani, S., Hosseini, S. V., Regenstein, J. M. 2018. Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food Chemistry*. 240, 505-513.
- Deb, S., Kumar, Y., Saxena, D. C. 2022. Functional, thermal and structural properties of fractionated protein from waste banana peel. *Food Chemistry*. 13, 1-9.

- Demir, T., Akpınar, Ö., Haki, K. A. R. A., Güngör, H. 2019. Nar (*Punica granatum L.*) kabuğunun in vitro antidiyabetik, antienflamatuar, sitotoksik, antioksidan ve antimikrobiyal aktivitesi. Akademik Gıda. 17(1), 61-71.
- Drzyzga, O. and A. Prieto. 2018 Plastic waste management, a matter for the 'community'. Microbial Biotechnology. 12, 1-3.
- Dursun, S., Erkan, N. 2014. The effect of edible coating on the quality of smoked fish. Italian Journal of Food Science. 26(4), 370.
- European Commission, 2011. Plastic Waste in the Environment, Final Report.
- Ezati, P., Rhim, J.W. 2020. pH-responsive pectinbased multifunctional films incorporated with curcumin and sulfur nanoparticles. Carbohydrate Polymers. 230, 1-8.
- Farshi, P., Tabibiazar, M., Ghorbani, M., Mohammadifar, M., Amirkhiz, M. B., Hamishehkar, H. 2019. Whey protein isolate-guar gum stabilized cumin seed oil nanoemulsion. Food Bioscience. 28, 49-56.
- Fennema, O.R., Damodaran, S., Parkin, K.L. 2017. Introduction to food chemistry. In Fennema's Food Chemistry, CRC Press, Florida, USA.
- Garavand, F., Cacciotti, I., Vahedikia, N., Rehman, A., Tarhan, Ö., Akbari-Alavijeh, S., Jafari, S. M. 2020. A comprehensive review on the nanocomposites loaded with chitosan nanoparticles for food packaging. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 62(5), 1383-1416.
- García-Ramón, J. A., Carmona-García, R., Valera-Zaragoza, M., Aparicio-Saguilán, A., Bello-Pérez, L. A., Aguirre-Cruz, A., Alvarez-Ramirez, J. 2021. Morphological, barrier, and mechanical properties of banana starch films reinforced with cellulose nanoparticles from plantain rachis. International Journal of Biological Macromolecules. 187, 35-42.
- Gennadios A, Mc Hugh TH, Weller CL, Krochta JM. 1994. Edible coatings and films based on proteins. In: Edible coatings and films to improve food quality. Krochta JM, Baldwin EA, Nisperos-Carriedo M, Editors. p. 201-277. Technomic Pub. Co. Lancaster Pa.
- Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N., Mihoubi, N. B. 2012. Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content. Industrial Crops and Products. 40, 167-177.
- Gontard, N., Guilbert, S., Cuq, J. L. 1993. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. J. Food Science. 58, 206-211.
- Gupta, P., Nayak, K.K. 2015. Characteristics of protein-based biopolymer and its application. Polymer Engineering and Science. 55(3), 485-498.
- Gullon, B., Pintado, M. E., Pérez-Álvarez, J. A., Viuda-Martos, M. 2016. Assessment of polyphenolic profile and antibacterial activity of pomegranate peel (*Punica granatum*) flour obtained from co-product of juice extraction. Food Control. 59, 94-98.

- Gümüşderelioğlu, M. 2012. Biyoplastikler. *Bilim ve Teknik Dergisi*, (541)76-79.
- Hanani, Z. N., Husna, A. A., Syahida, S. N., Khaizura, M. N., Jamilah, B. 2018. Effect of different fruit peels on the functional properties of gelatin/polyethylenebilayer films for active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*. 18, 201-211.
- Haugaard, V. K., Mortensen, G. 2003. Biobased food packaging. *Environmentally-Friendly Food Processing*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85573-677-1.50015-X>.
- Hu, Z., Hong, P., Liao, M., Kong, S., Huang, N., Ou, C., Li, S. 2016. Preparation and characterization of chitosan-agarose composite films. *Materials*. 9(10), 816.
- He, L., Lan, W., Ahmed, S., Qin, W., ve Liu, Y. 2019. Electrospun polyvinyl alcohol film containing pomegranate peel extract and sodium dehydroacetate for use as food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*. 22, 100390.
- Ouyang, Q., Wang, X., Wang, X., Huang, J., Huang, X., Chen, Y. 2016. Simultaneous DSC/TG analysis on the thermal behavior of PAN polymers prepared by aqueous free-radical polymerization. *Polymer Degradation and Stability*. 130, 320-327.
- Özay, H. 2019. Ananas atıklarından gıda ambalaj materyali olarak hidrojel filmlerin sentezlenmesi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyokimya Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Ivonkovic, A., Zeljko, K., Talic, S., Lasic, M. 2017. Biodegradable packaging in the food industry. *Journal of Food Safety and Food Quality*. 68, 26-38.
- Ilyas, M. 2018. Plastic waste as a significant threat to environment – a systematic literature review. *Reviews on Environmental Healthy*. 33(4), 383-406
- İkinci, A., Dursun, E., Karaoğlu, E. 2021. Şanlıurfa’da Yetiştirilen Bazı Nar (*Punica granatum* L.) Çeşitlerinin Fenolik Bileşenleri ve Antioksidan Aktivitelerinin Belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*. 31(3), 699-709.
- Jabeen, N., Majid, I., Nayik, G. A. 2015. Bioplastics and food packaging: A review. *Cogent Food and Agriculture*. 1(1), 1-6.
- Janjarasskul, T., Krochta, J.M. 2010. Edible packaging materials. *Annual Review of Food Science and Technology*. 1, 415-448.
- Jain, V., Viswanatha, G.L., Manohar, D., Shivaprasad, H.N. 2012. Isolation of antidiabetic principle from fruit rinds of *Punica granatum*. *Evidence Based Complementary Alternative Medicine*. 147202, 1-11.
- Jiménez, A., Fabra, M.J., Talens, P., Chiralt, A. 2012. Edible and biodegradable starch films: a review. *Food and Bioprocess Technology*. 5(6), 2058-2076.
- Jridi, M., Abdelhedi, O., Salem, A., Kechaou, H., Nasri, M., & Menchari, Y. 2020. Physicochemical, antioxidant and antibacterial properties of fish gelatin-based edible films enriched with orange peel pectin: Wrapping application. *Food Hydrocolloids*. 103, 105688.
- Kaderides, K., Kyriakoudi, A., Mourtzinou, I., Goula, A. M. 2021. Potential of pomegranate peel extract as a natural additive in foods. *Trends in Food Science & Technology*. 115, 380-390.

- Kalaycıoğlu Z, Erim FB. 2017. Total phenolic contents, antioxidant activities, and bioactive ingredients of juices from pomegranate cultivars worldwide. *Food Chemistry*. 221, 496-507.
- Karakuş, E., Ayhan, Z. 2019. Gıda atıklarından çevre dostu biyobozunur ambalaj malzemesi üretimi. *Gıda*. 44(6), 1008-1019.
- Karakuş, E., Balballı, E. K., İlknur, A., Ayhan, Z. 2021. Polisakkarit ve Protein Bazlı Aktif Biyokompozit Malzemelerin Gıda Ambalajlama Açısından Değerlendirilmesi. *Akademik Gıda*. 19(1), 74-88.
- Kayan, A. 2018. Çevre Sorunlarına Eğitimle Farkındalık Oluşturma. *J. Awareness (JoA)*. 3, 481-496.
- Koide, S., Shi, J., 2007. Microbial and quality evaluation of green peppers stored in biodegradable film packaging. *Food Control*. 18(9): 1121-1125.
- Köksal, Ö., Er, B. A., Ardalı, Y., Sağlam, M. 2019. Biyoplastiklerin biyodegradasyonu. *Sinop üniversitesi fen bilimleri dergisi*. 4(2), 151-167.
- Kılınç, M., Tomar, O., Çağlar, A. 2017. Biyobozunur Gıda Ambalaj Malzemeleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 17(3), 988-996.
- Kirtil, E., Aydogdu, A., Svitova, T., Radke, C. J. 2021. Assessment of the performance of several novel approaches to improve physical properties of guar gum based biopolymer films. *Food Packaging and Shelf Life*. 29, 100687.
- Krishnan, R. A., Mhatre, O., Sheth, J., Prabhu, S., Jain, R., Dandekar, P. 2020. Synthesis of zinc oxide nanostructures using orange peel oil for fabricating chitosan-zinc oxide composite films and their antibacterial activity. *Journal of Polymer Research*. 27(8), 1-13.
- Krishnapriya, K. R., Kandaswamy, M. 2010. A new chitosan biopolymer derivative as metal-complexing agent: synthesis, characterization, and metal (II) ion adsorption studies. *Carbohydrate Research*. 345(14), 2013-2022.
- Lau, K. T., Gu, C., Hui, D. 2006. A critical review on nanotube and nanotube/nanoclay related polymer composite materials. *Composites Part B: Engineering*. 37(6), 425-436.
- Liang, T., Sun, G., Cao, L., Li, J., Wang, L. 2018. Rheological behavior of film-forming solutions and film properties from *Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum and purple onion peel extract. *Food Hydrocolloids*. 82, 124-134
- Li, G. 2010. Biodegradable blends of polycaprolactone with thermoplastic starch. Doctoral dissertation, École Polytechnique de Montréal.
- Liu, L., 2006. Bioplastics in food packaging: Innovative technologies for biodegradable packaging. *San Jose State University Packaging Engineering*, 13.
- Mali, S., Grossmann, M. V. E., García, M. A., Martino, M. N., Zaritzky, N. E. 2006. Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 75(4), 453-460.

- Malviya, S., Jha, A., Hettiarachchy, N. 2014. Antioxidant and antibacterial potential of pomegranate peel extracts. *Journal of Food Science and Technology*. 51(12), 4132-4137.
- Mamman, R. O., Ramalan, A. M. 2020. Mechanical and physical properties of polyester reinforced glass fibre/orange peel particulate hybrid composite. *Advanced Journal of Graduate Research*. 7(1), 18-26.
- Mármol, G., Gauss, C., Fanguero, R. 2020. Potential of cellulose microfibers for PHA and PLA biopolymers reinforcement. *Molecules*. 25(20), 4653.
- Maraveas, C. 2019. Environmental sustainability of greenhouse covering materials. *Sustainability*. 11(21), 6129.
- McKay, S., Sawant, P., Fehlberg, J., Almenar, E. 2021. Antimicrobial activity of orange juice processing waste in powder form and its suitability to produce antimicrobial packaging. *Waste Management*. 120, 230-239.
- Meerasri, J., Sothornvit, R. 2020. Characterization of bioactive film from pectin incorporated with gamma-aminobutyric acid. *International Journal of Biological Macromolecules*. 147, 1285-1293.
- Mendes, J. F., Martins, J. T., Manrich, A., Neto, A. S., Pinheiro, A. C. M., Mattoso, L. H. C., Martins, M. A. 2019. Development and physical-chemical properties of pectin film reinforced with spent coffee grounds by continuous casting. *Carbohydrate Polymers*. 210, 92-99.
- Meydanju N., Pirs, S., Farzi, J. 2022. Biodegradable film based on lemon peel powder containing xanthan gum and TiO₂-Ag nanoparticles: Investigation of physicochemical and antibacterial properties. *Polymer Testing*. 106, 107445.
- Metin, C., Baygar, T. 2018. Denizel Kaynaklardan Elde Edilen Biyoaktif Maddeler ve Kozmetik Alanında Kullanımı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*. 14(4), 339-350.
- Moghadam, M., Salami, M., Mohammadian, M., Khodadadi, M., Emam-Djomeh, Z. 2020. Development of antioxidant edible films based on mung bean protein enriched with pomegranate peel. *Food Hydrocolloids*. 104, 105735.
- Motaung, T. E., Linganis, L. Z. 2018. Critical review on agrowaste cellulose applications for biopolymers. *International Journal of Plastics Technology*. 22(2), 185-216.
- Narayan, R., Schaaf, K. 1992. Plastics Subcommittee Establishing New Criteria for Materials Degradability. *ASTM Standardization News*, July, pp. 23-26
- Ojha S., Raghavendra, G., Acharya, S. K. 2012. Fabrication and study of mechanical properties of orange peel reinforced polymer composite. *Cellulose*. 13, 0-6.
- Okur, M., Aktı, F., Çetintaş, A. 2018. Polianilin/Aljinat malzemesinin asit violet 90 boyar maddesinin gideriminde kullanılması: Kinetik ve izoterm değerlendirilmesi. *GU J Sci, (Part C)*, 729-740.

- PAGEV. 2018. Türkiye Plastik Ambalaj Malzemeleri Sektör İzleme Raporu 3 Aylık, <https://www.pagev.org/upload/files/Hammadde%20Yeni%20Tebli%C4%9F%0Bilg.%203/Plastik%20Ambalaj%20Malzemeleri%20Sekt%C3%B6r%20Raporu%202018%20Ocak%20-%20Mart.pdf> (27.06.2018).
- Park, J. W., Testin, R. F., Park, H. J., Vergano, P. J., Weller, C. L. 1994. Fatty acid concentration effect on tensile strength, elongation, and water vapor permeability of laminated edible films. *Journal of Food Science*. 59(4), 916-919.
- Paul, V. 2015. Synthesis and characterization of a biocomposite derived from banana plants (*Musa cavendish*). Doctoral dissertation.
- Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., do Amaral Sobral, P. J., Menegalli, F. C. 2017. Nanocomposites based on banana starch reinforced with cellulose nanofibers isolated from banana peels. *Journal of Colloid and Interface Science*. 505, 154-167.
- Pinnel, L. J., Turner J. W. 2019. Shotgun metagenomics reveals the benthic microbial community response to plastic and bioplastic in coastal marine environment. *Frontiers in Microbiology*. 10, 1-13.
- Pitak, N., ve Rakshit, S. K. 2011. Physical and antimicrobial properties of banana flour/chitosan biodegradable and self sealing films used for preserving Fresh-cut vegetables. *LWT-Food Science and Technology*. 44(10), 2310-2315.
- Plastics Europe, Plastics-the facts 2019. Plastics Europe, 2019, <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>; Erişim tarihi: [23.12.2020].
- Plastics Europe, Plastics-the facts 2020. Plastics Europe, 2020, <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2020>; Erişim tarihi: [23.12.2020].
- Priya, B., Gupta, V.K., Pathania, D., Singha, A.S. 2014. Synthesis, characterization and antibacterial activity of biodegradable starch/PVA composite films reinforced with cellulosic fibre. *Carbohydrate Polymers*. 109, 171-179.
- Putnik, P., Bursać Kovačević, D., Režek Jambrak, A., Barba, F. J., Cravotto, G., Binello, A., ve Shpigelman, A. 2017. Innovative “green” and novel strategies for the extraction of bioactive added value compounds from citrus wastes-A review. *Molecules*. 22(5), 680.
- Rahmani, H., Najafi, S.H.M., Saffarzadeh-Matin, S., Ashori, A. 2014. Mechanical properties of carbon fiber/epoxy composites: Effects of number of plies, fiber contents, and angle-ply layers. *Polymer Engineering and Science*. 54(11), 2676-2682.
- Riaz, A., Lei, S., Akhtar, H. M. S., Wan, P., Chen, D., Jabbar, S., ve Zeng, X. 2018. Preparation and characterization of chitosan-based antimicrobial active food packaging film incorporated with apple peel polyphenols. *International Journal of Biological Macromolecules*. 114, 547-555.
- Ritchie, H., M. Roser, Plastic pollution. Our World in Data, 2019, <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>; Erişim tarihi: [23.12.2020].

- Rhim, J. W., Park, H. M., Ha, C. S. 2013. Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science*. 38(10-11), 1629-1652.
- Routh, A. F. 2013. Drying of thin colloidal films. *Reports on Progress in Physics*. 76(4), 046603.
- Sablani, S.S., Dasse, F., Bastarrachea, L., Dhawan, S., Hendrix, K.M., Min, S.C. 2009. Apple peel- based edible film development using a high- pressure homogenization. *Journal of Food Science*. 74(7), 372-381.
- Sancar, E. 2017. Nişasta esaslı doğal atıklardan biyobozunur plastik eldesi, Gazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Sánchez-González, L., Saavedra, J. I. Q., Chiralt, A. 2014. Antilisterial and physical properties of biopolymer films containing lactic acid bacteria. *Food Control*. 35(1), 200-206.
- Sarıtunalı, H. N. (2021). Çevresel güvenlik ve enerji arz güvenliği bağlamında Türkiye'nin enerji politikası. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*. 4(2), 409-421.
- Schubert, S. Y., Lansky, E. P., Neeman, I. 1999. Antioxidant and eicosanoid enzyme inhibition properties of pomegranate seed oil and fermented juice flavonoids. *Journal of Ethnopharmacology*. 66, 11-17.
- Shankar, S., Teng, X., Li, G., Rhim, J.W. 2015. Preparation, characterization, and antimicrobial activity of gelatin/ZnO nanocomposite films. *Food Hydrocolloids*. 45, 264-71.
- Sharma, P.; Gaur, V.K.; Kim, S.; Pandey, A. 2020. Microbial strategies for bio-transforming food waste into resources. *Bioresource Technology*. 299, 122580
- Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A. Ahmed, S., 2008. Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*. 26, 246-265.
- Shams, B., Ebrahimi, N. G., Khodaiyan, F. 2019. Development of antibacterial nanocomposite: whey protein-gelatin-nanoclay films with orange peel extract and tripolyphosphate as potential food packaging. *Advances in Polymer Technology*. 2019,1-9.
- Shivamathi, C. S., Gunaseelan, S., Soosai, M. R., Vignesh, N. S., Varalakshmi, P., Kumar, R. S., Moorthy, I. M. G. 2022. Process optimization and characterization of pectin derived from underexploited pineapple peel biowaste as a value-added product. *Food Hydrocolloids*. 123, 107141.
- Silva, V. D. M., Macedo, M. C. C., Rodrigues, C. G., dos Santos, A. N., e Loyola, A.C. D. F., Fante, C. A. 2020. Biodegradable edible films of ripe banana peel and starch enriched with extract of *Eriobotrya japonica* leaves. *Food Bioscience*. 38, 100750.
- Sobral, P.J.A., Menegalli, F.C., Hubinger, M.D. and Roques, M.A. 2001. Mechanical, water vapor marrier and thermal properties of gelatin based edible films. *Food Hydrocolloids*. 15(6), 423-432.

- Şen, E., Özdemir, S., Uğuzdoğan, E. 2021. Meyve kabuğu atıklarından pektin ekstraksiyonu ve karakterizasyonu Extraction and characterization of pectin from waste of fruit peels. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 27(7), 863-872.
- Şimşek, T., Seyfullah, K. 2018. Alginat-Kitosan Bazlı Biofilm Sentezi İçin Deneysel Tasarım Uygulaması. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi. 8(2), 482-490.
- Tan, Y.M., Lim, S.H., Tay, B.Y., Lee, M.W., Thian, E.S. 2015. Fonksiyonel kitosan bazlı greyfurt çekirdeği, gıda paketleme teknolojisindeki uygulamalar için kompozit filmler çıkarır. Malzeme Araştırma Bülteni. 69, 142-146.
- Taghavi Kevij, H., Salami, M., Mohammadian, M., Khodadadi, M., Emam-Djomeh, Z. 2021. Mechanical, physical, and bio-functional properties of biopolymer films based on gelatin as affected by enriching with orange peel powder. Polymer Bulletin. 78(8), 4387-4402.
- Tanveer, A., Farooq, U., Akram, K., Hayat, Z., Shafi, A., Nazar, H., Ahmad, Z. 2015. Pomegranate extracts: A natural preventive measure against spoilage and pathogenic microorganisms. Food Reviews International. 31(1), 29-51.
- Tawakkal, I. S. M. A., Cran, M. J., Miltz, J., Bigger, S. W. 2014. A review of poly (lactic acid)-based materials for antimicrobial packaging, Journal of Food Science. 79(8), 1470–1490.
- Terzioğlu, P., Güney, F., Parın, F. N., Şen, İ., Tuna, S. 2021. Biowaste orange peel incorporated chitosan/polyvinyl alcohol composite films for food packaging applications. Food Packaging and Shelf Life. 30, 100742.
- Thakur, S., Chaudhary, J., Kumar, V., Thakur, V.K. 2019. Progress in pectin based hydrogels for water purification: Trends and challenges. Journal of Environmental Management, 238, 210-223.
- Thassitou, P. K., Arvanitoyannis, I. S. 2001. Bioremediation: a novel approach to food waste management. Trends in Food Science and Technology. 12(5-6), 185-196.
- Topkaya, C. 2017. Nar kabuğu tozu ilavesinin keklerin besinsel, duysal ve mikrobiyolojik özelliklerine etkisi. Master Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Türkyılmaz, M., Tağı, Ş., Özkan, M. 2017. Effects of extraction solvents on polyphenol contents, antioxidant and antibacterial activities of pomegranate parts. Academic Food Journal/Akademik Gıda. 15(2), 109-118.
- Vaezi, K., Asadpour, G. 2022. Effects of HCl Hydrolyzed Cellulose Nanocrystals From Waste Papers on the Hydroxypropyl Methylcellulose/Cationic Starch Biofilms. Waste and Biomass Valorization, 1-17.
- Wang, H., Wang, L. 2017. Developing a bio-based packaging film from soya by-products incorporated with valonea tannin. J Clean Product. 143, 624-633, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.064.
- Wang, R., Ding, Y., Liu, R., Xiang, L., Du, L. 2010. Pomegranate: constituents, bioactivities and pharmacokinetics. Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology. 4(2), 77-87.

- Weber, C. J., Haugaard, V., Festersen, R., Bertelsen, G. 2010. Production and applications of biobased packaging materials for the food industry: Food Additives and Contaminants. 19, 37–41.
- Woranuch, S., Yoksan, R., Akashi, M. 2015. Ferulic acid-coupled chitosan: Thermal stability and utilization as an antioxidant for biodegradable active packaging film. Carbohydrate Polymers. 115, 744-751.
- Wu, H., Lei, Y., Lu, J., Zhu, R., Xiao, D., Jiao, C., Li, M. 2019. Effect of citric acid induced crosslinking on the structure and properties of potato starch/chitosan composite films. Food Hydrocolloids, 97, 105208.
- Yılmaz, B., Usta, C. 2010. Nar'ın (*Punica granatum*) terapötik etkileri. Türkiye Aile Hekimliği Dergisi. 14(3), 146-153.
- Yoruç, A. B. H., Uğraşkan, V. 2017. Yeşil Polimerler ve Uygulamaları. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. 17(1), 318-337.
- Zeng, J., Ren, X., Zhu, S., Gao, Y. 2021. Fabrication and characterization of an economical active packaging film based on chitosan incorporated with pomegranate peel. International Journal of Biological Macromolecules. 192, 1160-1168.
- Zubair, M., Ullah, A. 2020. Recent advances in protein derived bionanocomposites for food packaging applications. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 60(3), 406-434.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Eylem Karakuş

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Gıda Mühendisliği	2018-2022
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Gıda Mühendisliği	2018
Lise	Semiha Şakir Anadolu Lisesi	2014

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2020-Devam etmekte	Döhler Grup	Uzman

YABANCI DİL

İngilizce

ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

1. Karakuş, E., Ayhan, Z. 2019. Gıda Atıklarından Çevre Dostu Biyobozunur Ambalaj Malzemesi Üretimi. Gıda, 44(6), 1008-1019.
2. Karakuş, E., Balballı, E. K., İlknur, A. R. A., Ayhan, Z. 2021. Polisakkarit ve Protein Bazlı Aktif Biyokompozit Malzemelerin Gıda Ambalajlama Açısından Değerlendirilmesi. Akademik Gıda, 19(1), 74-88.
3. Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyonu (Proje No: 2020-7-24-31).

HOBİLER

Kişisel gelişim ve öykü kitapları okumak, hayvanlarla ilgilenmek, gitar ve kalimba çalmak, sokak, gezi ve hayvan fotoğrafçılığı.