



T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BEZELYE PROTEİNİ-PSYLLIUM (*Plantago Ovata*) MÜSİLAJİ ESASLI
NAR KABUĞU EKSTRAKTI İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ YENİLEBİLİR
FİLMLEİN GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

AHMET FURKAN İSLAMOĞLU

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şanlıurfa
2025



T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BEZELYE PROTEİNİ-PSYLLIUM (*Plantago Ovata*) MÜSİLAJİ ESASLI
NAR KABUĞU EKSTRAKTI İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ YENİLEBİLİR
FİMLERİN GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

AHMET FURKAN İSLAMOĞLU

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Tez Danışmanı: Prof. Dr. AHMET FERİT ATASOY
Tez 2./Eş Danışman: Dr. Öğr. HURİYE GÖZDE CEYLAN

Şanlıurfa
2025

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitiminin boyunca değerli görüş ve önerileri ile bana her daim yol gösteren ve yardımcı olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet Ferit ATASOY'a,

Gerek laboratuvar çalışmalarında ve gerekse de tez yazım aşamasında değerli yönlendirmeleri, katkıları ve her türlü destekleri için eş danışmanım Sayın Arş. Gör. Dr. Huriye Gözde CEYLAN ile jüri üyeleri Doç. Dr. Ali YILDIRIM, Doç. Dr. Eyyüp KARAOĞUL ve Doç. Öğr. Üyesi Aziz KORKMAZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmaları aşamasında bana sağladığı destek ve imkanlar için Adıyaman Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvar Müdürü Sayın Doç. Dr. Miraç UÇKUN hocama da ayrıca teşekkür ederim.

Bana daima güvenen ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen babam Prof. Dr. Mahmut İSLAMOĞLU'na, dualarını her zaman yanımda hissettiğim annem Elif Aslı İSLAMOĞLU'na ve sevgili kardeşlerim Berkan ve Ayşe Rana İSLAMOĞLU'na,

Tez çalışmalarım boyunca hep yanımda olan, beni her daim manevi olarak destekleyen sevgili nişanım Av. Hatice Beyza YAVUZ'a sonsuz teşekkürlerimi arz ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
ŞİMGELER	v
KISALTMALAR	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. Gıda Ambalajı ve İşlevleri	4
2.2. Yenilebilir Filmler ve Kaplamalar	4
2.3. Bitki Tohumu Müsilajları ve Filmlerde/Kaplamalarda Kullanımı	6
2.4. Bitkisel Protein Esaslı Yenilebilir Filmler	8
2.5. Psyllium (<i>Plantago ovata</i>) İçeren Yenilebilir Filmler	9
2.6. NKE ve Yenilebilir Filmlerde/Kaplamalarda Kullanımı	12
3. GEREÇ VE YÖNTEM	16
3.1. Yöntem	16
3.1.1. Psyllium Müsilajının Elde Edilmesi	16
3.1.2. Nar Kabuğu Ekstratının Elde Edilmesi	17
3.1.3. Yenilebilir Film Üretimi	18
3.2. İstatistiksel Analiz	19
3.3. Yenilebilir Filmlerin Karakterizasyonu	19
3.3.1. Kalınlık	19
3.3.2. Nem İçeriği	19
3.3.3. Suda Çözünürlük (SÇ)	20
3.3.4. Su buharı geçirgenliği (SBG)	20
3.3.5. Renk	21
3.3.6. Opaklık (Işık bariyer özellikleri)	21
3.3.7. Mekaniksel Özellikler	21
3.3.8. Antioksidan Aktivite	22
3.3.9. Mikroyapısal Özellikler	22
3.3.10. FTIR	23
3.4. Materyal	23
4. BULGULAR	24
4.1. Kalınlık	24
4.2. Nem	24
4.3. Suda Çözünürlük	25
4.4. Su Buharı Geçirgenliği	26
4.5. Renk	27
4.6. Opaklık (Işık Bariyer Özellikleri)	32
4.7. Mekaniksel Özellikler	33
4.7.1. Gerilme Direnci	33
4.7.2. Uzama Katsayısı	34
4.8. Antioksidan Özellikler	35
4.8.1. Toplam Antioksidan Kapasitesi (TAK)	35
4.8.2. Toplam Fenolik İçeriği (TFM)	36
4.9. Mikroyapısal Özellikler	37
4.10. Fourier Dönüştürümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)	38
5. TARTIŞMA	40
5.1. Kalınlık	40
5.2. Nem	40
5.3. Suda Çözünürlük	41
5.4. Su Buharı Geçirgenliği	41

5.5. Renk.....	42
5.6. Opaklık (Işık Bariyer Özellikleri).....	43
5.7. Mekaniksel Özellikler.....	43
5.7.1. Gerilme Direnci	43
5.7.2. Uzama Katsayısı	44
5.8. Antioksidan Özellikler.....	45
5.8.1. Toplam Antioksidan Kapasitesi (TAK).....	45
5.8.2. Toplam Fenolik İçeriği (TFM)	45
5.9. Mikroyapısal Özellikler	46
5.10. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)	47
6. SONUÇLAR.....	49
7. ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	63



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BEZELYE PROTEİNİ-PSYLLIUM (*Plantago Ovata*) MÜSİLAJİ ESASLI NAR KABUĞU EKSTRAKTI İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ YENİLEBİLİR FİMLERİN GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

AHMET FURKAN İSLAMOĞLU

HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışman: Prof. Dr. AHMET FERİT ATASOY
Tez 2./Eş Danışman: Dr. Öğr. HURİYE GÖZDE CEYLAN
Yıl: 2024, Sayfa : 76

Bu çalışmada, bezelye proteini izolatu ve psyllium musilajı esaslı film formülasyonlarına farklı oranlarda nar kabuğu ekstraktı (NKE) ilave edilerek biyoesaslı ve yenilikçi yenilebilir filmlerin üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, NKE-0, NKE-0.25, NKE-0.50, NKE-1 ve NKE-1.5 olarak adlandırılan filmler sırasıyla 0, 0.25, 0.50, 1 ve 1.5% (a/h) NKE içerecek şekilde hazırlanarak filmlerin fizikokimyasal, bariyer, renk, optik, mekanik, biyoaktif ve yapısal özellikleri incelenmiştir.

Sonuçlar, NKE ilavesinin filmlerin kalınlık, nem içeriği, suda çözünürlük, su buharı geçirgenliği, renk, ışık bariyeri ve biyoaktif özellikleri üzerinde önemli bir etkiye ($P \leq 0.05$) sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ancak, filmlerin mekanik özellikleri üzerinde NKE ilavesinin etkisi önemli ($P \geq 0.05$) bulunmamıştır. NKE içeren filmlerin kalınlık, nem içeriği, suda çözünürlük ve su buharı geçirgenliği değerleri kontrol filmine (NKE-0) kıyasla önemli ölçüde yüksek ($P \leq 0.05$) bulunmuştur. Ayrıca, NKE konsantrasyonuna bağlı olarak filmlerin antioksidan aktivitesi ve toplam fenolik içeriğinde belirgin bir artış ($P \leq 0.05$) tespit edilmiştir. NKE ilavesi filmlerin L^* değerinde belirgin bir azalmaya ($P \leq 0.05$), a^* , b^* ve ΔE değerlerinde belirgin bir artışa ($P \leq 0.05$) neden olmuştur. Bununla birlikte, NKE konsantrasyonuna bağlı olarak filmlerin opaklık değerinde önemli bir artış ($P \leq 0.05$) tespit edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri NKE içeren filmlerin kontrol filmine kıyasla daha düzgün bir yüzeye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bunlara ek olarak, kontrol ve NKE içeren filmlerin FTIR spektrumları arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir. Sonuçlar göz önüne alındığında, NKE ile zenginleştirilmiş bezelye proteini-psyllium musilajı esaslı bu filmler biyoesaslı ambalaj malzemeleri için yenilikçi bir alternatif olarak değerlendirilebilir.

ANAHTAR KELİMELELER: Bitki tohumu müsilajı, Biyoesaslı yenilebilir film, Baklagil proteini, *Plantago ovata*, Nar kabuğu ekstraktı

ABSTRACT

MASTER THESIS

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF EDIBLE FILMS ENRICHED WITH POMEGRANATE PEEL EXTRACT BASED ON PEA PROTEIN-PSYLLIUM (*Plantago Ovata*) MUCILAGE

AHMET FURKAN İSLAMOĞLU

HARRAN UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF FOOD ENGINEERING

Thesis Supervisor: Prof. Dr. AHMET FERİT ATASOY

Thesis 2nd/Co-Advisor: Dr. HURİYE GÖZDE CEYLAN

Year: 2024, Page : 76

In this study, it was aimed to produce biobased and innovative edible films by adding pomegranate peel extract (PPE) at different rates to pea protein isolate and psyllium mucilage based film formulations. For this purpose, films named as PPE-0, PPE-0.25, PPE-0.50, PPE-1 and PPE-1.5 were prepared by containing 0, 0.25, 0.50, 1 and 1.5% (w/v) PPE, respectively, and the physicochemical, barrier, color, optical, mechanical, bioactive and structural properties of the films were investigated. The results revealed that the addition of PPE had a significant effect ($P \leq 0.05$) on the thickness, moisture content, water solubility, water vapor permeability, color, light barrier and bioactive properties of the films. However, the effect of the addition of PPE on the mechanical properties of the films was not found to be significant ($P \geq 0.05$). The thickness, moisture content, water solubility and water vapor permeability values of the films containing PPE were found to be significantly higher ($P \leq 0.05$) compared to the control film (PPE-0). In addition, a significant increase in antioxidant activity and total phenolic content of the films was detected ($P \leq 0.05$) depending on the NKE concentration. The addition of PPE caused a significant decrease in the L^* value of the films ($P \leq 0.05$), and a significant increase in a^* , b^* and ΔE values ($P \leq 0.05$). In addition, a significant increase in the opacity value of the films ($P \leq 0.05$) was detected depending on the PPE concentration. Scanning electron microscope (SEM) images revealed that the films containing PPE had a smoother surface compared to the control film. In addition, no significant difference was observed between the FTIR spectra of the control and PPE containing films. Considering the results, these PPE-enriched pea protein-psyllium mucilage based films can be considered as an innovative alternative for biobased packaging materials.

KEYWORDS: Plant seed mucilage, Biobased edible film, Legume protein, *Plantago ovata*, Pomegranate peel extract

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Psyllium tohumlarının karıştırılması ve santifürüj sonrası görüntüleri.....	16
Şekil 3.2.	Sonikatörde homojinize edilme işlemi	17
Şekil 3.3.	Psyllium tohumlarından müsülaj ekstraksiyonu akım şeması	17
Şekil 3.4.	Ekstraksiyonda kullanılan nar kabukları	18
Şekil 4.1.	Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin kalınlık değerleri	24
Şekil 4.2.	Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin nem değerleri.....	25
Şekil 4.3.	Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin suda çözünürlük değerleri	26
Şekil 4.4.	Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin su buharı geçirgenlik değerleri.....	27
Şekil 4.5.	Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin L* değerleri.....	29
Şekil 4.6.	Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin a*değerleri.....	30
Şekil 4.7.	Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin b*değerleri	30
Şekil 4.8.	Şekil 4.8. Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin ΔE değerleri	31
Şekil 4.9.	Şekil 4.9. Farklı NKE konsantrasyonlarda yenilenebilir filmlerin renk değişimi.....	32
Şekil 4.10.	Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin opaklık değerleri	33
Şekil 4.11.	NKE konsantrasyonları içeren filmlerin gerilme direnci değerleri.....	34
Şekil 4.12.	Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin uzama katsayısı değerleri	35
Şekil 4.13.	Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin antioksidan aktivite değerleri	36
Şekil 4.14.	NKE konsantrasyonları içeren filmlerin toplam fenolik içerik değerleri.....	37
Şekil 4.15.	NKE Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin kesit ve yüzey SEM görüntüleri	38
Şekil 4.16.	NKE konsantrasyonlarının yenilebilir filmlerin su buharı geçirgenliği üzerindeki etkisi	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Farklı oranlarda NKE içeren yenilebilir film formülasyonları	19
---	----



SİMGELER

%: Yüzde

g : Gram

L : Litre

M: Molarite

° : Sıcaklık (Santigrad derece)

μ : mikrolitre

μ : mikrolitre



KISALTMALAR

a/h : Ağırlık/Hacim oranı

FTIR : Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi

g/ref : Relatif santrifüj kuvveti

GD : Gerilme direnci

kg : kilogram

log : logaritma

mg : miligram

mL : Mililitre

mm : Milimetre

NKE : Nar kabuğu ekstratı

PM : Psyllium müsilajı

PMT : Psyllium müsilajı tozu

SBG : Su buharı geçirgenliği

SÇ : Suda çözünürlük

SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

TAK : Toplam antioksidan kapasite

TFM : Toplam fenolik içeriği

UK : Uzama katsayısı

1. GİRİŞ

Gıda ambalajı, gıda güvenliği ve hijyenini sağlamak, bozulmayı önlemek amacıyla gıda endüstrisinde en önemli unsurlardan biridir. Ancak, geleneksel ambalaj malzemelerinin büyük bir kısmının tek kullanımlık olması, çevre kirliliği üzerinde önemli bir yük oluşturmaktadır (Petkoska ve ark., 2021). Bu nedenle, geleneksel ambalaj materyallerinin çevresel kirliliği üzerindeki etkisini en aza indirmek için sürdürülebilir malzemelere odaklanan yenilikçi yaklaşımların araştırılması bir zorunluluk haline gelmiştir (Hamed ve ark., 2022). Bu bağlamda, yenilebilir filmler, çevresel atıkların azaltılmasına katkı sağlayan, çevre dostu ve geleneksel ambalajlara alternatif oluşturabilecek sürdürülebilir bir seçenek olarak öne çıkmaktadır (Summo ve ark., 2022).

Yenilebilir film formülasyonlarında proteinler, karbonhidratlar, lipitler ile bunların kombinasyonları olmak üzere doğal, yenilebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir kaynaklar kullanılmaktadır (Mohamed ve ark., 2020). Bu kaynaklar arasında, baklagil esaslı bir protein olan bezelye proteini, biyoesaslı yenilebilir filmlerin üretimi için önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Linares- Castañeda ve ark., 2023). Bezelye proteinleri, üstün film oluşturma özellikleriyle yenilebilir film ve kaplama üretiminde ideal bir malzeme olarak değerlendirilmektedir. Ancak, bezelye proteininden elde edilen filmlerin zayıf mekanik özellikler sergilediği ve hidrofilik yapıları nedeniyle neme karşı hassas olduğu bildirilmektedir (Cao ve ark., 2024). Bu sınırlamaları aşmak amacıyla, bezelye proteini esaslı filmlerin formülasyonlarına film kararlılığı ve performansı artıran polimerler ve bileşikler ilave edilmektedir (Linares- Castañeda ve ark., 2023).

Çok sayıda bitki tohumu, esas olarak polisakkaritlerden oluşan musilaj olarak bilinen önemli miktarda madde üretir. Bunlar gıda, tarım, ilaç ve kozmetikler dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde kullanılır (Kučka ve ark., 2022). Son yıllarda, çeşitli bitkilerden elde edilen musilajların yenilebilir ambalajların geliştirilmesi için uygulanmasına olan ilgi önemli ölçüde artmıştır (Lopez-Díaz ve ark., 2023). Musilajlar, biyoyumlulukları, maliyet etkinlikleri, yüksek verimleri ve toksik olmayan özelliklerinin yanı sıra kokusuz ve renksiz olmaları nedeniyle yenilebilir ambalajların geliştirilmesi için tercih edilen malzemedir (Kučka ve ark., 2022; Lopez-Díaz ve ark., 2023). Biyolojik olarak parçalanabilir polimerler olan musilajların, düşük bağıl nemli ortamlarda sağlık yararları sağladığı ve bariyer işlevlerini geliştirdiği gösterilmiştir. Dahası, uzun süreler boyunca çözünmeden kalan kaygan yapılar oluşturma kapasiteleri, bu malzemeleri dayanıklı filmlerin üretimi için uygun

hale getirir (Daei ve ark., 2022). Psyllium (*Plantago ovata*) tohumları su molekülleriyle kolayca hidrojen bağıları oluşturur ve sulu ortamlarda hidrojeller oluşturmak için şişer. Ayrıca, psyllium musilajı kendiliğinden destekleyici filmler oluşturabilir ve bu da onu yenilebilir filmler ve kaplamalar için ideal bir malzeme haline getirir (Daei ve ark., 2022).

Musilaj dahil çoğu biyopolimer, çevre dostu özelliklerine ve biyoesaslı filmlerin üretiminde sundukları sayısız avantaja rağmen, ticari plastik malzemelere kıyasla daha fazla hidrofilik özellikler gösterirler. Film üretiminin verimliliği ve işlevsel özellikleri film oluşturan malzemelerin içsel özelliklerine göre değişebildiği bildirilmiştir (Lopez-Díaz ve ark., 2023). Sonuç olarak, film özelliklerini iyileştirmek için formülasyona aktif/biyoaktif bileşenlerin eklenmesi önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır (Kučka ve ark., 2022).

Gıda atıklarının ambalaj malzemesi olarak kullanılması, sıfır atık kavramına ulaşılmasına katkıda bulunurken aynı zamanda çevre dostu ambalaj malzemeleri ve gıda güvenliği taleplerini karşılayan sürdürülebilir bir uygulamadır (Hamed ve ark., 2022; Khalil ve ark., 2024). Gıda atıkları biyoaktif bileşikler açısından zengindir ve antioksidan, antimikrobiyal, antiviral ve antiinflamatuvar aktiviteler gibi özellikler gösterir (Hamed ve ark., 2022). Kabuğu ve çekirdekleri gibi yenmeyen kısımları da dahil olmak üzere nar, biyoaktif bileşikler açısından zengin, oldukça besleyici bir meyve olarak kabul edilir (Bertolo ve ark., 2020). Toplam meyve ağırlığının yaklaşık %40-50'sini oluşturan nar kabuğu, nar meyvelerinin işlenmesi sırasında oluşur ve atık olarak atılır (Kumar ve ark., 2022). Nar kabuğu, ellagik asit, gallik asit, punikalagin A ve B dahil olmak üzere çeşitli biyoaktif bileşiklerin önemli bir kaynağıdır. Bu biyoaktif bileşikler, nar kabuğunun antioksidan, antimikrobiyal, antifungal, antiviral ve anti-diyabetik özelliklerinden sorumlu birincil bileşenleri oluşturur (Bertolo ve ark., 2020; Kumar ve ark., 2022). Nar kabuğu ekstratı (NKE) içeren yenilebilir filmler ve kaplamalar üzerine yapılan çalışmalarda, NKE ilavesinin filmlerin mekanik ve mikro yapısal özelliklerini geliştirdiği, antimikrobiyal aktiviteyi iyileştirdiği ve biyokimyasal özellikleri güçlendirdiği bildirilmiştir (Alsaggaf ve ark., 2017; Dai ve ark., 2022).

Önceki çalışmalarda NKE yenilebilir film ve kaplamalarda kullanımı kapsamlı bir şekilde araştırılmış olsa da (Dai ve ark., 2022; Vargas – Torrico ve ark., 2024; More ve ark., 2022), baklagil proteini ve bitki musilajı/sakız bazlı filmlerde NKE'nin etkilerini inceleyen araştırmalar sınırlıdır (Hajirostamloo ve ark., 2022; Zhao ve ark., 2024). Ancak, bezelye proteini ve psyllium musilajından oluşan bu

yenilikçi matriste NKE kullanımını inceleyen hiçbir çalışma tespit edilmemiştir. Bu çalışmanın ile, i) bezelye proteini izolatu ve psyllium musilajına dayalı film formülasyonları farklı NKE konsantrasyonlarıyla zenginleştirilerek yenilikçi yenilebilir film üretmek, ii) filmlerin fizikokimyasal, bariyer, renk, optik, mekanik, biyoaktif ve yapısal özellikleri incelemek amaçlanmıştır. Bu amaçlar çerçevesinde, organik kökenli maddelerin gıdaların kaplanmasında kullanılarak, daha sağlıklı ambalajların ve fonksiyonel gıdaların elde edilmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Gıda Ambalajı ve İşlevleri

Ürünlerin tazeliğini, lezzetini ve hijyenini korumada kritik bir rol oynayan ambalajlama, aynı zamanda tüketicilere güvenli ve pratik bir ürün sunmayı amaçlamaktadır. Modern ambalajlama teknikleri, sürdürülebilir malzemeler, akıllı ambalaj teknolojileri ve yenilebilir ambalajlar gibi yenilikçi yaklaşımlarla desteklenmektedir. Yenilebilir filmler ve kaplamalar ise, gıda yüzeylerine veya gıda katmanları arasına çeşitli yöntemlerle uygulanabilen, yenilebilir özellikte ince bir tabaka olarak tanımlanmaktadır (Ayana, 2007).

Gıda ambalajı, gıdayı dış etkenlerden koruyan, pazarlamayı ve tüketimi kolaylaştıran metal, cam, kâğıt, plastik gibi özel malzemelerden yapılan kaplar, kılıflar veya sargılar olarak adlandırılmaktadır. Kaliteli ve güvenli gıda koşulları, hem üretim aşamasında, hem de ambalajlama ve depolama aşamalarında da sağlanması gerektiği bildirilmiştir (Şahin ve Bayizit, 2008).

Gıda ambalaj sektöründeki yeni gelişmeler, ambalajı yalnızca gıdayı koruyan bir unsur olmaktan çıkararak, aynı zamanda tüketicilerin ilgisini çeken ve bilgi sağlayan bir materyal haline getirmiştir. Geleneksel pasif paketleme teknolojisinin yerini, gıdanın korunması, tüketim sürecinin kolaylaştırılması, fonksiyonel özelliklerinin iyileştirilmesi ve çevresel atıkların azaltılmasında önemli rol oynayan akıllı paketleme teknolojisi almıştır (Quintavalla ve Vicini, 2002; Kerry ve ark., 2006).

Yenilebilir ambalaj materyalleri gıda maddelerinin nem, gaz ve yağ geçişini engelleyen bir bariyer olarak görev yapmakta olduğunu, antimikrobiyal ve antioksidan gibi bazı ajanların taşıyıcılığını yaptığını, ayrıca gıda maddelerinden uçucu lezzet bileşenlerinin kaybını önlediği tespit edilmiştir. Bu özellikleri bakımından yenilebilir ambalaj materyallerinin çoğu, sentetik yenilemeyen ambalaj materyalleriyle aynı işlevi yaptığını, ancak yenilebilir ambalaj materyallerinin en büyük avantajının doğal olmasından kaynaklandığını bildirilmiştir (Robertson, 2012).

2.2. Yenilebilir Filmler ve Kaplamalar

Gıda ürünlerine uygulanan ince yenilebilir malzemelerden oluşan yenilebilir filmler ve kaplamalar; gıdanın korunması, dağıtımı ve pazarlanması aşamalarında

önemli rol oynamaktadır. Bu ambalajların en önemli işlevi, ürünü her türlü fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik etkiden korumak olduğu bildirilmektedir (Falguera ve ark., 2011).

Yenilebilir filmlerin, ürünle birlikte yenilmesi, tüketici sağlığına zararsız olması, çevreye olumsuz etkisinin olmaması, üretim teknolojinin basit ve maliyetlerinin düşük olması en büyük avantajlarını oluşturmaktadır. Ayrıca, yenilebilir film ve kaplamalar, oksijen, karbondioksit ve yağ sızıntısını kontrol ederek tat ve aroma kaybını azaltmaları ve antioksidanlar ile antimikrobiyaller içermesi de diğer avantajları arasında yer aldığı bildirilmektedir (Özdemir ve Floros, 2004).

Yenilebilir kaplamaların kullanımı avantajlarının yanında özellikle soğukta muhafaza edilen ve taze tüketilen et, tavuk, su ürünleri gibi tüketime hazır gıdaların raf ömürlerini uzatmak ve ürün kalitesini geliştirmek amacıyla da kullanılabilirliği belirtilmektedir (Guillard ve ark., 2003; Sorrentino ve ark., 2007).

Yenilebilir film formülasyonlarında doğal, yenilebilir ve biyolojik olarak parçalanabilen kaynaklar kullanılır ve bu kaynaklar arasında proteinler, karbonhidratlar, lipitler ve bunların kombinasyonları önemli yer tuttuğu bildirilmiştir (Mohamed ve ark., 2020).

Yenilebilir film kaplamaların kullanılan malzemelere göre çeşitli türleri bulunmaktadır. Dünyada ve ülkemizde en fazla kullanılan türlerinden birisi de protein esaslı yenilebilir film kaplamalarıdır. Protein esaslı filmler ve kaplamalar formülasyona, yapım metotlarına ve modifikasyon işlemlerine bağlı olarak yenilebilmekte ve biyolojik olarak parçalanabilir özellikte olmaktadır. Bu filmlerin yapımında gıda esaslı proteinler ve katkı maddeleri (plastikleştiriciler, asit veya bazlar, tuzlar ve enzimler) kullanılmaktadır (Temiz ve Yeşilsu, 2006).

Son yıllarda, paketleme teknolojisinde önemli ilerlemeler kaydedildiği, bu ilerlemeler arasında özellikle yenilebilir film üretiminin dikkat çekici bir yer tuttuğu belirtilmiştir (Cha ve Chinnan, 2004; Devlieghere ve ark., 2004).

Yenilebilir kaplamalar, gıda maddelerinin yüzeyini kaplayarak ürün kalitesini artıran ve bütün olarak güvenle tüketilebilen ince katmanlardır. Bu nedenle, yenilebilir kaplamaların bileşenlerinin gıda sınıfında veya genel olarak güvenli kabul edilen maddelerden oluşması gerekmektedir. Bütün veya taze kesilmiş meyve ve

sebzelerin raf ömrünü uzatmak amacıyla kullanılan yenilebilir kaplamaların kullanımı güncel bir tekniktir. Bu kaplamalar, taze meyve ve sebzelerin renk, aroma, görünüm, tat ve doku gibi özelliklerinde meydana gelebilecek değişiklikleri önleyerek kaliteyi korumak üzere geliştirilmiştir (Raghav ve ark., 2016).

Yenilebilir filmler ve kaplamalar, ürünün renk ve parlaklık gibi fiziksel özelliklerini iyileştirdiği, ürünü tüketici için daha çekici hale getirdiği, özellikle protein esaslı (peynir altı suyu, kazein ve buğday gluteni gibi) yenilebilir ambalaj materyallerinin içermiş olduğu aminoasitler nedeniyle de gıdanın besin değerini arttırdığı belirlenmiştir (Hammam, 2019).

Bozkurt ve ark. (2023), yenilenilir film ve kaplamaların sahip olması gereken temel özellikleri genel olarak şu şekilde sıralamışlardır,

- Tüketim açısından güvenli olmalıdır.
- Biyobozunur olmalı, alerjen ve toksik olmamalıdır.
- Kaplama işlemi gıdanın dış yüzeyinde homojen film katmanı oluşturabilmelidir.
- Depolama sırasında stabilitesini korumalıdır.
- Gıdayı sadece kimyasal bozunmalara karşı değil, hasara karşı da korumalıdır.
- Film oluşturma işlemi sırasında homojen olarak dağılmalıdır.
- Gıdanın içinde ve dışında nem ve gaz transferini kontrol edebilmelidir.
- Gerekli aroma lezzet ve besin özelliklerinin kaybını önleyebilmelidir.
- Biyokimyasal, fizikokimyasal ve mikrobiyal stabilite sağlamalıdır.

2.3. Bitki Tohumu Müsilajları ve Filmlerde/Kaplamalarda Kullanımı

Genellikle belirli bitkilerden ekstrakte edilen müsilajlar, viskoz bir kütle oluşturmak için suyla etkileşime giren, suda çözünür polisakkaritler ve proteinlerden oluşan hidrofilik polimerler olarak tanımlanmıştır. Müsilajlar son zamanlarda, çeşitli bitki ve bitki parçalarından (tohumlar, meyveler, yapraklar) elde edilen, yeni yenilebilir ambalajlar geliştirmek için kullanıldığını, toksik olmama, biyoyumluluk, biyolojik olarak parçalanması ve uyarlanması gibi özelliklerinden dolayı kullanımı sentetik malzemelere göre giderek daha fazla tercih edildiği bildirmiştir (Olawuyi ve ark., 2021).

Gıda endüstrisinde, jelleşme, kalınlaştırma, emülsiyon stabilizasyonu ve köpük stabilizasyonu gibi teknolojik özellikleri nedeniyle yaygın olarak hidrokolloidler kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda, tüketicilerin doğal katkı maddelerine olan artan talebi doğrultusunda, hidrokolloidlerin yerine bitki tohum

musilajlarının kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Bitki tohum musilajları, hem teknolojik özellikleri hem de diyet lifi kaynağı olmaları nedeniyle eklendikleri ürünlere fonksiyonel özellik kazandırmaktadır (Vardar ve ark., 2021).

Biyolojik olarak parçalanabilen ve sürdürülebilir bir alternatif olan bitki tohumları müsilajları umut verici bir seçenek olarak petrokimya bazlı film ve kaplamalar yerine kullanılabileceği belirtilmektedir. Doğal bitki müsilajı bazlı yenilebilir ambalajlar, taze ve işlenmiş gıdaların raf ömrünün uzatılmasına yardımcı olurken aynı zamanda mikrobiyolojik bozulma ve oksidasyon süreçlerini azalttığı saptanmıştır (Nehra ve ark., 2023).

Nehra ve ark. (2023), tarafından petrokimya esaslı film ve kaplamalara alternatif olarak keçiyoynuzu, fesleğen, çemen otu gibi bitki tohum müsilajlarından yenilebilir filmler geliştirilmiştir. Araştırmacılar bitki tohumları müsilajlarının umut verici bir seçenek olabileceğini belirtmişlerdir. Bitki müsilajından elde edilen yenilebilir ambalajların, taze ve işlenmiş gıdaların raf ömrünün uzatılmasına yardımcı olabileceğini, aynı zamanda mikrobiyolojik bozulma ve oksidasyon süreçlerini azaltabileceğini bildirmişlerdir.

Olawuyi ve ark. (2021), yapmış oldukları çalışmada, taze ürünlerin kalitesini ve raf ömrünü iyileştirmek için yenilebilir kaplama/film kullanımının eski fakat güvenilir bir koruma yöntemi olduğunu ifade etmişlerdir. Aynı araştırmacılar, bitkisel müsilajların, yenilebilir paketler hazırlamak için yaygın olarak kullanıldığını, farklı bitkilerden elde edilen müsilajların meyve ve sebzelerde yenilebilir ambalajların temel tekno-işlevsel özelliklerini koruduklarını bildirmişlerdir.

Müsilaj, çözünebilir polisakkaritler ve proteinler sayesinde film oluşumuna önemli katkıda bulunabileceği vurgulanmıştır. Bununla birlikte, müsilajların yüksek nem emme kapasitesi film özellikleri üzerinde zararlı bir etkiye sahip olması, bu nedenle film özelliklerini iyileştirmek amacıyla formülasyona aktif/biyolojik bileşenlerin eklenmesi önemli bir araştırma alanı oluşturduğu bildirilmiştir (López-Díaz ve ark., 2023).

Bazı bitki hidrokolloidlerinin sinbiyotik doogh üretiminde kullanımı üzerine yapılan bir çalışmada, *P. psyllium* mukilajının farklı konsantrasyonlarda (0, %0.15, %0.30, %0.75 (a/a) Doogh örneklerinin fizikokimyasal, mikrobiyal ve duyuşsal özellikleri incelenmiştir. *P. psyllium* içeren örneklerin kararlılığının, bu hidrokolloidi içermeyen örneklerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca *P. psyllium*

miktarının artırılmasıyla, işlenmiş örneklerin viskozitesinin arttığı, *Lactobacillus casei* canlılığını artırdığını ve bu mukilajın prebiyotik potansiyel taşıyabileceğini bildirmişlerdir. Doogh üretimi için, 15. günde %0.30 P. psyllium ile işlenen örneklerin, üretim için en uygun formülasyon olduğunu belirlenmişlerdir (Arabshahi ve Sedaghati, 2022).

2.4. Bitkisel Protein Esaslı Yenilebilir Filmler

Baklagil proteinleri, mükemmel film oluşturucu özelliklerinden dolayı yenilebilir film ve kaplamaların üretimi için ideal olduğu ancak baklagil protein bazlı filmler zayıf mekanik özellikler sergilemesi ve proteinlerin hidrofilik doğasından dolayı neme karşı hassas olmasının en büyük dezavantajını oluşturduğu bildirilmiştir (Cao ve ark., 2024).

Baklagil proteinlerinden yapılan filmlerin dezavantajlarını azaltmak ve daha stabil filmler geliştirmek için film formülasyonuna farklı polimerler ve bileşikler eklenmesi gerekmektedir. Son yıllarda çeşitli bitkilerden elde edilen müsilağların yenilebilir ambalajların geliştirilmesinde kullanımı, doğal ve yenilenebilir özelliklerinden dolayı popülerlik kazanmıştır (Kučka ve ark., 2022).

Protein esaslı yenilebilir filmlerin hem hayvansal hem de bitkisel kökenli olabileceği ifade edilmektedir (Krochta, 2002). İçerdikleri besin bileşenleri nedeniyle bitkilerden elde edilen müsilağların gıda teknolojisinde her geçen gün öneminin arttığı bildirilmiştir (Ganorkar ve Jain, 2014).

Yıldız ve ark. (2018), bezelye proteini konsantrelerinin gliserol ile birleştirilmesi, peynir altı suyu proteinlerine dayalı filmlere kıyasla filmlerde daha fazla yüzey yapısı homojenliği ve daha düşük ışık geçirgenliği ile sonuçlandığını bildirilmiştir. Baklagil proteinlerinden biri olan bezelye proteini, yenilebilir filmlerin üretilmesi için umut verici bir seçenek olduğu vurgulanmıştır (Linares-Castañeda ve ark., 2023).

Can Karaca (2020), bezelye proteini bazlı filmlerin referans nesnelere, işleme koşulları ve parametreleri için temel oluşturduğunu belirtmiştir. Bu filmlerin, düşük oksijen ve su buharı geçirgenliği gibi gaz ve su bariyer özelliklerinin yanı sıra, yüksek çekme mukavemeti, modül, delinme direnci ve estetik görünüm gibi güçlü mekanik özelliklere sahip olduğu, bezelye proteini izolatının film oluşturma özelliklerinin ise kullanılan plastikleştirici türüne, protein-plastikleştirici oranına, pH,

ısıtılmasına ve enjeksiyon parametreleri gibi faktörlere bağlı olarak değişim gösterdiğini bildirmiştir.

Bezelye proteinleri, su buharı geçirgenliği (SBG) ve fiziksel özellikler açısından, soya, peynir altı suyu ve zein proteinleri kullanılarak yapılan filmlere benzer yenilebilir filmler üretmek için değerlendirilmektedir (Choi ve Han, 2001).

Hopkins ve ark. (2019) tarafından baklagil protein konsantrasyonlarından (bakla, bezelye, lupin, mercimek ve soya) farklı gliserol konsantrasyonları (%50, %75 ve %100) kullanılarak hazırlanan filmlerin mekanik özellikleri su buharı bariyeri performansını ve opaklığı incelenmiştir. Araştırma bulguları, artan gliserol konsantrasyonunun çekme mukavemetini (TS) azalttığını, ancak uzama katsayısı (UK) ve su buharı geçirgenliğini (SBG) artırdığını göstermiştir. Film opaklığı ise gliserol konsantrasyonundan etkilenmemiştir. Bezelye protein konsantresi filmleri, mukavemet, uzama ve nem bariyeri özellikleri açısından en iyi performansı sergileyerek, gıda ambalajı için potansiyel bir biyobozunur ve yenilebilir film materyali olarak öne çıkmıştır.

Kowalczyk ve ark. (2013), bezelye protein izolatu bazlı filmlerin mekanik özellikleri üzerinde farklı plastikleştiricilerin (gliserol ve sorbitol), pH seviyelerinin ve ısıtmanın etkilerini karşılaştırmayı amaçlamıştır. Çalışmada, sorbitol ile hazırlanan filmlerin gliserol ile hazırlananlara kıyasla daha yüksek çekme mukavemeti ve elastik modüle sahip olduğu, ancak daha düşük uzama katsayısı sergilediği belirlenmiştir. pH artışı ve film oluşturucu çözeltilerin ısıtılması genel olarak mekanik dayanımı artırmıştır. Sonuçlar, bezelye protein izolatu bazlı filmlerin mekanik özelliklerinin üretim koşullarına ve katkı maddelerine bağlı olarak önemli ölçüde optimize edilebileceğini göstermektedir.

Farshi ve ark. (2024), yenilebilir film ve kaplamaların üretiminde bezelye proteini ve bezelye nişastasının potansiyelini incelemiştir. Çalışmada, bezelye proteininin düşük maliyeti, yüksek protein içeriği ve genetik modifikasyondan arındırılmış yapısıyla öne çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca, bezelye proteini üretimi sırasında elde edilen yan ürün olan bezelye nişastası, yenilebilir film geliştirme çalışmaları için önemli bir kaynak olarak vurgulanmıştır.

2.5. Psyllium (*Plantago Ovata*) İçeren Yenilebilir Filmler

P. psyllium müsilajının biyolojik olarak parçalanabildiği ve jel oluşturma

özellikleri sayesinde yenilebilir film yapımında kullanılabilmesi belirtilmiştir. Ayrıca, *P. psyllium* müsülajının depolama sırasında gıdalara biyoaktif bileşikler salarak ürünün olumlu etkiler sağladığı tespit edilmiştir (Chavoshi ve ark., 2022).

Hajivand ve ark. (2020), biyolojik olarak parçalanabilen ve antimikrobiyal aktivite gösteren yenilebilir bir film üreterek gıdanın raf ömrünü uzatmak amacıyla *Plantago psyllium* (karnıyarık otu) tohum müsülajına kekik ekstraktı ekleyerek oluşturdukları filmleri çilek meyvelerini kaplanmasında kullanmışlardır. Çalışma sonucunda çileklerin hasat sonrası ömürlerinin 16 güne kadar uzadığı belirlenmiştir. Araştırma sonucunda, *P. psyllium* biyolojik olarak parçalanabilen ve çevre dostu ambalaj filmi üretmek için iyi bir alternatif olduğunu bildirilmiştir.

Karnıyarık Otu *P. psyllium* L. (Plantaginaceae) familyasına ait olup, Akdeniz bölgesinde yetişen, 30 - 45 cm boylarına ulaşabilen, yumuşak pamuklu veya yünlü yapraklara sahip, sapsız ve tek yıllık bir bitkidir. Karnıyarık otu tohumlarından elde edilen müsülajın protein, yağ, selüloz ve nişasta içeriğinin zengin olduğu ve tıbbi özelliklerinden dolayı sanayi ve ticarete kullanılabilmesi bildirilmektedir (Gümüş, 2021).

Psyllium, *Plantago Ovata* tohumlarının dış tabakasının mekanik olarak öğütülmesiyle elde edilen berrak, renksiz ve jelleştirici özelliklere sahip bir madde olarak tanımlanmaktadır (Verma ve ark., 2013). *Plantago* cinsine ait dünya genelinde 200'den fazla tür bulunduğu, bu bitkilerin 15 cm'ye kadar boylanabildiği ve beyaz tüylerle kaplandığı bildirilmiştir. Tohumlar ise küçük olup (1.5-2 cm), kahverengi veya kırmızımsı kahverengi renktedir (Masood ve ark., 2010).

Tıbbi ve sağlık açısından, *psyllium*un kabızlık tedavisinde yaygın kullanıldığı bildirilmiştir. *Psyllium* bağırsakta suyu emerek dışkının hacmini artırdığı ve bağırsak hareketlerini düzenlediği belirlenmiştir (Sanders ve ark., 2018).

Karnıyarık otunun tohumları halk arasında kolesterol düşürücü, yatıştırıcı, yumuşatıcı ve müşhil olarak, gıda sanayisinde ise süspansiyon yardımcısı, stabilizör, prebiyotik, emülgatör ve jelleştirme ajanı olarak kullanıldığı bildirilmiştir (Gümüş, 2021).

Dioscorea rotundata nişastası, gliserol, peynir altı suyu protein konsantresi ve *psyllium* kabuğu ile biyolojik olarak parçalanabilen filmler geliştirilmiş ve bu filmlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Elde edilen kompozit

biyofilm, yalnızca *D. rotundata* nişastasından üretilen filmlere kıyasla daha yüksek çekme mukavemeti, daha düşük su buharı geçirgenliği ve daha iyi yapısal bütünlük sergilediği gözlenmiştir. Ayrıca, kompozit biyofilmin yüzeyi, fil ayağı yamı nişastasının gliserol ile etkileşime girerek yoğun bir ağ yapısı oluşturduğunu gösteren morfolojik özellikler sunmuştur. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizleri, filmin termal kararlılığını doğrulamış, fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ise bileşenler arasında güçlü etkileşimlerin varlığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, geliştirilen kompozit filmlerin, sentetik malzemelere alternatif olarak gıda ambalajı gibi alanlarda potansiyel kullanımını desteklediği bildirilmiştir (Sukhija ve ark., 2018).

Peynir altı suyu protein izolatı (PPI) ve psyllium tohum müsülajı (PTM) içeren kompozit filmler, farklı PPI/PTM oranlarında (1:0, 3:1, 1:1, 1:3, 0:1) karıştırılarak fizikokimyasal, mekanik ve yapısal özellikleri açısından incelenmiştir. PPI/PTM kompozit filmleri, yalnızca PPI veya PTM içeren filmlerle karşılaştırıldığında daha yüksek su temas açısı ve su buharı geçirgenliği gösterirken, oksijen ve ışık geçirgenlikleri ise daha düşük olduğu belirlenmiştir. PTM oranındaki artışla birlikte, film parlaklığı ve beyazlık indeksi artarken, toplam renk farkı azalmıştır. Kompozit filmlerin çekme mukavemeti ve elastik modülü, 1:1 PPI/PTM oranında en yüksek değere ulaşmıştır. Ayrıca, kompozit filmler tek başına üretilen filmlerden daha yüksek kopma uzaması göstermiştir. PPI/PTM kompozit filmleri, yüzeydeki çatlakları ve çatlak derecesini azaltmada daha etkili olmuştur. X-ışını kırınımı (XRD) analizlerinde, PTM içeriğinin artışıyla filmlerin kırınım pik gücü ve kristalliliğinde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Buna göre, PPI/PTM kompozit filmlerinin, yalnızca PPI veya PTM içeren filmlere kıyasla daha üstün fizikokimyasal ve mekanik özellikler sergilediğini ve en yüksek performansın 1:1 PPI/PTM oranındaki kompozit filmde elde edildiğini ortaya koymaktadır (Zhang ve ark., 2020).

Daei ve ark. (2020), tarafından kırmızı pancar ekstraktı ve psyllium müsülajının karragenan bazlı filmlerin fizikokimyasal ve biyobozunurluk özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, ekstrakt ve müsülaj ilavesiyle filmlerin toplam fenol içeriği, kalınlık ve su buharı geçirgenliği artarken, gerilme mukavemeti ve şeffaflık azalmıştır. SEM görüntüleri müsülajın çatlakları azalttığını, ekstaktın ise artırdığını göstermiştir. Her iki bileşenin de filmlerin antioksidan özelliklerini artırdığı ve biyobozunma süresini hızlandırdığı rapor edilmiştir. Sonuç olarak, araştırmacılar psyllium müsülajı ve karragenanın yenilebilir film veya kaplama olarak kullanılabilir potansiyele sahip olduğunu bildirmişlerdir.

2.6. NKE ve Yenilebilir Filmlerde/Kaplamalarda Kullanımı

Nar meyvesin (*Punica granatum L.*) kabuğu, meyvenin toplam ağırlığının yaklaşık %40 ila %50'sini oluşturan bir yönetim yan ürün olarak değerlendirilmektedir. Bu atık malzemeye sahip meyvenin kabuğu, antioksidan, antidiyabetik, antikanser, antiviral, antiinflamatuvar ve antimikrobiyal özelliğe sahip olduğu belirtilmiştir. Özellikle polifenol içerik bakımından zengin biyoaktif özellikleri nedeniyle bilim dünyasında çokça kullanıldığı belirlenmiştir (Maphetu ve ark., 2022).

Osame ve ark. (2019), nar meyvesinin çekirdek, kabuk ve kabuk dışı kısımlarından elde edilen etanolik ekstraktların biyolojik aktif bileşikler ve bu bileşiklerin antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri incelenmişlerdir. Çalışma sonucunda, nar kabuk ekstresinin en yüksek fenolik, flavonoid ve antioksidan içeriğine sahip olduğunu, çeşitli patojenik mikroorganizmalara karşı güçlü antimikrobiyal etkinlik sergilediğini bildirmişlerdir. Bu bulgular ışığında, nar kabuğu ekstraktlarının doğal gıda koruyucusu olarak kullanım potansiyelinin yüksek olduğunu, nar kabuk ekstresinin 15 mg/mL konsantrasyonunda pektin bazlı filmlere dahil edilerek aktif yenilebilir bir film geliştirildiğini ve bu filmlerin hem antioksidan hem de antimikrobiyal özelliklere sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Buna göre, nar kabuk ekstresi ile zenginleştirilmiş pektin filmlerinin aktif yenilebilir film olarak potansiyel bir aday olduğunu bildirmişlerdir.

Nar kabuklarından elde edilen çeşitli ekstraktların bazı patojenlere karşı antimikrobiyal aktivitesi hem *in vitro* koşullarda hem de gıda kullanılarak araştırılmıştır. Nar kabuklarının %80'lik metanol kullanılarak hazırlanan ekstraktları *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* ve *Yersinia enterocolitica* patojenlerine potansiyel bir inhibitör olduğu, *Salmonella enteritidis*'e karşı minimum inhibisyon konsantrasyonunun diğer mikroorganizmalardan daha yüksek (4 mg/ml) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, nar kabuğu metanolik ekstraktının 4 °C'de depolanan balıkta, *Listeria monocytogenes* sayısını 1 log' dan daha fazla azalttığı saptanmıştır. Bununla birlikte, nar kabuğunun fenolik ve flavonoid bileşikleri gibi çeşitli biyoaktif inhibitörlerin bol miktarda bulunduğu, bu durumun toplam fenolik madde miktarı (262.50 mg/g) ve metanolik ekstraktın aktivitesinin yüksek olmasından kaynaklandığı bildirilmiştir (Al-Zoreky, 2009).

Nar danesinin ve kabuğunun antimikrobiyal aktivitesini belirlemek üzerine

yapılan bir çalışmada; nar kabuğunda ve dansinde fenolik bileşiklerin yanı sıra tanen, elaik asit, ferulik asit, kafeik asit, klorogenik asit ve protokataşurik asit gibi polifenollerden bulunduğu ve bundan dolayı antimikrobiyel etkilerinin olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca, narın kabuk ve dansinin *Bacillus substilis*, *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae* gibi patojenlere karşı antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu saptanmıştır (Gonzalez ve ark., 2003).

Nar kabuğunda bulunan tanenin antimikrobiyel etkisini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, tanenin methisiline dirençli *Staphylococcus aureus*'un gelişimini önlediği tespit edilmiştir (Machado ve ark., 2003).

Nar, çekirdeği ve kabuğu antioksidan ve antimikrobiyel etkileri nedeniyle tüketimi giderek artan bir meyvedir. Nar kabuğunun, çekirdeğinden ve suyundan daha yüksek düzeyde fenolik madde içerdiği ve antioksidan ve antimikrobiyel etkiye sahip olduğu saptanmıştır (Barberan ve Espin 2001; Guo ve ark., 2003; Balasundram ve ark., 2006). Nar kabuğu ekstraktının konsantrasyonu arttıkça toplam fenolik içeriğinin, antioksidan kapasitesinin ve antimikrobiyel etkinliğinin arttığı belirtilmektedir (Ghasemian ve ark., 2006). Nar kabuğunun esasını flavonoidler ve flavonoid olmayan bileşiklerin oluşturduğu, ayrıca flavonoid olmayan maddelerin antioksidan ve antimikrobiyal etkileri sahip olduğu da belirtilmiştir (Öz ve Kafkas, 2017).

Nar kabuğu özütünün farklı konsantrasyonları (0.2 g/mL, 0.4 g/mL, 0.6 g/mL, 0.8 g/mL ve 1.0 g/mL) kitosan filmlerine eklenerek, bu filmlerin fiziksel, biyolojik, mekanik, termal ve bariyer özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, nar kabuğu özütü konsantrasyonunun artışıyla birlikte filmlerin kalınlık, çekme dayanımı, nem içeriği, opaklık, su içeriği, gaz bariyer özellikleri, fenolik içerik ve antioksidan aktivitesinde belirgin bir artış olduğunu göstermiştir. Ancak, daha yüksek konsantrasyonlarda nar kabuğu özütü, filmlerin şeffaflık, çözünürlük, şişme, renk ve termal kararlılık gibi bazı özelliklerinde anlamlı bir azalmaya ($P < 0.05$) yol açmıştır. Bu bulgular, nar kabuğu özütü ile zenginleştirilmiş kitosan filmlerinin, özellikle antioksidan ve antimikrobiyal aktivite açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, nar kabuğu özütüyle zenginleştirilmiş yenilebilir filmlerin, gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatmada ve kalite ile güvenliğini artırmada büyük bir öneme sahip olduğu vurgulanmıştır (Kumari ve ark., 2021).

Munir ve ark. (2019), nar kabuğu ve üzüm çekirdeği özütlerinin asidik pH

koşullarındaki etkilerini incelemişlerdir. Asidik ortamda, farklı konsantrasyonlarda (%2, %4 ve %6 a/a) nar kabuğu ve üzüm çekirdeği özütleri ile takviye edilmiş surimi bazlı yenilebilir filmlerin fiziksel özellikleri değerlendirilmiştir. Buna göre, özüt içeren filmlerde kopma uzaması, film çözünürlüğü, su buharı geçirgenliği ve şeffaflık değerlerinde azalma gözlemlenirken, çekme mukavemeti nar kabuğu ve üzüm çekirdeği özütü konsantrasyonlarının artışıyla anlamlı şekilde arttığı bildirilmiştir ($P \leq 0,05$). Filmlerin parlaklık değeri (L^*), bitki özütlerinin konsantrasyonunun artışıyla azalmış; kırmızılık/yeşillik (a^*) ve sarılık (b^*) değerleri ile toplam renk farkı (ΔE) ve şeffaflık ise özüt konsantrasyonlarının artışıyla paralel olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu bulgularla, asidik pH koşullarında nar kabuğu ve üzüm çekirdeği özütlerinin eklenmesinin, üstün mekanik özellikler, su bariyeri özellikleri ve iyileştirilmiş termal stabiliteye sahip surimi bazlı yenilebilir filmler için potansiyel kullanım alanı sunduğunu ortaya koymaktadır.

Kanatt ve ark. (2010), nar kabuğu ekstraktının, nar danesi ekstraktından daha yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğunu, nar kabuğu ekstraktının hidroksil grubunu ve süperoksit anyonunu bağlama oranının oldukça yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra aynı çalışmada nar kabuğu ekstraktının, *Staphylococcus aureus*'a ve *Bacillus cereus* patojenlerine karşı %0.01 konsantrasyonda bile güçlü antimikrobiyal etki gösterdiği belirlenmiştir. Nar kabuğu ekstraktının çeşitli pişmiş tavuk ürünlerine ilave edilmesinin, ürünün soğukta muhafazası sırasında raf ömrünü 2-3 haftaya kadar uzattığını, ayrıca bu ürünlerde oksidatif ransiditenin kontrolünde önemli olduğu da bildirilmiştir.

Emam-Djomeh ve ark. (2015) çalışmasında, nar kabuğu ekstraktı (NKE) içeren kazein bazlı yenilebilir filmlerin hazırlanması amaçlanmış ve bu filmlerin fiziksel, mekanik ve antimikrobiyal etkileri incelenmiştir. Çalışmada, filmlere eklenen NKE'nin filmlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, özellikle su buharı geçirgenliğinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, filmlerin kıyma gibi gıda ürünleri üzerinde yapılan testlerde, mikroorganizma türlerine bağlı olarak raf ömrünü uzatma potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Bu bulgular, NKE içeren kazein bazlı yenilebilir filmlerin gıda ambalajında kullanımının, gıda güvenliği ve raf ömrü üzerinde olumlu etkiler yaratabileceğini göstermektedir.

Kumar ve ark. (2021) çalışmasında, NKE içeren kitosan bazlı yenilebilir filmler geliştirilmiştir. Farklı NKE konsantrasyonlarının (0.2-1.0 g/mL) filmlerin fiziksel, mekanik ve biyolojik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, NKE miktarının artmasıyla filmlerin kalınlık, gerilme dayanımı, nem içeriği, fenolik

içerik ve antioksidan aktivitesinin arttığını göstermektedir. Ancak, yüksek NKE konsantrasyonları filmin termal stabilitesini, şeffaflık ve çözünürlük özelliklerini olumsuz etkilemiştir. Bu çalışmalar, NKE ile zenginleştirilmiş kitosan filmlerinin gıda saklama uygulamalarında potansiyel taşıdığını ortaya koymuştur.

Mushtaq ve ark. (2018) çalışmasında, farklı konsantrasyonlarda NKE içeren zein filmleri, Himalaya peyniri (kalari) için ambalaj malzemesi olarak geliştirilmiştir. NKE eklenmesiyle filmlerin gerilme direnci, uzama katsayısı ve antioksidan aktivite artarken, su buharı geçirgenliği azalmıştır. NKE içeren filmler, test edilen patojenlere karşı etkili olmuş ve kalari üzerindeki oksidasyonu azaltmıştır. Bu filmler ayrıca peynirin bozulmasını engelleyip, laktik asit bakterilerinin sayısını artırmıştır. Sonuçlar, NKE'nin zein filmine entegrasyonunun peynirin bozulmasını kontrol etme potansiyeli sunduğunu göstermektedir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Yöntem

3.1.1. Psyllium Müsilajının Elde Edilmesi

Psyllium tohumları, distile su ile seyreltilerek (1:10 oranında) bir manyetik karıştırıcı kullanılarak 2 saat boyunca karıştırılmıştır. Ardından, bir sonikatör (Bandelin electronic GmbH & Co. KG, Berlin, Almanya) ile %75 güçte 2 dakika süreyle homojenize edilmiştir. Elde edilen karışım, 7471 rpm hızında ve 4 °C'de 40 dakika süreyle santrifüj edilmiştir (Hermle Labortechnik GmbH, Wehingen, Almanya) (Şekil 3.1. ve 3.2.).

Süpernatant ortamdan uzaklaştırılmış ve orta tabakada oluşan müsilaj toplanmıştır. Jel veriminin artırılması amacıyla ekstraksiyon işlemi iki kez tekrarlanmıştır. Elde edilen müsilaj, -20 °C'de dondurulmuş ve ardından liyofilize edilmiştir. Liyofilize müsilaj öğütülerek film üretimine kadar -20 °C'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.1. Psyllium tohumlarının karıştırılması ve santrifüj sonrası görüntüleri

Süpernatant ortamdan uzaklaştırılmış ve orta tabakada oluşan müsilaj toplanmıştır. Jel veriminin artırılması amacıyla ekstraksiyon işlemi iki kez tekrarlanmıştır. Elde edilen müsilaj, -20 °C'de dondurulmuş ve ardından liyofilize edilmiştir. Liyofilize müsilaj öğütülerek film üretimine kadar -20 °C'de muhafaza

edilmiştir.

Psyllium tohumundan elde edilen müsilaj ekstraksiyonuna ait akış şeması aşağıdaki Şekil 3.3'teki gibi olmaktadır.



Şekil 3.2. Sonikatörde homojinize edilme işlemi



Şekil 3.3. Psyllium tohumlarından müsilaj ekstraksiyonu akım şeması

3.1.2. Nar Kabuğu Ekstratının Elde Edilmesi

Nar kabuğu ekstratının (NKE) hazırlanmasında, Kanatt ve arkadaşları tarafından önerilen yöntem modifiye edilerek uygulanmıştır (Kanatt ve ark., 2012). Denemede kullanılacak narlar, akan su altında dikkatlice durularak dış kabukları ayrılmıştır. Küçük parçalara kesilen kabuklar, ortam sıcaklığında 4 saat boyunca bir damıtma dolabında kurutulmuştur (Şekil 3.4.). Ardından, kurutulmuş kabuklar, bir

öğütücü ile öğütülmüştür (Tefal, Türkiye). Elde edilen nar kabuğu, 1:10 oranında damıtılmış su ile seyreltilmiş ve elde edilen karışım, manyetik bir karıştırıcı kullanılarak 35 °C'de 3 saat süreyle karıştırılmıştır. Bu karışım, 15 saat boyunca buzdolabında kaba filtre kağıdıyla süzümüştür. Filtrat, iki ek ekstraksiyon döngüsüne tabi tutulmuş ve sonrasında elde edilen özüt, 4 °C'de 20 dakika boyunca 4500 rpm hızda santrifüj edilmiştir (Hermlle Labortechnik GmbH, Wehingen, Almanya). Üst kısımdaki sıvı ortam uzaklaştırıldıktan sonra, NKE 140 rpm hızında ve 75 °C'de vakumlu bir buharlaştırıcı (Scilogex RE100-pro, ABD) kullanılarak buharlaştırılmıştır. Brix değeri 12 olan elde edilen özüt, liyofilize edilmiştir (Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Osterode am Harz, Almanya) ve liyofilize edilen NKE, film üretimi sürecine kadar -20 °C'de saklanmıştır.



Şekil 3.4. Ekstraksiyonda kullanılan nar kabukları

3.1.3. Yenilebilir Film Üretimi

Bezelye proteini (%4, a/h), psyllium müsilajı (%1, a/h), gliserol (%40 bezelye proteini ve psyllium müsilajı toplam ağırlığı, a/a) ve NKE (%0, %0.25, %0.50, %1.0 ve %1.5, a/h) 100 mL damıtılmış su ile karıştırılmıştır. Yenilebilir film üretimi Çizelge 3.1.'de verilen verilen formülasyona göre gerçekleştirilmiştir. Elde edilen karışım, manyetik karıştırıcı ile 30 dakika süreyle karıştırılmış ve pH değeri, NaOH (1 N ve 0.1 N) kullanılarak 9'a ayarlanmıştır. Ardından, ultrasonik bir homojenizatör (Bandelin electronic GmbH & Co. KG, Berlin, Almanya) ile %60 güçte 5 dakika boyunca homojenize edilmiştir. Homojenizasyon işleminin ardından, köpük oluşumunu gidermek amacıyla karışım, ultrasonik su banyosunda (Isolab Laborgeräte GmbH, Eschau, Almanya) 10 dakika süreyle bekletilmiştir. 8 g film oluşturma çözeltisi, 85 cm çapında petri kaplarına aktarılmış ve 40 °C'de bir inkübatörde (JSGI-150T, Seul, Güney Kore) 16-18 saat süreyle kurutulmuştur. Kuruma işlemi tamamlandıktan sonra, filmler bir pens ile soyulmuş ve NKE-0,

NKE-0.25, NKE-0.50, NKE-1 ve NKE-1.5 olarak adlandırılan beş farklı film elde edilmiştir. Filmler, kilitli poşetler içerisinde muhafaza edilmiştir. Fizikokimyasal, mekanik, bariyer, optik ve renk analizlerinden önce, numuneler 25 ± 2 °C’de silika jel içeren bir desikatörde 48 saat süreyle şartlandırılmıştır (Hajivand ve ark., 2020).

Çizelge 3.1. Farklı oranlarda NKE içeren yenilebilir film formülasyonları

Örnek kodları	Bezelye proteini (% <i>a/h</i>)	Psyllium müsilajı (% <i>a/h</i>)	NKE (% <i>a/h</i>)	Gliserol (% <i>a/a</i>)*	Saf su (mL)
NKE-0	4	1	0	40	100
NKE-0.25	4	1	0.25	40	100
NKE-0.50	4	1	0.50	40	100
NKE-1.0	4	1	1	40	100
NKE-1.5	4	1	1.5	40	100

3.2. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analiz, SPSS yazılımı (IBM Corp, Armonk, NY, ABD) ile tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılarak gerçekleştirildi. Filmler arasındaki farklar Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak belirlenmiştir. Film üretimi iki tekrarla gerçekleştirilmiş ve analizler üç paralelde gerçekleştirilmiştir.

3.3. Yenilebilir Filmlerin Karakterizasyonu

Yenilebilir filmlerin karakterizasyonu kalınlık, nem içeriği, suda çözünürlük, su buharı geçirgenliği, renk, opaklık (ışık bariyer özellikleri), mekaniksel özellikler, antioksidan aktivite, mikroyapısal ve FTIR özellikleri incelenmiştir.

3.3.1. Kalınlık

Film kalınlığı, bir mikrometre (Insize, 3108-25A, Almanya) ile ölçülmüştür. Ölçümler en az on noktadan alınmış ve ortalama film kalınlığı hesaplanmıştır (Kanatt ve ark., 2018).

3.3.2. Nem İçeriği

Filmim nem içeriği ve suda çözünürlük, gravimetrik yöntemler kullanılarak belirlenmiştir (Dai ve ark., 2022). Bu amaçla, filmin başlangıç ağırlığı (45 mm x 10 mm) kaydedilmiş ve daha sonra 105 °C'de 12 saat kurutularak filmin kuru ağırlığı kaydedilmiştir. Filmin nem içeriği denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır (Cieurzyńska ve ark., 2024).

$$Nemicerigi(\%) = \frac{m1 - m2}{m1} * 100 \quad (3.2)$$

Burada, $m1$ ve $m2$ sırasıyla kurutmadan önce ve sonra numune ağırlığını (g) temsil eder.

3.3.3. Suda Çözünürlük (SÇ)

Suda çözünürlük analizi için, kurutulmuş film oda sıcaklığında 20 mL damıtılmış suda 3 dakika süreyle karıştırılmıştır. Ardından, çözünmeyen film 105 °C'de 12 saat süreyle kurutulmuştur. Kuru filmin son ağırlığı kaydedilmiş ve suda çözünürlük değeri, aşağıdaki Denklem 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır (Ceylan ve Atasoy, 2022).

$$SC(\%) = \left(\frac{m0 - mr}{m0} \right) * 100 \quad (3.3)$$

Burada: $m0$, çözünmeden önce numunenin kuru ağırlığını (g), ve mr , suya daldırıldıktan sonra numunenin kuru ağırlığını (g) ifade eder.

3.3.4. Su buharı geçirgenliği (SBG)

Su buharı geçirgenliği (SBG) analizi ASTM standardına göre gerçekleştirilmiştir (ASTM, 1995). Bu amaçla, kurutulmuş silikajel özel kaplar içerisine aktarılıp, kapların ağızları film örnekleri ile kapatılmıştır. Hazırlanan kaplar saf su içeren bir kap içerisinde yerleştirilerek 25 °C'de 8 saat boyunca ağırlık değişimleri kaydedilmiştir. Filmlerin SBG değerleri denklem 3.3'e göre hesaplanmıştır.

$$SBG = (a/s) * (x/\Delta P * A) \quad (3.4)$$

Burada: (a/s) zaman içindeki ağırlık değişimidir (g/h), ΔP basınç farkını (kPa), x film kalınlığını (mm) ve A (m²) kabın yüzey alanıdır. ΔP , desikatörün bağıl nemi (%100) ile kabın bağıl nemi (% 0) arasındaki farkın ve damıtılmış suyun 25 °C'deki doymuş buhar basıncının (3.16 kPa) çarpımı olarak hesaplanmıştır.

3.3.5. Renk

Filmlerin renk ölçümleri beyaz kağıt üzerinde gerçekleştirilmiştir (L^* : 94.49, a^* : 4.20, b^* : -6.18). Örneklerin L^* , a^* ve b^* değerleri, CIELab renk ölçüm sistemine göre bir kolorimetre (Spec HP 200, Çin) kullanılarak belirlenmiştir. Ek olarak, filmlerin ΔE değeri denklem 3.4 kullanılarak hesaplanmıştır (Khalil ve ark., 2024).

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_f - L^*_s)^2 + (a^*_f - a^*_s)^2 + (b^*_f - b^*_s)^2} \quad (3.5)$$

Burada: L^*_f ve L^*_s sırasıyla filmin ve beyaz kâğıdın L^* değerlerini ifade eder. a^*_f ve a^*_s sırasıyla filmin ve beyaz kağıdın a^* değerleridir. b^*_f ve b^*_s sırasıyla filmin ve beyaz kağıdın b^* değerlerini ifade eder. Burada: L^*_f ve L^*_s sırasıyla filmin ve beyaz kâğıdın L^* değerlerini ifade eder. a^*_f ve a^*_s sırasıyla filmin ve beyaz kağıdın a^* değerleridir. b^*_f ve b^*_s sırasıyla filmin ve beyaz kağıdın b^* değerlerini ifade eder.

3.3.6. Opaklık (Işık bariyer özellikleri)

UV/görünür spektrofotometre (Biochrom Libra, S60, Cambridge, İngiltere) kullanılarak değerlendirilmiştir. Absorbans, dikdörtgen bir filmde (45 mm x 10 mm) 600 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Opaklık, aşağıdaki denklem 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır (Ceylan ve Atasoy, 2022).

$$Opaklık = (A_{600} / x) \quad (3.6)$$

Burada; A_{600} : filmin 600 nm'deki emilimini; x, filmin kalınlığıdır (mm) ifade etmektedir.

3.3.7. Mekaniksel Özellikler

Filmlerin mekanik özellikleri, Ceylan ve Atasoy (2022) tarafından belirtilen yöntem izlenerek TA-XT Plus Texture Analyzer (Godalming, Surrey, İngiltere) kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla, bir film örneği (45 mm x 10 mm) AT/G Mini Tensile Grips arasına yerleştirilerek, analiz sırasında, test hızı 1 mm/sn'ye, test sonrası ise hız 10 mm/sn'ye ve testi başlatmak için gereken tetik kuvveti 10 g'a ayarlanmıştır. Filmler kopana kadar gerilerek, gerilme direnci (GD) ve uzama katsayısı (UK) değerleri belirlenerek kaydedilmiştir.

3.3.8. Antioksidan Aktivite

Filmlerin antioksidan aktivitesinin ve toplam fenolik içeriğini (TFM) belirlenmesi için Moghadam ve ark. (2020), tarafından önerilen yöntem izlenmiştir. Bu amaçla, 0.05 g film 10 mL damıtılmış suyla karıştırılmış ve ardından 2 saat boyunca ortam sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra, 4 °C'de 10 dakika boyunca 4000 rpm'de santrifüj edilmiştir (Hermle Labortechnik GmbH, Wehingen, Almanya). Üstteki sıvı, antioksidan aktivite ve TFM analizleri için kullanılmıştır.

Filmlerin toplam antioksidan aktivitesi DPPH metodu kullanılarak belirlenmiştir. DPPH çözeltisi etanolde 0.1 mM konsantrasyonda hazırlandı. 3.9 mL DPPH çözeltisi 100 µL numuneye ve 100 µL damıtılmış sudan oluşan bir kontrol numunesine eklenmiştir. Karışım, 30 dakika boyunca karanlıkta bekletilmiş ve ardından metanole karşı olan absorbansı 517 nm'de ölçülmüştür. Filmlerin antioksidan aktivitesi, %DPPH değeri denklem 3.6'ya göre hesaplanmıştır.

$$DPPH(\%) = (1 - A_{\text{örnek}}/A_{\text{referans}}) \quad (3.7)$$

Burada; $A_{\text{örnek}}$ ve A_{referans} sırasıyla filmin ve kör örneğin ölçülen absorbansını ifade etmektedir.

TFM, Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Folin-Ciocalteu ve ark., 2021). Bunun için, 100 µL örnek sırayla 2 mL Folin-Ciocalteu reaktifi (1:10 seyreltilmiş) ve 2.5 mL Na₂CO₃ çözeltisi (%7.5, a/h) ile karıştırılmıştır. Bu karışım daha sonra oda sıcaklığında 30 dakika inkübe edilmiştir. Absorbans, bir spektrofotometre (Biochrom Libra, S60, Cambridge, İngiltere) kullanılarak 765 nm'de ölçüldü ve sonuçlar mg GAE/g film olarak ifade edilmiştir.

3.3.9. Mikroyapısal Özellikler

Film örneklerinin mikroyapısal özelliklerinin değerlendirilmesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM; Zeiss & Evo LS 10, Oberkochen, Almanya) kullanılarak elde edilmiştir. Bu amaçla, nemi giderilmiş film numuneleri, ölçümden önce bir altın-paladyum kaplayıcı (Quorum, SC7620, UK) kullanılarak altın-paladyum ile kaplanarak filmlerin kesit ve yüzey görüntüleri alınmıştır.

3.3.10. FTIR

Yenilebilir filmlerin FTIR spektrumları bir FTIR spektrofotometresi (Shimadzu, QATR-S) kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla, 600 ila 4000 cm^{-1} dalga boyu aralığında 32 tarama ve 4 cm^{-1} çözünürlük kullanılarak ölçümler yapılmıştır. FTIR spektrumları Origin yazılımı kullanılarak çizilmiştir.

3.4. Materyal

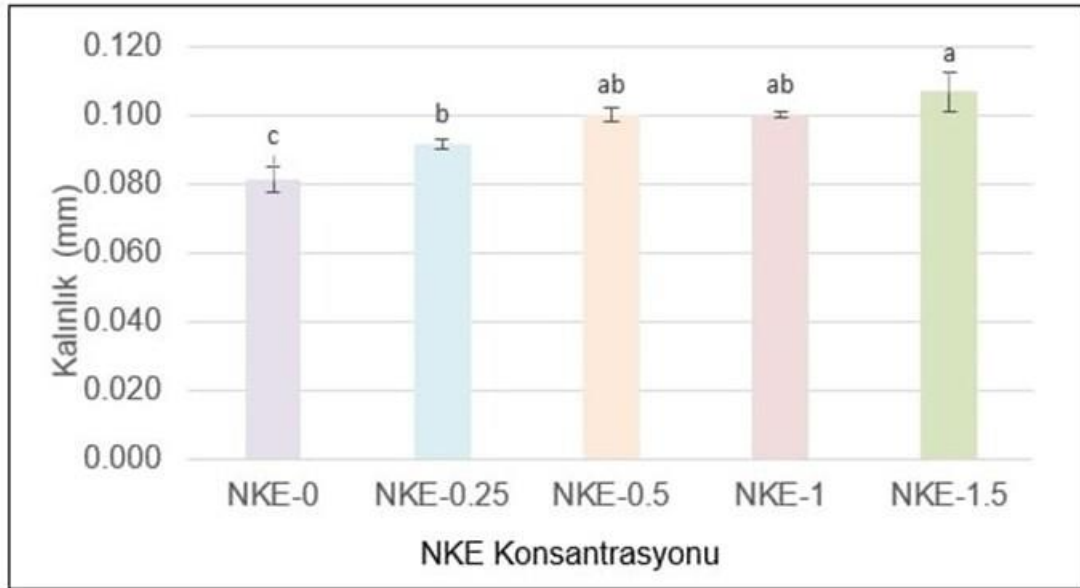
Bezelye proteini izolatu (%81.7 protein) ve psyllium (*Plantago Ovata*) tohumu sırası ile Vegrano (İstanbul, Türkiye) ve TOS Grup (Antalya, Türkiye) firmalarından temin edilmiştir. Ekstrakt üretiminde kullanılan nar (*Punica granatum*) yerel bir marketten tedarik edilmiştir. Gliserol ve nişasta Merck'ten (Darmstadt, Almanya), sodyum klorür, Folin-Ciocalteu reaktifi, gallik asit, sodyum karbonat, metanol ve 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil Sigma-Aldrich'ten satın alınmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Kalınlık

Filmlerin kalınlığı, mekanik, optik ve bariyer özelliklerini belirleyen kritik bir parametredir ve bu özellikler film hazırlama yöntemleri ve kurutma koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Kanman ve Lim, 2013). Farklı oranlarda nar kabuğu ekstratı (NKE) içeren yenilebilir filmlerin ortalama kalınlık değerleri Şekil 4.1.'de sunulmuştur. NKE katkılarıyla elde edilen filmlerin değerleri 0.08 mm ile 0.10 mm arasında değişim göstermiştir.

NKE ilavesinin filmlerin kalınlık değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir ($P \leq 0.05$). Genel olarak, NKE konsantrasyonundaki artışın, film kalınlığında istatistiksel olarak artışa yol açtığı tespit edilmiştir. En düşük film kalınlığının kontrol filminde (0.08 mm), en yüksek film kalınlığının ise NKE-1.50 filminde (0.18 mm) olduğu tespit edilmiştir.



Farklı küçük harfler, farklı NKE konsantrasyonları içeren filmler arasındaki önemli farklılıkları gösterir ($P \leq 0.05$). Değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. NKE-0: kontrol (%0 NKE içeren), NKE-0.25: (%0.25 (a/h) NKE içeren, NKE-0.50: %0.50 (a/h) NKE içeren, NKE1.00: %1 (a/h) NKE içeren ve NKE1.50: %1.5 (a/h) NKE içeren. NKE: nar kabuğu ekstraktı.

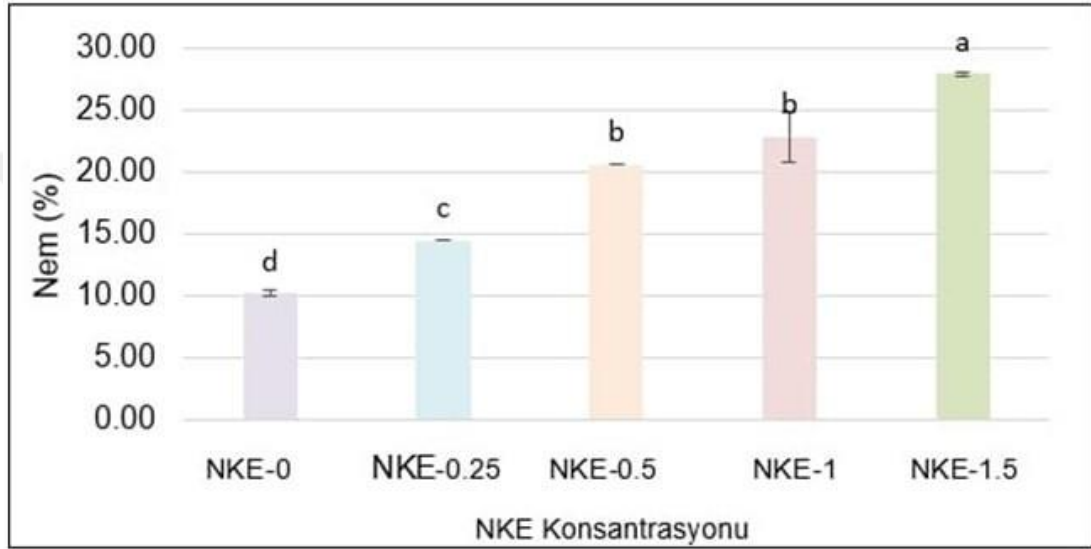
Şekil 4.1. Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin kalınlık değerleri

4.2. Nem

Yenilebilir film analizlerinde bir diğer önemli faktör de nem hassasiyeti ve

çözünürlük gibi özellikler büyük önem taşımaktadır (Vargas-Torrico ve ark., 2024). Farklı oranlarda NKE içeren yenilebilir filmlerin ortalama nem değerleri Şekil 4.2'te gösterilmiştir.

Yenilebilir filmlerin nem değerleri, NKE'nin dahil edilmesiyle önemli ölçüde etkilendiği saptanmıştır ($P \leq 0.05$). Filmlerin nem içeriği, en düşük değer olan %10.16 ile kontrol grubunda (NKE-0) saptanırken, en yüksek değer %27.86 ile NKE-1.5'te tespit edilmiştir.



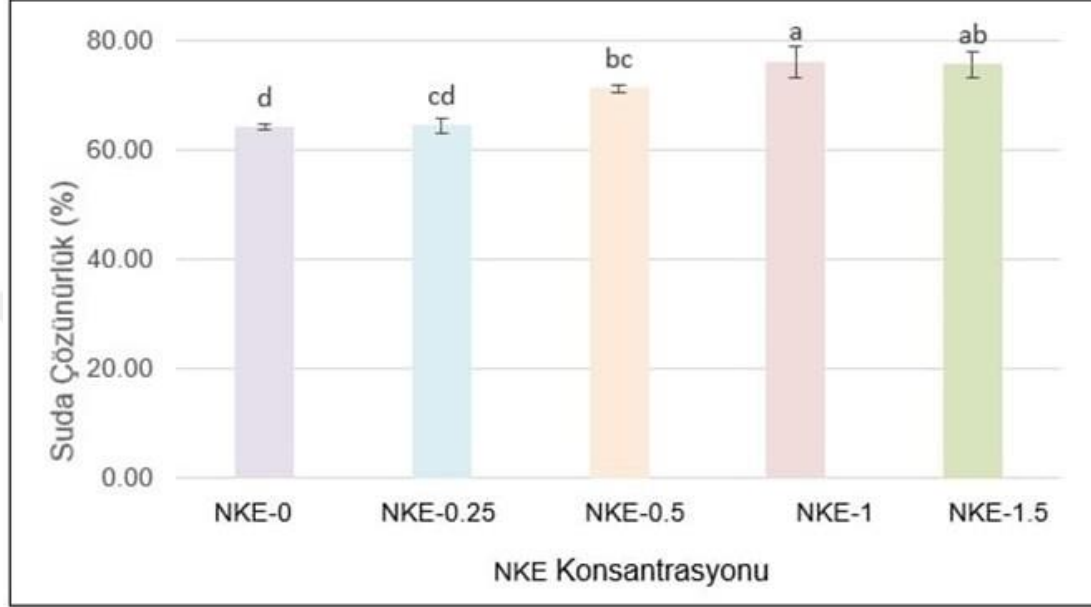
Farklı küçük harfler, farklı NKE konsantrasyonları içeren filmler arasındaki önemli farklılıkları gösterir ($P \leq 0.05$). Değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. NKE-0: kontrol (%0 NKE içeren), NKE-0.25: (%0.25 (a/h) NKE içeren), NKE-0.50: (%0.50 (a/h) NKE içeren), NKE1.00: %1 (a/h) NKE içeren ve NKE1.50: %1.5 (a/h) NKE içeren. NKE: nar kabuğu özütü.

Şekil 4.2. Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin nem değerleri

4.3. Suda Çözünürlük

Suda çözünürlük (SÇ), biyopolimer filmlerin ilaç ve gıda endüstrilerindeki uygulamalarını etkileyen önemli bir özelliktir ve bu özellik, filmlerin kimyasal yapısına bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir (Shahrampour ve ark., 2020). Yenilebilir filmlerin suda çözünmesi, gıda ambalajlama uygulamalarında biyolojik olarak parçalanabilirliğini belirler ve su bariyer özelliklerini etkiler. Filmlerin SÇ değerleri, NKE eklenmesiyle önemli ölçüde ($P \leq 0.05$) etkilendiği saptanmıştır. Farklı oranlarda NKE içeren yenilebilir filmlerin ortalama SÇ değerleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

Farklı konsantrasyonlarda NKE içeren filmlerin SÇ değerlerinin %64.16-%76.13 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, SÇ miktarları, NKE-0 için % 64.155, NKE-0.25 için % 67.425, NKE-0.5 için % 71.220, NKE-1 için % 76.125 ve NKE-1.5 için % 75.630 olarak belirlenmiştir.



Farklı küçük harfler, farklı NKE konsantrasyonları içeren filmler arasındaki önemli farklılıkları gösterir ($P \leq 0.05$). Değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. NKE-0: kontrol (%0 NKE içeren), NKE-0.25: (%0,25 (a/h) NKE içeren, NKE-0.50: %0.50 (a/h) NKE içeren, NKE1.00: %1 (a/h) NKE içeren ve NKE1.50: %1.5 (a/h) NKE içeren. NKE: nar kabuğu ekstraktı.

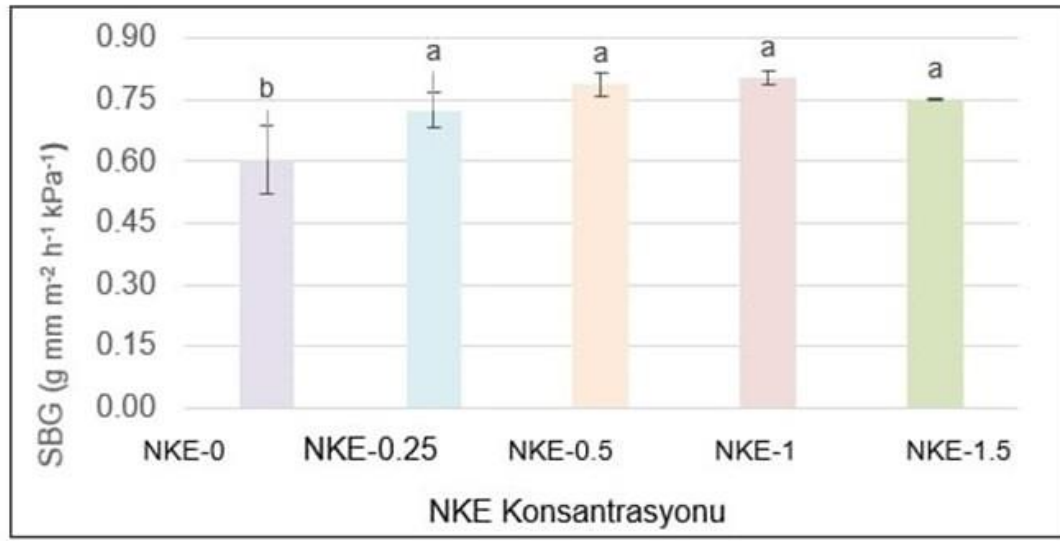
Şekil 4.3. Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin suda çözünürlük değerleri

4.4. Su Buharı Geçirgenliği

Yenilebilir filmlerin bariyer özelliklerinin belirlenmesi, uygulandıkları gıda ürünlerinin raf ömrünü tahmin etmek için oldukça önemlidir. Paketleme sistemlerinde nem ve oksijene karşı etkili bariyerler, gıdanın raf ömrü boyunca kalitesinin korunması için esastır. Kontrol filminin su buharı geçirgenliği (SBG) değeri diğer filmlere kıyasla önemli ölçüde ($P \leq 0.05$) düşükken, NKE içeren filmlerin SBG değerleri arasında farkın olmadığı görülmüştür ($P > 0.05$). Bu nedenle, geliştirilen yenilebilir filmlerin nem ve oksijen bariyer davranışının değerlendirilmesi son derece önemli olduğu bildirilmiştir (Kanatt ve ark., 2012). Buna ilaveten, SBG gıdaların nem dengesini, tazeliğini ve mikrobiyal gelişimini kontrol etmek açısından kritik bir parametredir ve yenilebilir filmlerin bariyer özellikleri arasında sıkça incelenen bir özellik olduğu vurgulanmıştır (Işık ve ark., 2013).

Farklı oranlarda NKE içeren yenilebilir filmlerin ortalama SBG değerleri Şekil 4.4.'de gösterilmiştir

Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin SBG analiz edilen filmlerin SBG değerleri $0.61-0.80 \text{ g mm m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ kPa}^{-1}$ aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Yenilebilir filmlere NKE eklenmesi ile filmlerin su buharı bariyer özelliklerini düşürdüğü, ancak, NKE konsantrasyonunu artırmak SBG özelliğinde önemli bir değişikliğe yol açmadığı tespit edilmiştir.



Farklı küçük harfler, farklı NKE konsantrasyonları içeren filmler arasındaki önemli farklılıkları gösterir ($P \leq 0.05$). Değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. NKE-0: kontrol (%0 NKE içeren), NKE-0.25: (%0.25 (a/h) NKE içeren, NKE-0.50: %0.50 (a/h) NKE içeren, NKE1.00: %1 (a/h) NKE içeren ve NKE1.50: %1.5 (a/h) NKE içeren. NKE: nar kabuğu ekstraktı. SBG: Su buharı geçirgenliği

Şekil 4.4. Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin su buharı geçirgenlik değerleri

4.5. Renk

Optik özellikler, yenilebilir film sistemlerinin geliştirilmesinde kritik bir faktörü temsil ettiği (Gheribi ve ark., 2019), filmin optik parametreleri, gıdanın görünümünü etkilemede önemli bir rol oynadığı ve dolayısıyla da tüketici kabulünü etkilediği bildirilmiştir (Kumar ve ark., 2021). Filmlerin renk değerleri genellikle L^* (açıklık-koyuluk), a^* (kırmızı-yeşil) ve b^* (sarı-mavi) olarak ifade edilmektedir (Kuan ve ark., 2020).

Farklı konsantrasyonlarda NKE içeren bezelye proteini izolatu-*psyllium* musilaj bazlı filmlerin L özellikleri Şekil 4.5 'de sunulmuştur. L* değeri, bir rengin parlaklığını veya aydınlık seviyesini ifade eden ve 0 ile 100 arasında değişen bir ölçüttür. Bu değer yüksek olduğunda daha parlak renkleri, düşük olduğunda ise daha koyu renkleri ifade etmektedir. Çalışmada, kontrol grubunda (NKE-0) L* değerinin 84.16 olarak belirlenirken NKE içeriği arttıkça, filmlerin L* değerlerinde belirgin bir azalma gözlenmiş ve bu durum, renk spektrumun daha koyu renklere doğru kaydığı görülmüştür. Nitekim NKE-1.5'de L değeri 50.96 ile en düşük değerde olduğu saptanmıştır.

Filmlerin renk değerlerinin belirtilmesinde a* değeri kırmızı-yeşil olarak ifade edilmektedir (Kuan ve ark., 2020). Farklı oranlarda NKE içeren yenilebilir filmlerin ortalama a* değerleri Şekil 4.6'te verilmiştir.

Şekil 4.6. incelendiğinde, NKE miktarının artması ile birlikte yenilebilir film rengin de kırmızı renge doğru arttığı saptanmıştır. Diğer bir ifade ile a* değerinin artmasıyla birlikte yenilebilir film renginin de kırmızı renk tonuna doğru yoğunlaştığı gözlenmiştir. Buna göre NKE-0 (kontrol) a* değeri 4.28 olarak belirlenirken NKE-1.5'un a* değeri 14.97 olduğu belirlenmiştir.

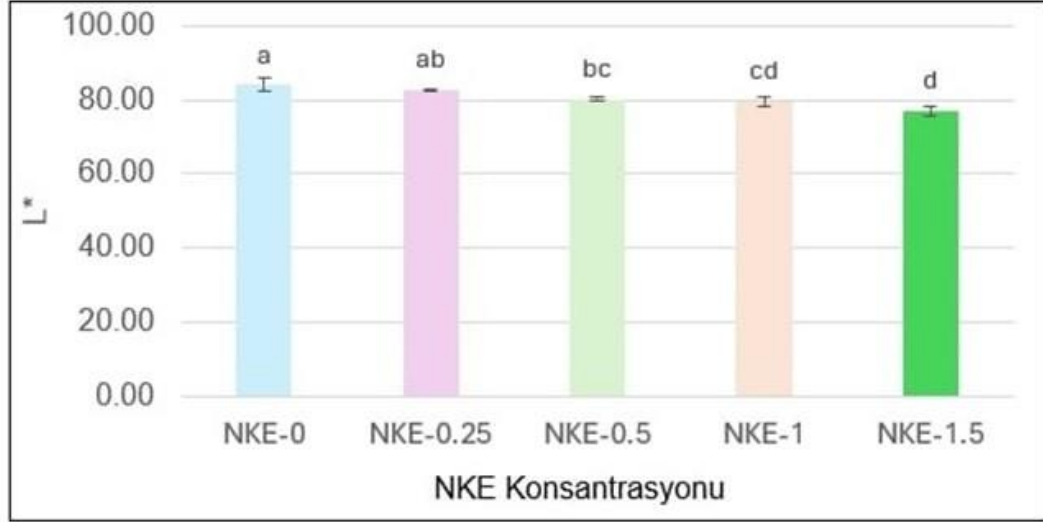
Filmlerin renk değerlerinin belirtilmesinde b* değeri sarı-mavi olarak ifade edilmektedir (Kuan ve ark., 2020). Farklı oranlarda NKE içeren yenilebilir filmlerin ortalama b* değerleri Şekil 4.7.'te verilmiştir

NKE a* değerinde olduğu gibi, NKE artması ile b değerinin de arttığı tespit edilmiştir. Buna göre, NKE-0 (kontrol) iken, b* değeri 12.53 olduğu NKE-1.5 iken ise b değerinin 34.86 olduğu belirlenmiştir.

Farklı oranlarda nar kabuğu ekstresi (NKE) içeren yenilebilir filmlerin ortalama ΔE değerleri Şekil 4.8.'te gösterilmiştir.

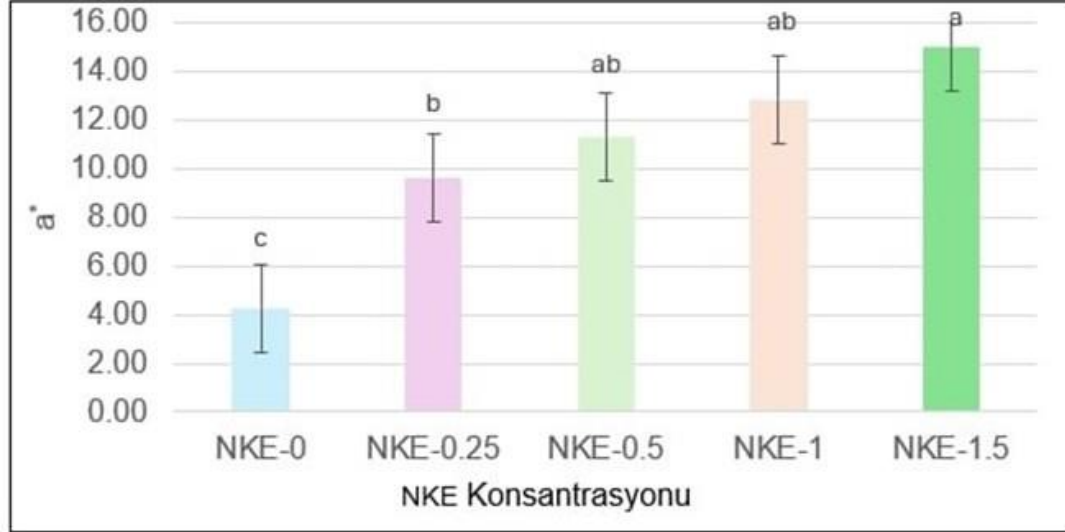
Genel olarak ΔE değeri, renk doğruluğu ve kalite kontrolünde önemli bir parametredir. Çalışmamızda ΔE değerleri, nar kabuğu ekstratinin artmasıyla birlikte ΔE değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Buna göre, NKE-0 için 21.43 olarak tespit edilirken, NKE-1.5 için 60.84 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, NKE miktarı arttıkça ΔE değerinin de arttığı bunun nedeninin ise kullanılan NKE miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Farklı miktarda nar kabuğu ekstratı eklenen yenilebilir filmin görüntüleri Şekil 4.9.'da verilmiştir.



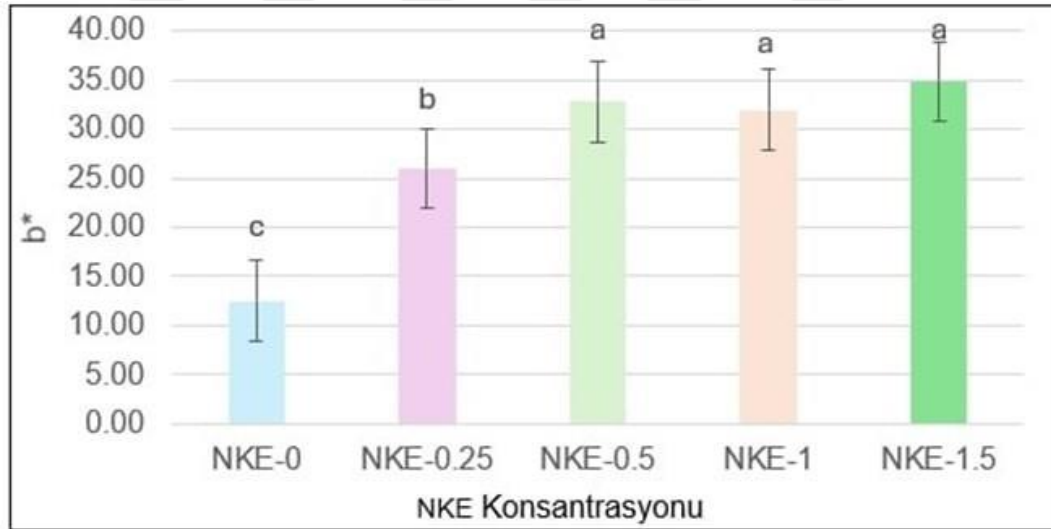
Farklı küçük harfler, farklı NKE konsantrasyonları içeren filmler arasındaki önemli farklılıkları gösterir ($P \leq 0.05$). Değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. NKE-0: kontrol (%0 NKE içeren), NKE-0.25: (%0.25 (a/h) NKE içeren, NKE-0.50: %0.50 (a/h) NKE içeren, NKE1.00: %1 (a/h) NKE içeren ve NKE1.50: %1.5 (a/h) NKE içeren. NKE: nar kabuğu ekstratı.]

Şekil 4.5. Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin L* değerleri



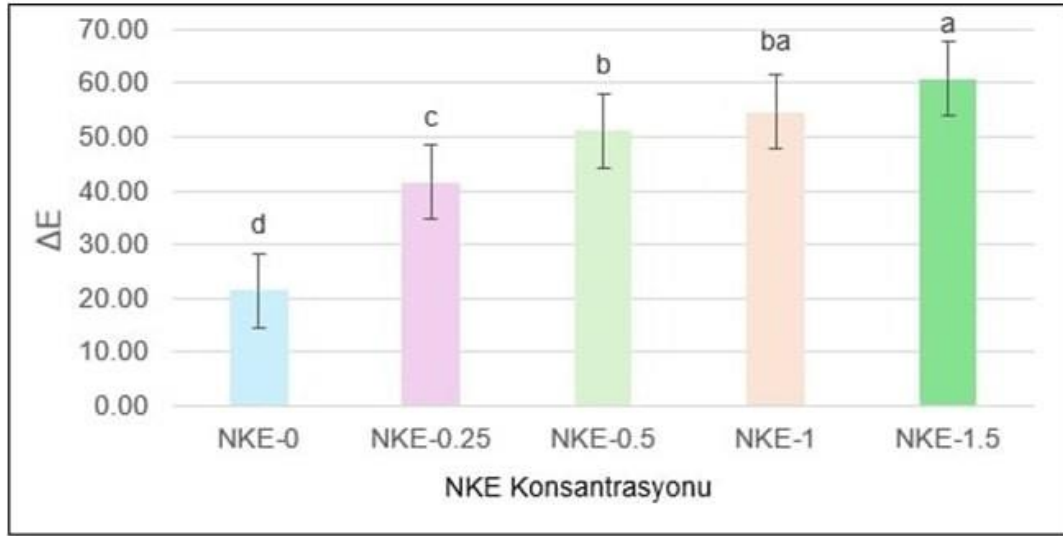
Farklı küçük harfler, farklı NKE konsantrasyonları içeren filmler arasındaki önemli farklılıkları gösterir ($P \leq 0.05$). Değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. NKE-0: kontrol (%0 NKE içeren), NKE-0.25: (%0.25 (a/h) NKE içeren, NKE-0.50: %0.50 (a/h) NKE içeren, NKE1.00: %1 (a/h) NKE içeren ve NKE1.50: %1.5 (a/h) NKE içeren. NKE: nar kabuğu ekstraktı.

Şekil 4.6. Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin a* değerleri



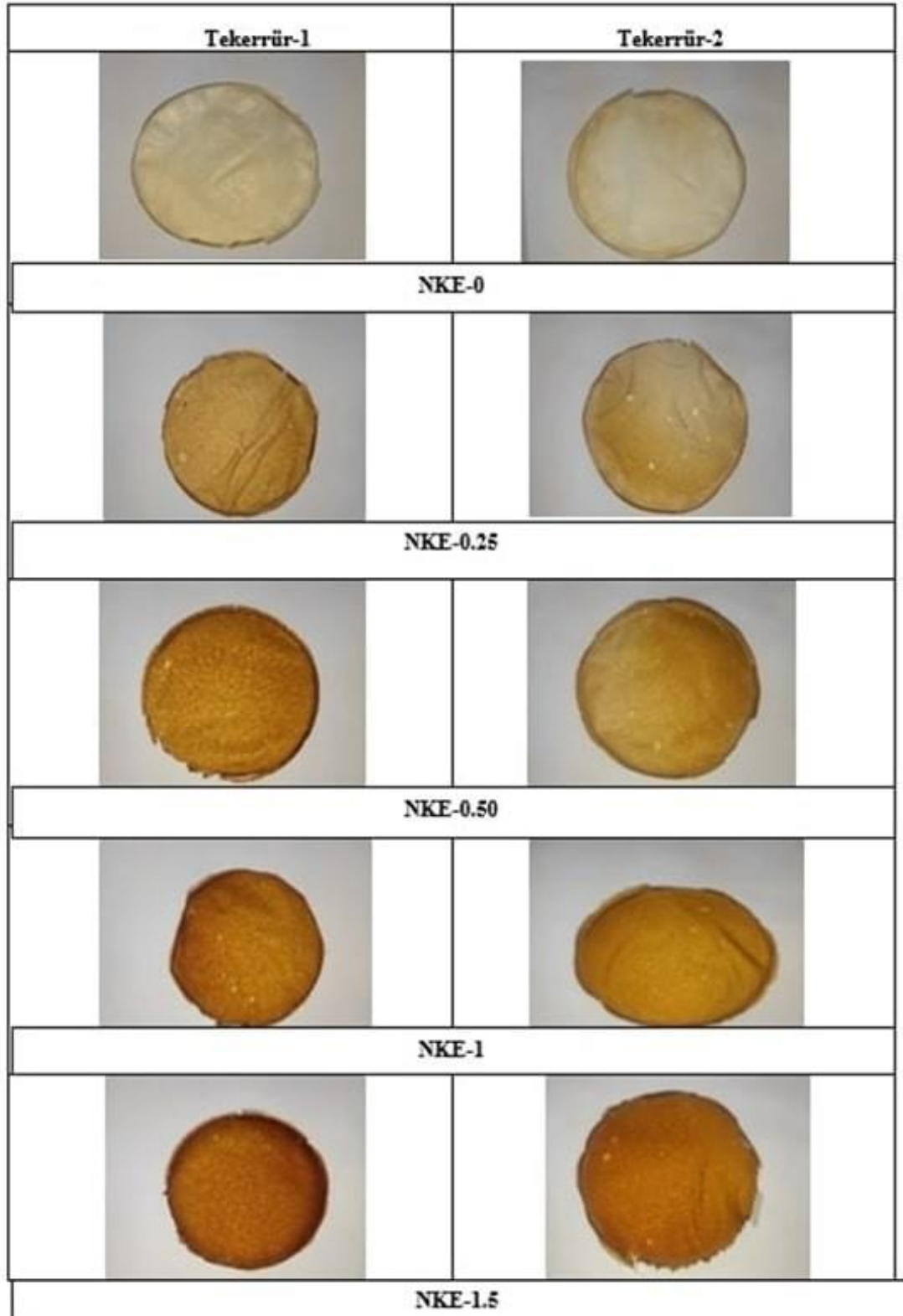
Farklı küçük harfler, farklı NKE konsantrasyonları içeren filmler arasındaki önemli farklılıkları gösterir ($P \leq 0.05$). Değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. NKE-0: kontrol (%0 NKE içeren), NKE-0.25: (%0.25 (a/h) NKE içeren, NKE-0.50: %0.50 (a/h) NKE içeren, NKE1.00: %1 (a/h) NKE içeren ve NKE1.50: %1.5 (a/h) NKE içeren. NKE: nar kabuğu ekstraktı.

Şekil 4.7. Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin b* değerleri



Farklı küçük harfler, farklı NKE konsantrasyonları içeren filmler arasındaki önemli farklılıkları gösterir ($P \leq 0.05$). Değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. NKE-0: kontrol (%0 NKE içeren), NKE-0.25: (%0.25 (a/h) NKE içeren), NKE-0.50: %0.50 (a/h) NKE içeren, NKE1.00: %1 (a/h) NKE içeren ve NKE1.50: %1.5 (a/h) NKE içeren. NKE: nar kabuğu ekstraktı.

Şekil 4.8. Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin ΔE değerleri



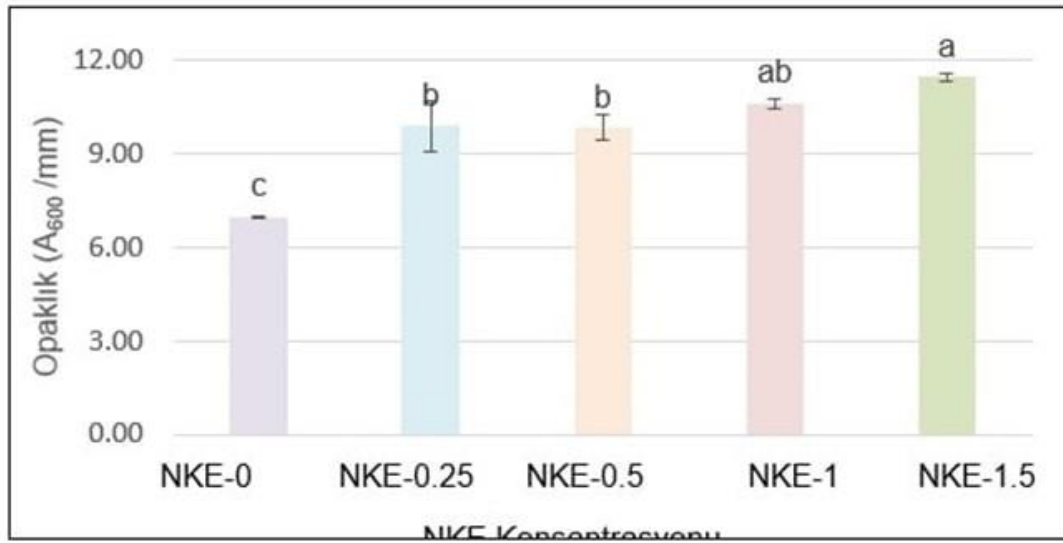
Şekil 4.9. Şekil 4.9. Farklı NKE konsantrasyonlarda yenilenebilir filmlerin renk değişimi

4.6. Opaklık (Işık Bariyer Özellikleri)

Gıdalardaki biyomoleküllerin ve besin maddelerinin ışığa maruz kalması

nedeniyle oksidasyonu, gıda kalitesinin bozulmasına neden olabilir. Bu nedenle, opaklık ve UV engelleme özellikleri, gıda ambalajlama uygulamaları için yenilebilir filmler için dikkate alınması gereken önemli özelliklerdir (Dai ve ark., 2022). Farklı oranlarda NKE içeren yenilebilir filmlerin ortalama ışık bariyer özellikleri (Opaklık) değerleri Şekil 4.10.'da gösterilmiştir.

Genel olarak, filmlerin opaklığı, NKE miktarı arttıkça arttığı görülmüştür. En düşük opaklık, kontrol filminde (6.98) gözlenirken, en yüksek opaklık (11.45) NKE1.50 olan filminde tespit edilmiştir. Bir başka ifadeyle NKE miktarının artmasıyla opaklık özelliği doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir.



Farklı küçük harfler, farklı NKE konsantrasyonları içeren filmler arasındaki önemli farklılıkları gösterir ($P \leq 0.05$). Değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. NKE-0: kontrol (%0 NKE içeren), NKE-0.25: (%0.25 (a/h) NKE içeren), NKE-0.50: %0.50 (a/h) NKE içeren, NKE1.00: %1 (a/h) NKE içeren ve NKE1.50: %1.5 (a/h) NKE içeren. NKE: nar kabuğu ekstraktı.

Şekil 4.10. Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin opaklık değerleri

4.7. Mekaniksel Özellikler

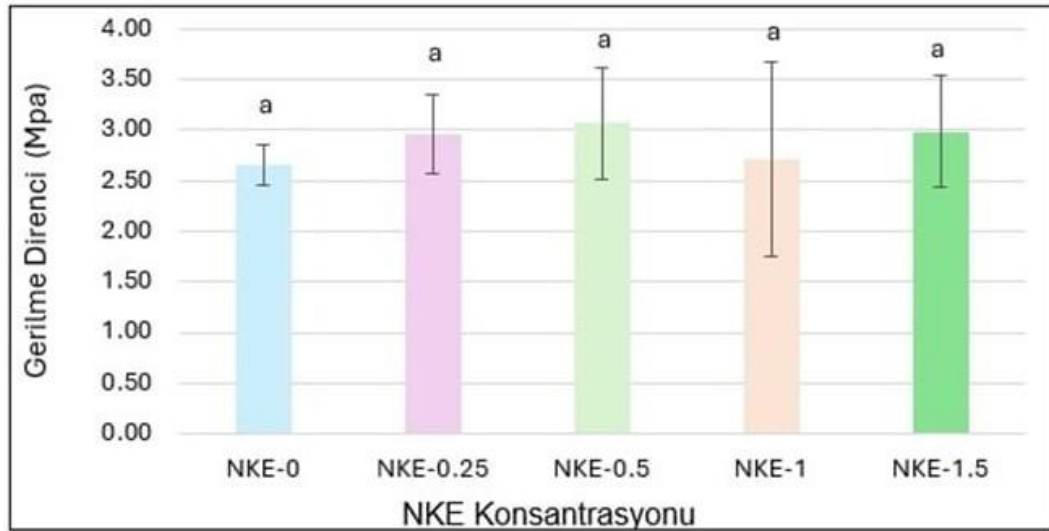
Mekanik özellikler, gerilme direnci (GD) ve uzama katsayısı (UK) olmak üzere iki şekilde belirtilmiştir.

4.7.1. Gerilme Direnci

Ambalaj malzemesi olarak kullanılan filmlerin, kaplama sırasında esnek olması beklenirken, aynı zamanda yüksek gerilme değerlerine sahip olması, ürünün

bütünlüğünü korumak için gerekli olduğu bildirilmiştir (Nuthong ve ark., 2009). Mekanik özellikler, yenilebilir filmlerin dayanıklılığı ve gıdaların korunma kapasitesi açısından kritik öneme sahiptir (Sothornvit ve Krochta, 2000). Yenilebilir film formülasyonları geliştirilirken, filmin kopma mukavemeti ve elastikiyetini belirleyen uzama katsayısı gibi mekanik özellikler önemli bir rol oynamaktadır (Orozco-Parra ve ark., 2020). Yenilebilir film sistemlerinin gıdanın taşınması ve depolanması sırasında bütünlüklerini koruması son derece önemlidir. Çekme mukavemeti ve kopma uzaması gibi mekanik özellikler, filmin gıdanın fiziksel bütünlüğünü koruma yeteneğini yansıtır (He ve ark., 2019). Farklı oranlarda NKE içeren yenilebilir filmlerin ortalama uzama direnci (Mpa) değerleri Şekil 4.11’de gösterilmiştir.

Çalışmamızda gerilme direnci 2.650 MPa ile 3.065 Mpa arasında değiştiği belirlenmiştir.



Farklı küçük harfler, farklı NKE konsantrasyonları içeren filmler arasındaki önemli farklılıkları gösterir ($P \leq 0.05$). Değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. NKE-0: kontrol (%0 NKE içeren), NKE-0.25: (%0.25 (a/h) NKE içeren, NKE-0.50: %0.50 (a/h) NKE içeren, NKE1.00: %1 (a/h) NKE içeren ve NKE1.50: %1.5 (a/h) NKE içeren. NKE: nar kabuğu ekstraktı.

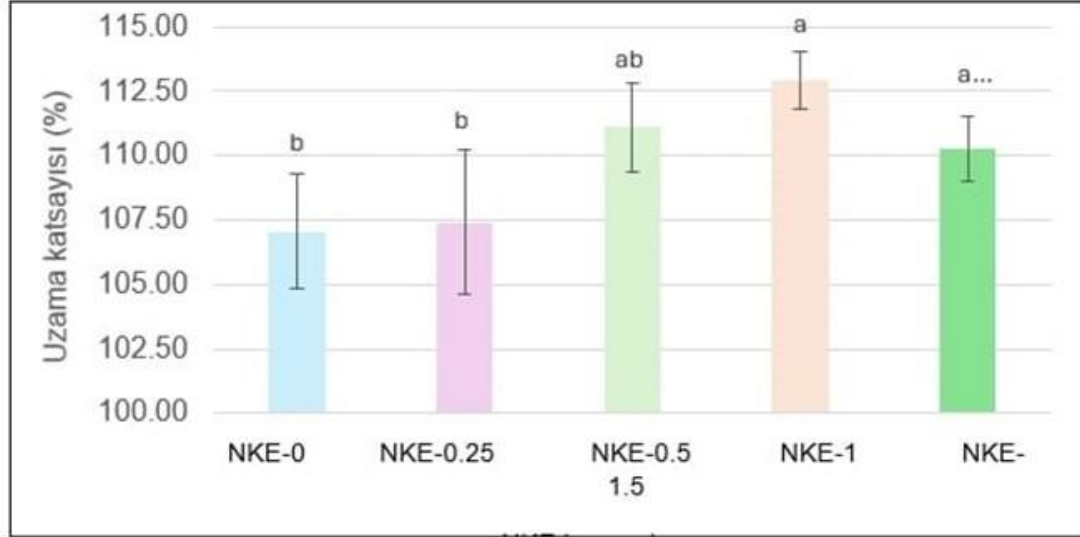
Şekil 4.11. NKE konsantrasyonları içeren filmlerin gerilme direnci değerleri

4.7.2. Uzama Katsayısı

Uzama katsayısı, filmin mekanik strese ve gerilime maruz kaldığında esnekliğini yansıttığı bildirilmiştir (Nouri ve ark., 2014). Farklı NKE konsantrasyon içeren filmlerin uzama katsayısı değerleri Şekil 4.12 de verilmiştir.

Filmlerin UK değerleri %121.01–%132.33 aralığında değiştiği bildirilmiştir. UK değerleri genellikle kontrolle karşılaştırıldığında NKE eklenmesi artış gösterdiği ve bu artışta istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($P>0.05$).

NKE'nin eklenmesinin filmlerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemediğini göstermektedir.



Farklı küçük harfler, farklı NKE konsantrasyonları içeren filmler arasındaki önemli farklılıkları gösterir ($P\leq 0.05$). Değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. NKE-0: kontrol (%0 NKE içeren), NKE-0.25: (%0.25 (a/h) NKE içeren, NKE-0.50: %0.50 (a/h) NKE içeren, NKE1.00: %1 (a/h) NKE içeren ve NKE1.50: %1.5 (a/h) NKE içeren. NKE: nar kabuğu ekstraktı.

Şekil 4.12. Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin uzama katsayısı değerleri

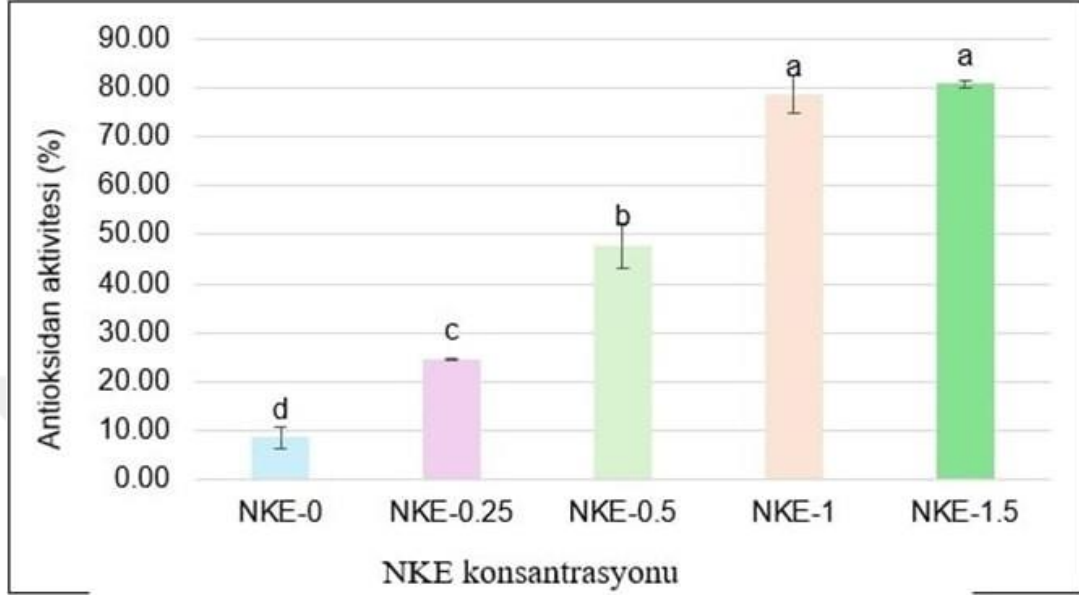
4.8. Antioksidan Özellikler

Filmlerin antioksidan özellikleri, toplam antioksidan kapasite (TAK) ve toplam fenolik içerik (TFM) olarak belirtilmiştir.

4.8.1. Toplam Antioksidan Kapasitesi (TAK)

Aktif bileşenlerin film sistemlerine dahil edilmesiyle antioksidan özelliklere sahip ambalaj malzemelerinin geliştirilmesi, raf ömrü boyunca gıda ürünlerinin kalite özelliklerinin artırılması için ümit verici olduğu bildirilmiştir (Makhlouf-Gafsi, 2018). Filmlerin antioksidanlarla zenginleştirilmesi, kalite özelliklerinin iyileştirilmesine olanak tanır (Liu ve ark., 2024). Bu nedenle, elde edilen filmlerin antioksidan aktivitesi DPPH testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Filmlerin TAK değerleri Şekil 4.13'de verilmiştir.

Filmlerin TAK değerleri %8.62 ile %80.79 arasında değişirken, TFM değerleri 3.83 ile 14.08 mg GAE/g film arasında değiştiği tespit edilmiştir.



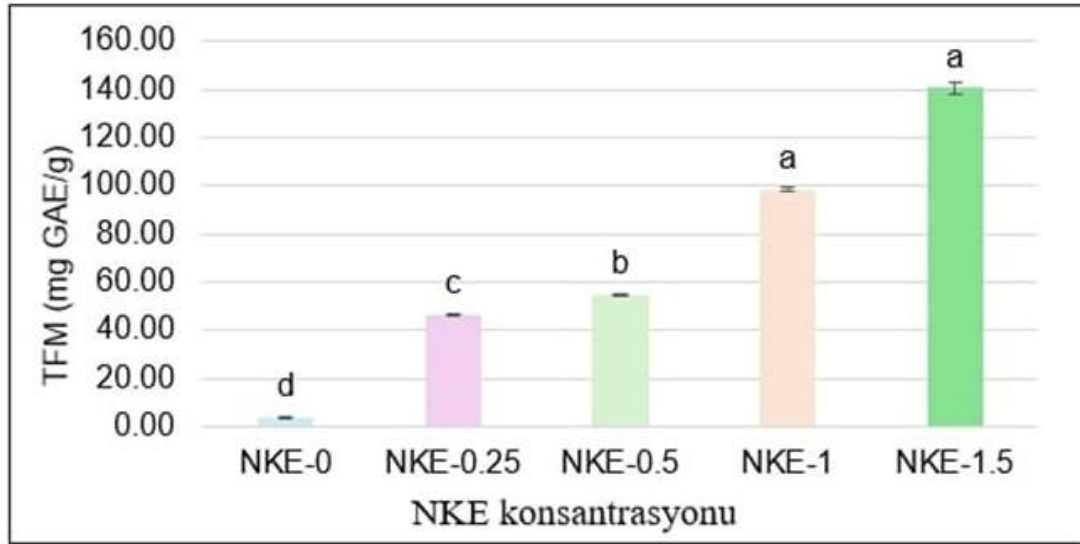
Farklı küçük harfler, farklı NKE konsantrasyonları içeren filmler arasındaki önemli farklılıkları gösterir ($P \leq 0.05$). Değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. NKE-0: kontrol (%0 NKE içeren), NKE-0.25: (%0.25 (a/h) NKE içeren, NKE-0.50: %0.50 (a/h) NKE içeren, NKE1.00: %1 (a/h) NKE içeren ve NKE1.50: %1.5 (a/h) NKE içeren. NKE: nar kabuğu ekstraktı.]

Şekil 4.13. Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin antioksidan aktivite değerleri

4.8.2. Toplam Fenolik İçeriği (TFM)

Filmlerin antioksidanlarla zenginleştirilmesi, kalite özelliklerinin iyileştirilmesine olanak tanır (Liu ve ark., 2024). Bu nedenle, elde edilen filmlerin antioksidan aktivitesi DPPH testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Filmlerin TFM değerleri Şekil 4.14 'te verilmiştir.

NKE'nin filmlerin hem TAK hem de TFM'sini önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir ($P \leq 0.05$). NKE-1.00 ve NKE-1.50 filmlerinin DPPH süpürme aktivitesinin, kontrolden örneğinkinden önemli ölçüde daha yüksek olduğu ($P \leq 0.05$), ayrıca, NKE-1.50 filminin TFM'si diğer filmlere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek ($P \leq 0.05$) olduğu belirlenmiştir.

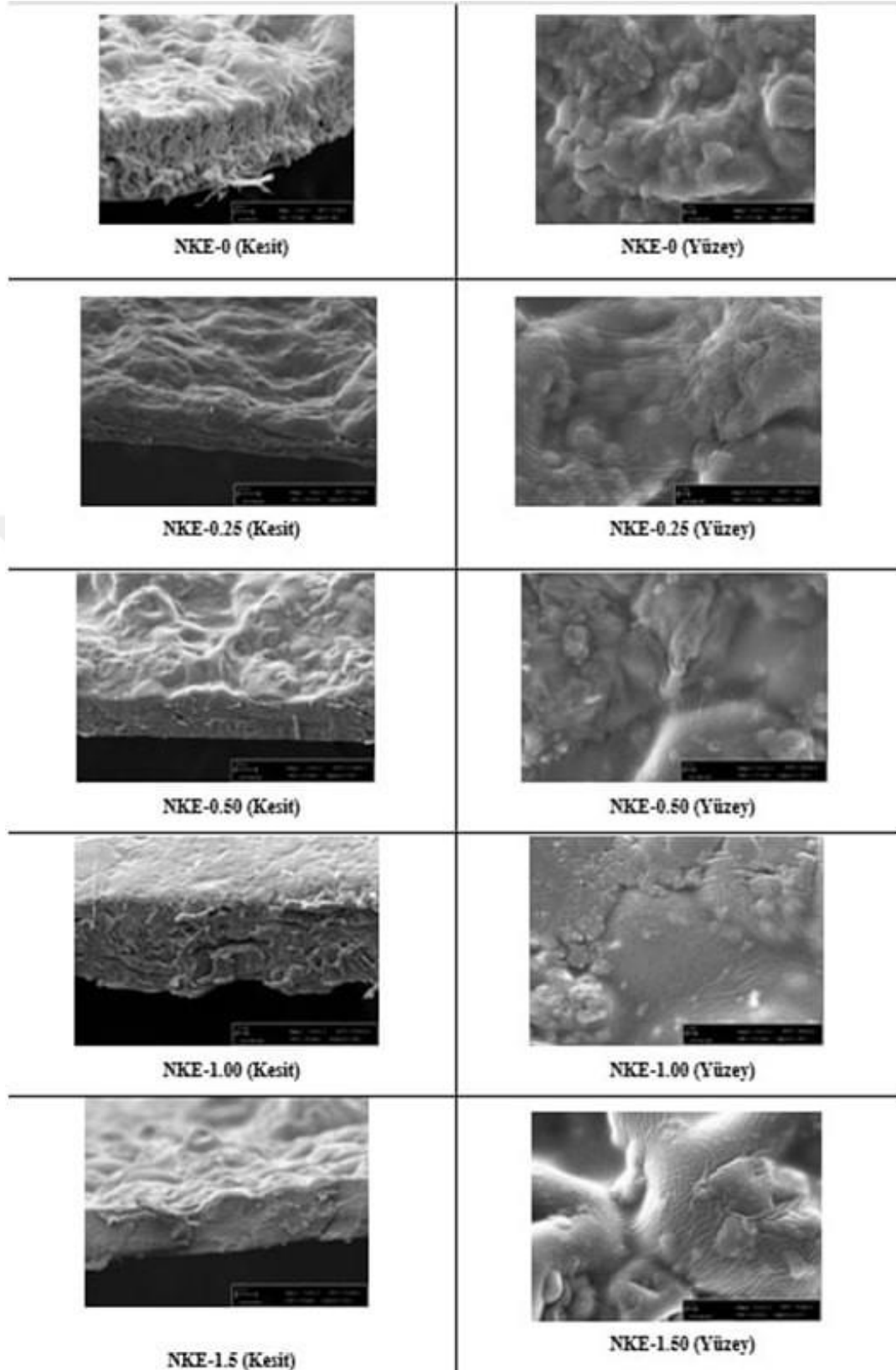


Farklı küçük harfler, farklı NKE konsantrasyonları içeren filmler arasındaki önemli farklılıkları gösterir ($P \leq 0.05$). Değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. NKE-0: kontrol (%0 NKE içeren), NKE-0.25: (%0.25 (a/h) NKE içeren, NKE-0.50: %0.50 (a/h) NKE içeren, NKE1.00: %1 (a/h) NKE içeren ve NKE1.50: %1.5 (a/h) NKE içeren. NKE: nar kabuğu ekstraktı. TFM: Toplam fenolik içeriği

Şekil 4.14. NKE konsantrasyonları içeren filmlerin toplam fenolik içerik değerleri

4.9. Mikroyapısal Özellikler

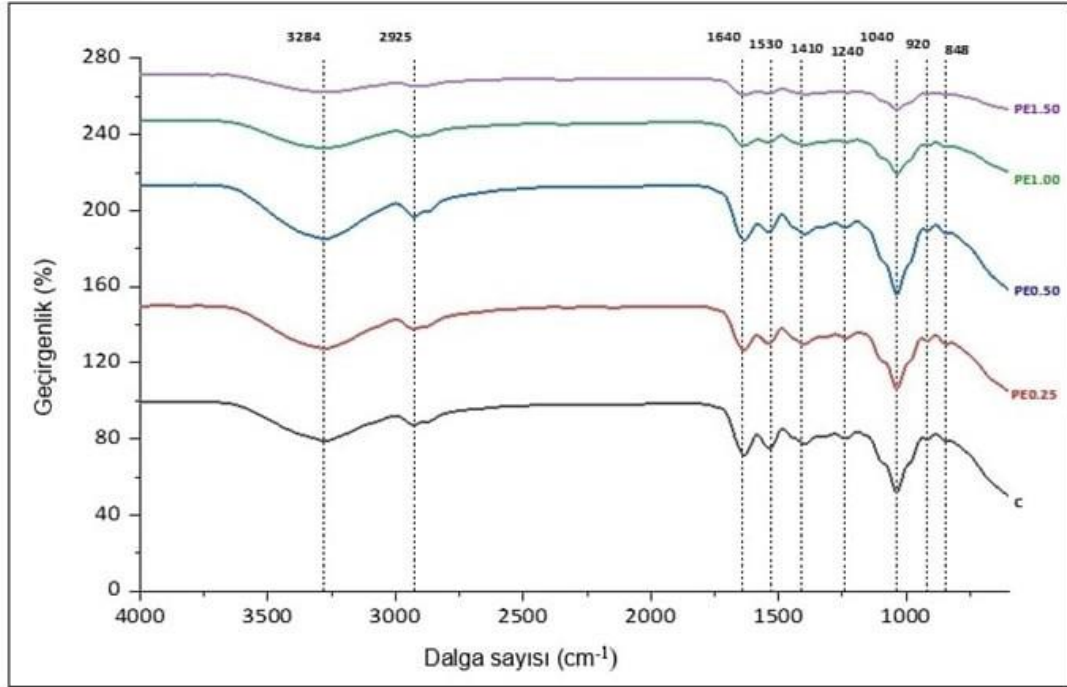
Flim örneklerinin mikroyapısal özelliklerinin değerlendirilmesi için taramalı elektron mikroskobu kullanılarak elde edilmiştir. Flimlerin kesit ve yüzey SEM görüntüleri Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



Şekil 4.15. NKE Farklı NKE konsantrasyonları içeren filmlerin kesit ve yüzey SEM görüntüleri

4.10. Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

FTIR spektroskopisi, organik ve inorganik bileşenlerin karakterizasyonunda yaygın olarak kullanılan bir tekniktir ve temel prensibi, incelenen maddeye kızılötesi ışık gönderilerek soğurulmasıdır. Bu soğurma, moleküldeki bağların titreşim ve dönüşleri için gereken enerji, kızılötesi bölgedeki elektromanyetik spektrumdan sağlanır. Elde edilen spektrumlar, orta kızılötesi bölgede ($4000-400\text{ cm}^{-1}$) yer alan titreşim frekanslarını gösterir. Bu titreşimler, molekülün parmak izini oluşturan absorpsiyon pikleriyle belirlenir. Her maddenin kendine özgü bir FTIR spektrumu vardır, tek istisna optik izomerlere aittir. Farklı kimyasal bağlar farklı titreşim frekanslarına sahip olduğundan, elde edilen spektrumlar molekülün kimyasal yapısı ve fonksiyonel grupları hakkında bilgi verir (Büyüksırt ve Kuleaşan, 2014; İçyer ve Durak, 2020) test edilen filmlerin FTIR spektrumları Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. NKE konsantrasyonlarının yenilebilir filmlerin su buharı geçirgenliği üzerindeki etkisi

5. TARTIŞMA

5.1. Kalınlık

Yapılan bir çalışmada Karakuş ve Ayhan (2022), tarafından yapılan bir çalışmada, nar kabuğundan elde edilen biyofilmlerin kalınlıklarının 0.39 mm ile 0.55 mm arasında değiştiği, portakal kabuğundan üretilen biyofilmlerin kalınlıklarının ise 0.35 mm ile 0.43 mm arasında olduğu rapor edilmiştir. Chong ve ark. (2021), tarafından geliştirilen bir çalışmada, haskap (*Lonicera caerulea*) yaprak özütü ile zenginleştirilmiş küçük protein bazlı filmlerin kalınlık değerlerinin 0.09-0.12 mm aralığında olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, Sivarooban ve ark. (2008), üzüm çekirdeği özütü içeren soya proteini izolat filmlerinin çalışmamızdakilerden daha ince olduğunu tespit etmişlerdir.

Yenilebilir film kalınlığının, film oluşturma çözeltisinin hacmi ve toplam katı içeriğine bağlı olarak değişebileceği belirtilmiştir (Nayak ve ark., 2024). Ayrıca, film kalınlığındaki artışın, katı içeriğindeki artışla ilişkili olabileceği ifade edilmiştir (Dai ve ark., 2022). Bunun yanı sıra, NKE konsantrasyonundaki artışın, fonksiyonel gruplar arasındaki moleküller arası etkileşimlerin artması sonucunda film kalınlığını artırabileceği düşünülmektedir (Kumar ve ark., 2021). Ayrıca He ve ark. (2019), kontrol filminin NKE içeren polivinil alkol filmlerine kıyasla daha düşük kalınlık değerlerine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bir başka çalışmada ise NKE içeren yenilebilir film sonuçları ile elde ettiğimiz sonuçların uyumlu olduğu ve benzer sonuçların ortaya konulduğu tespit edilmiştir (Dai ve ark., 2022; Emam-Djomeh ve ark., 2015; Munir ve ark. 2019).

5.2. Nem

NKE oranının artmasıyla nem miktarının da arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışın, NKE ekstraktının miktarıyla doğru orantılı olduğu ve aynı zamanda nem tutma kapasitesindeki yükselmenin NKE ekstraktının miktarına bağlı olduğu düşünülmektedir. Ghasemlou ve ark. (2019), tarafından yapılan bir çalışmada, kefirandan hazırlanan filmlerde artan nar kabuğu ekstraktı konsantrasyonu ile nem içeriğinin %23.59'dan %37.04'e yükseldiği bildirilmiştir.

Chong ve ark. (2021), haskap yaprağı özleri içeren bezelye proteini izolatı bazlı filmlerin nem içeriğinin %17.1 ile %24.0 aralığında olduğunu belirlemiştir.

Film formülasyonunda kullanılan NKE konsantrasyonunun artmasıyla nem

değerlerinde bir artış gözlemlenmiştir. Filmlerin nem artışı, filmin içsel su emme kapasitesini artıran NKE'nin hidrofilik bileşenlerinin dahil edilmesine bağlanabileceği NKE'nin eklenmesi ile muhtemelen higroskopik davranışı arttığı ve hidrofilik/hidrofobik alanların dengesini değiştirdiği, böylece nem içeriğinde bir artışa neden olduğu bildirilmiştir (Munir ve ark., 2019). Buna olarak, NKE içeren filmlerin artan kalınlığının, filmde nemin kısmen uzaklaştırılmasını sınırlandırdığını bildirilmiştir (Ceylan ve Atasoy, 2022).

5.3. Suda Çözünürlük

NKE-0'dan NKE-1'e kadar artan su çözünürlük, malzemenin nem bariyer özelliklerinin azaldığını, NKE-1.5'teki hafif düşüşün ise belirli bir konsantrasyondan sonra bariyer özelliklerinde bir iyileşmenin olduğunu düşündürmektedir. Bu durum, ambalaj malzemesinin optimum konsantrasyon aralığında kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Gıda maddesinin su ile temas ettiğinde, ürünün bütünlüğünü korumak ve su direncini artırmak amacıyla suda çözünürlük seviyesinin düşük olması tercih edilir. Ancak, bazı durumlarda, ürünün tüketiminden önce filmin suda çözünürlüğünün yüksek olması da istenebilir (Perez-Gago ve Krochta, 2001).

Yüksek düzeyde SÇ, filmde düşük su direncini gösterdiği (Augusto ve ark., 2018), bildirilmiştir. Bununla birlikte, yenilebilir filmlerin yüksek düzeyde çözünürlük, yenilebilir filmlerle kaplanmış gıda ürünlerinin pişirilmesi dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda avantajlı olabileceği bildirilmiştir (Kumar ve ark., 2017; Nouri ve ark., 2014). Çalışmamızda elde edilen bulgular, yüksek NKE konsantrasyonlarıyla sodyum kazeinat filminin çözünürlüğünde artış gözlemleyen Emam-Djomeh ve ark. (2015), ile benzerdir. Ancak, Kumar ve ark. (2019), NKE ilavesinin pullulan ve nişasta bazlı filmlerde çözünürlüğü etkilemediğini ifade etmiştir. Yenilebilir filmlerin suda çözünürlüğü, formülasyondaki proteinin ve fenolik bileşikler gibi diğer protein olmayan bileşenlerin yapısal özelliklerine doğrudan bağlı olduğu bildirilmiştir. NKE'nin dahil edilmesiyle film çözünürlüğündeki artış, NKE'nin hidrofilik bileşenlerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (He ve ark., 2019). Yapılan başka bir çalışmada ise, betel yaprağı özütü içeren tüm filmlerin kontrol filmine kıyasla daha yüksek suda çözünürlük sergilediğini gözlemlemiş ve bu da hidroksil gruplarının filmlerin çözünürlüğünü artırdığını gösterdiğini belirtmiştir (Nouri ve ark., 2014).

5.4. Su Buharı Geçirgenliği

Yapılan çalışmalarda, doğal bitki özleri içeren farklı filmler için benzer

sonuçlar bildirilmiştir (Vargas-Torrico, 2024; Emam-Djomeh ve ark., 2015). Çalışmada elde ettiğimiz bulgular Montalvo-Paquini ve ark. (2014), tarafından yapılan bakla fasulyesi proteini filmlerinin SBG değerlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak bu farkın, film hazırlama tekniklerindeki (konsantrasyon ve kurutma yöntemleri gibi) ve SBG ölçüm koşullarındaki (bağıl nem) değişikliklerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Kumari ve ark., 2017). Çalışmalarda elde ettiğimiz bulgularımızın aksine, Munir ve ark. (2019), NKE ve üzüm çekirdeği ekstratı eklenmesiyle filmin SBG değerinde bir azalma olduğunu bildirmiştir. NKE içeren filmlerin daha yüksek SBG değeri, filmlerin nem içeriğine bağlanabileceği gibi su, film matrisindeki polimer zincirleri arasındaki moleküller arası bağları azaltarak su buharının transferini kolaylaştırdına da bağlanabileceği düşünülmektedir (Nouri ve ark., 2014). Bununla birlikte SBG'deki değişiklikler çeşitli hidrofobik özelliklere, karmaşık ağ yapılarına ve proteinler ve fenolik bileşiklerle ilişkili çapraz bağlama kapasitelerine de bağlanabileceği bildirilmiştir (Munir ve ark., 2019).

5.5. Renk

Düşük L^* değeri, pigmentlerin artan miktarı ve film matrisindeki dağılımına bağlı olarak ortaya çıkan renk değişiklikleri, nar kabuğunda bulunan pigmentlerin yapısal özelliklerinden ve nar kabuğu miktarındaki artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bağlamda, nar kabuğu, doğal renk pigmentleri olan antosiyaninler ve tanenler gibi bileşenler açısından oldukça zengin olduğundan bu pigmentlerin konsantrasyonu arttıkça filmlerin renginin daha koyu bir görünüm kazandığı görülmüştür. Hanani ve ark. (2019), nar kabuğu tozu (PPP) içeren filmlerin, PPP'deki turuncu, kırmızı ve mor renklerden sorumlu antosiyaninlerin varlığı nedeniyle azalan açıklık ve artan kızarıklık sergilediğini gözlemlediğini bildirmiştir. Bulgularımızla uyumlu olarak, Kumar ve ark. (2021), filmlerin koyuluğunun, kızarıklığının ve sarılığının NKE konsantrasyonuyla arttığını, NKE eklenmiş film rengiyle ilgili benzer bir gözlem He ve ark. (2019), tarafından bildirilmiştir.

Yenilebilir filmlerde nar kabuğunun artması ile a^* değerlerinin yüksek olmasının nedeni, yapısında bulunan gallik asit, kuersetin gibi tanenler ve antosiyaninler gibi kırmızı pigment maddelerinden kaynaklandığı bildirilmiştir (İkinci ve ark., 2021).

Yenilebilir filmlerde nar kabuğunun artması ile b^* değerlerinin yüksek olmasının temel nedeni, nar kabuğunun yapısındaki renk pigmentleri olan

karotenoidlerin neden olduğu düşünülmektedir. Nitekim 2012 yılında yapılan bir çalışmada, portakal kabuğu filmlerinin b* değerlerinin nar kabuğu filmlerinin b* değerlerinden belirgin şekilde daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Ayrıca portakal kabuğunun yapısında düşük miktarda kırmızı pigment ve yüksek miktarda karotenoid bulunması, portakal kabuğu filmlerinin b* değerlerinin a* değerlerinden daha yüksek olmasına neden olmuştur (Ghanem ve ark., 2012).

Renk sonuçları, filmlerin pozitif a* ve b* değerleri nedeniyle kırmızı-sarı bir renge sahip olduğunu göstermiştir. NKE ile takviyenin filmlerin L*, a*, b* ve ΔE değerleri üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). NKE konsantrasyonunun artması filmlerin koyuluğunu, sarısını ve kırmızı renk yoğunluklarını artırmıştır.

Yenilebilir filme eklenen nar kabuğu miktarı arttıkça yenilebilir film renginin de kırmızı rengin baskın hale geldiği gözlenmiştir. Gıda ambalaj malzemelerinin rengi, gıdaların pazarlanmasında önemli bir rol oynamakta ve tüketici kabul edilebilirliğini doğrudan etkileyebileceği düşünülmektedir.

5.6. Opaklık (Işık Bariyer Özellikleri)

Opaklık artışı, filmlerin daha az saydam olduğunu göstermektedir (Kanmani ve Lim, 2013). Film opaklığı, formülasyon, plastikleştirici türü, kalınlık, yapısal düzen ve bileşenlerin uyumu gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Shahrampour ve ark., 2020). NKE takviyesinin filmlerin opaklığı ve geçirgenlik değerleri üzerindeki etkisinin önemli olduğunu ortaya koymuştur ($P \leq 0.05$).

Yapılan araştırmalarda bitki ekstralarının eklenmesiyle yenilebilir filmlerde opaklığında arttığı bildirmişlerdir (Augusto ve ark., 2018; Saberi ve ark., 2017). Film opaklığındaki artış, NKE bileşenlerinin neden olduğu ışık saçılmasına bağlanabildiği bildirilmiştir (Saberi ve ark., 2017). Bu olguyla tutarlı olarak, en yüksek NKE konsantrasyonuna sahip kitosan bazlı filmin, fenolik bileşenlerin varlığı nedeniyle en yüksek opaklığa sahip olduğu bildirilmiştir (Kumar ve ark., 2021). Opaklık, ışığa duyarlı maddeler içeren gıda kaplama materyallerinde ışık geçişini azaltan önemli bir özelliktir olduğunu bildirilmiştir (Galus, 2018).

5.7. Mekaniksel Özellikler

5.7.1. Gerilme Direnci

Uzama direncin artması, malzemenin daha esnek ve dayanıklı olduğunu

göstermektedir. Çalışmamızda NKE-0'dan NKE-0.5'e kadar artan uzama direnci, malzemenin mekanik dayanıklılığının iyileştiğini göstermektedir. Ancak, NKE-1'de çekme direncindeki düşüş ve NKE-1.5'te tekrar artış, belirli bir noktada mekanik özelliklerde dengesizlikler kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yapılan bir çalışmada, nar kabuğundaki polifenoller, film matrisi içindeki bileşenler arasında çapraz bağların oluşumunu kolaylaştırarak filmin mukavemetini artırma potansiyeline sahip olduğunu ancak, bu bileşenler protein-protein etkileşimlerini bozabilecek ve sonuç olarak filmin mukavemetinde bir azalmaya yol açabilecek polifenol-protein bağları da oluşturabileceği bildirilmiştir (Moghadam ve ark., 2020). NKE eklenmesinin filmlerin mekanik özellikleri üzerinde önemli ($P>0.05$) bir etkiye sahip olmadığını göstermiştir. Nitekim yurt dışında yapılan çalışmalarda, NKE'nin polisakkarit bazlı yenilebilir filmlerin mekanik mukavemetini iyileştirdiğini, ancak kitosan-pullulan filmlerinin mekanik özelliklerini iyileştirmedeğini bildirmiştir (Kumar ve ark., 2019). Emam-Djomeh ve ark. (2015), tarafından yapılan bir çalışmada ise, peynir altı suyu proteini bazlı filmlerin uzama direnci düşürdüğünü ancak NKE konsantrasyonlarından etkilenmediğini tespit etmişlerdir. Film matrisi içindeki bileşenlerin molekül içi etkileşimi, yenilebilir filmlerin mekanik özelliklerini etkilediğini (Kumar ve ark., 2019), film matrisi ile bitki özleri arasındaki fenolik fraksiyonların etkileşimi, yenilebilir filmlerin mekanik özelliklerinde değişikliklere neden olabileceği bildirilmiştir (Sivarooban ve ark., 2008). Mushtaq ve ark. (2018), NKE konsantrasyonuyla film mukavemetinde bir artışın olduğunu ve bu artışın nedeni olarak da NKE'nin dahil edilmesine ile yüksek polifenol konsantrasyonuna göstermişlerdir. Başka bir çalışmada ise, NKE ve üzüm çekirdeği özütü içeren surimi bazlı filmlerde GD'de bir artış gözlemlendiği ifade edilmiştir (Munir ve ark., 2019).

5.7.2. Uzama Katsayısı

Cheng ve Cui (2021), tarafından bezelye proteini bazlı filmlerde %68.86 – 88.93 aralığında olduğu bildirilirken çalışmamızda elde ettiğimiz değerlerin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Emam-Djomeh ve ark.(2015), tarafından NKE içeren filmler için bildirilen UK değerleri daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Filmlerin mekanik özelliklerindeki bu değişimler, plastikleştirici miktarı, fenolik bileşiklerin kimyasal özellikleri, fenollerin konsantrasyonu ve film oluşturan çözeltinin pH'ı gibi faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Soltanzadeh ve ark. 2022).

Kumar ve ark. (2019), NKE'nin polisakkarit bazlı yenilebilir filmlerin

mekanik mukavemetini iyileştirdiğini, ancak kitosan-pullulan filmlerinin mekanik özelliklerini iyileştirmediğini bildirmiştir. Emam-Djomeh ve ark. (2015), tarafından yapılan bir çalışma , peynir altı suyu proteini bazlı filmlerin GD'sinin düşük NKE konsantrasyonlarından etkilenmediğini göstermiştir. Film matrisi içindeki bileşenlerin molekül içi etkileşimi, yenilebilir filmlerin mekanik özelliklerini etkilediği bildirilmiştir (Kumar ve ark., 2019). Film matrisi ile bitki özleri arasındaki fenolik fraksiyonların etkileşimi, yenilebilir filmlerin mekanik özelliklerinde değişikliklere neden olabileceği saptanmıştır (Sivarooban ve ark., 2008). Nar kabuğundaki polifenoller, film matrisi içindeki bileşenler arasında çapraz bağların oluşumunu kolaylaştırarak filmin mukavemetini artırma potansiyeline sahip olduğu, bu bileşenler polifenol-protein bağları da oluşturabileceği, bunda protein-protein etkileşimlerini bozabileceği ve filmin mukavemetinde bir azalmaya yol açabileceği bildirilmiştir (Moghadam ve ark., 2020). Bulgularımızın aksine, Mushtaq ve ark. (2018), NKE konsantrasyonu ile film mukavemetinde bir artış olduğunu bildirmiş ve bunu NKE'nin dahil edilmesine ve yüksek polifenol konsantrasyonuna bağlamıştır. Başka bir çalışmada ise, Munir ve ark. (2019), NKE ve üzüm çekirdeği özütü içeren surimi bazlı filmlerde GD'de artış ve UK'da azalma olduğunu tespit etmiştir.

5.8. Antioksidan Özellikler

5.8.1. Toplam Antioksidan Kapasitesi (TAK)

Nar kabuğu tozu ile birleştirilmiş mung fasulyesi proteinine dayalı filmler için bildirilen değerlerle uyumlu olduğu görülmüştür (Moghadam ve ark., 2020).

NKE içermeyen kontrol filminin de az miktarda toplam fenolik içerik bulunması, film formülasyonundaki psylliumun fenolik içeriğine (Martellet ve ark., 2023) ve bitki proteinlerindeki amino asit kalıntılarının Folin-Ciocalteu reaktifi ile reaksiyona girmesi olabileceği düşünülmektedir (Moghadam ve ark., 2020). Ayrıca, Chong ve ark. bezelye protein izolatına dayalı filmlerin serbest radikal süpürme aktivitesinin %2.1 ile %3.7 arasında olduğunu bulunduğunu bildirilmiştir (Chong ve ark., 2021).

5.8.2. Toplam Fenolik İçeriği (TFM)

Yapılan diğer çalışmalar da (Kanatt ve ark., 2014; Mushtaq ve ark., 2018), farklı film formülasyonlarına NKE eklenmesinin DPPH süpürme aktivitesi ve TFM konsantrasyonu üzerinde benzer bir etkiye sahip olduğunu vurgulamıştır.

Farklı bitki özleri içeren filmler için de benzer sonuçlar bildirilmiştir (Liu ve ark., 2024; Saberi ve ark., 2017). TFM içeriği ile antioksidan kapasitesi arasında önemli bir ilişki bulunduğu bildirilmiştir (Kanatt ve ark., 2012). Fenolik bileşikler, serbest radikalleri etkili bir şekilde süpürmek ve oksidatif süreçlere karşı korumak için hidrojen veya elektron sağlar (Genskowsky ve ark., 2015). Bununla birlikte, doğal bitki özlerinin antioksidan özellikleri yalnızca fenolik bileşiklere bağlı olmadığı, karbonhidratlar, tokoferoller, karotenoidler, C vitamini, terpenler ve pigmentler de antioksidan kapasitesine katkıda bulunduğu bildirilmiştir (Saberi ve ark., 2017). Nar, fenolik bileşikler ve antosiyaninler gibi biyoaktif bileşikler açısından zengindir. Özellikle nar kabukları, narın antioksidan kapasitesine en büyük katkıda bulunan punicalagin içerir (Hanani ve ark., 2019). Punicalagin dışında, ellagik ve gallik asit gibi fenolik bileşikler NKE antioksidan aktivitesine katkıda bulunduğu, ayrıca, flavonoller ve flavanol gruplarının da DPPH radikallerini bilinmektedir (Mushtaq ve ark., 2018).

5.9. Mikroyapısal Özellikler

Tüm filmlerin kesit görüntülerinde, petri kabıyla temas eden yüzeyin pürüzsüz, diğer yüzeyin ise pürüzlü olduğu görülmüştür. Yüzey SEM görüntüleri de filmlerin pürüzlü kesit görünümünü desteklemektedir. Filmlerin pürüzlülüğü bezelye proteini izolat parçacıklarına atfedilebilir. Filmler yoğun şekilde paketlenmiş bezelye proteini parçacıklarından oluştuğu gibi görünmüştür. Ek olarak, yüzey görüntülerinde küme yapıların oluşumu gözlemlenmiştir. Bu durum, bezelye proteininin pH 9.0'da (filmlerin hazırlandığı pH) eksik çözünürlüğüyle ilgili olabileceği düşünülmektedir. Bezelye proteini bazlı filmlerin SEM görüntüleri için benzer bulgular elde edilmiştir (Kowalczyk ve ark., 2016).

SEM görüntüleri kontrol ve NKE içeren filmler arasındaki farkı ortaya koymuştur. Kontrol filminin kesitinde gözenekli ve süngerimsi bir yapı gözlemlenirken, NKE içeren filmlerde bu gözenekli yapı daha az belirgin ve kesitin daha pürüzsüz olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular, NKE eklenmesinin film matrisi içinde süngerimsi ve gözenekli bir yapının oluşumunu sınırladığını göstermektedir. Buna ilaveten, bu görüntüler özütün polimer matris içinde bir dolgu maddesi olarak mükemmel etkileşimini vurgulamaktadır (More ve ark., 2022). Bu olgu, NKE'deki polifenoller ile film matrisindeki polimerler arasındaki etkileşimle ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Hajirostamloo ve ark., 2022). NKE'deki hidrofilik bileşenlerin film matrisi içinde hidrojen ve elektrostatik bağlar oluşturma kapasitesi, daha kompakt bir yapının oluşumuna yol açmış olabileceği (Emam-Djomeh ve ark., 2015; Liu ve ark.,

2024), NKE'nin hidrofilik etkileşimlerine ek olarak, özütün hidrofobik etkileşimleri gibi moleküller arası kuvvetler de daha kompakt bir yapının oluşumuna katkıda bulunmuş olabileceği düşünülmektedir (Chong ve ark., 2021). Vargas-Torrico ve ark. (2024), karboksimetil selüloz bazlı filmlere NKE eklenmesinin, filmleri güçlendiren ve polimerik zincirler arasındaki boşlukları azaltan β -levha yapılarının (küçük aglomeralar) oluşumuna yol açtığını belirtmişlerdir. Hajirostamloo ve ark. (2022), soya proteini/sakız bazlı filmlere belirli bir konsantrasyona kadar ekstrakt eklenmesinin yapının homojenliğini artırdığını gözlemlenmiş ve bu etkiyi protein zincirleri ve ekstrakt polifenoller arasındaki etkileşimlere bağlamışlardır. Ancak, daha yüksek konsantrasyonlarda ekstraktın dahil edilmesinin homojen olmayan yapıların oluşumuna yol açtığını da belirtmişlerdir. Elde ettiğimiz sonuçlarımızın aksine, Bertolo ve ark. (2022), kitosan/jelatin bazlı filmlere NKE dahil edilmesinin kesitsel görüntülerde daha az kompakt bir yapı ile sonuçlandığını gözlemlediklerini bildirmişlerdir.

Yüzey SEM görüntüleri NKE içermeyen kontrol filmde pürüzlü ve yoğun bir agrega oluşumunu ortaya koyduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, NKE içeren filmler, kontrole kıyasla daha pürüzsüz yüzeyler ve daha az agrega oluşumu sergilemiştir. Bu nedenle, NKE'nin daha pürüzsüz bir film yüzeyinin oluşumuna katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Bu bulgular, kesitsel SEM görüntüleri tarafından daha da desteklenmektedir. NKE gibi biyoaktif maddelerin eklenmesi, hidrojen bağı ve elektrostatik etkileşimler nedeniyle filmlerin yüzey pürüzlülüğünü azaltarak daha pürüzsüz bir filme yol açabileceği görülmüştür (Liu ve ark., 2024). Bulgularımızla uyumlu olarak, Dias ve ark. (2022), NKE'nin kitosan/jelatin bazlı filmlere dahil edilmesinin daha pürüzsüz bir yüzey oluşumuna katkıda bulunduğunu gözlemlediğini bildirmiştir.

5.10. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

Kontrol ve NKE içeren filmlerin FTIR spektrumlarında anlamlı bir değişiklik gözlenmemiş ve benzer tepe desenleri tespit edilmiştir. Bu durum, NKE'nin film matrisi ile yalnızca fiziksel etkileşimde bulunduğunu ve herhangi bir kimyasal bağ oluşumunun gerçekleşmediğini düşündürmektedir. Filmlerin ana spektrumlarındaki benzerlik, NKE'nin film matrisiyle uyumluluğunu ve faz ayrımı oluşmadığını göstermektedir. Bu bulgular, Dai ve ark. (2022), tarafından bildiri ile uyum içerisindedir. Benzer şekilde, Saberi ve ark. (2017), aktif bileşenlerin eklenmesinin yenilebilir filmlerin ana spektrumlarını değiştirmediklerini belirtmiştir.

Filmlerin ana spektrumlarındaki benzerliğin NKE konsantrasyonuyla ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Nitekim Souza ve ark. (2018), kontrol ve bitki özütü içeren filmlerin, eklenen bileşenlerin düşük miktarı (%1) nedeniyle benzer spektral özellikler gösterdiğini bildirmiştir. Buna karşın, Vargas-Torrico ve ark. (2024), NKE içeren filmlerde NKE konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak amid I ve amid II gibi belirli bantların yoğunluğunda bir artış olduğunu rapor etmiştir.

Filmlerin ana tepe noktaları çoğunlukla yaklaşık 3284 cm^{-1} , 1640 cm^{-1} , 1530 cm^{-1} ve 1040 cm^{-1} 'de olduğu belirlenmiştir. Küçük tepe noktaları yaklaşık 2925 cm^{-1} , 1410 cm^{-1} , 1240 cm^{-1} , 920 cm^{-1} ve 848 cm^{-1} 'de olduğu tespit edilmiştir. -OH gruplarına atfedilen yaklaşık 3284 cm^{-1} 'deki emilim bandı, film matrisini oluşturan bileşenlerle (protein-polisakkarit-plastikleştirici) ve NKE'deki polifenollerin varlığıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir (Vargas-Torrico ve ark., 2024). Yaklaşık 1640 cm^{-1} ve 1530 cm^{-1} 'deki bantlar, bu formülasyondaki bezelye protein izolatu ile ilişkili olabilecek amid gruplarına (amid I ve amid II) karşılık gelmiştir (Lui ve ark., 2024; Akman ve ark., 2021). Yaklaşık 1040 cm^{-1} 'deki majör bant, monosakkarit birimleri arasındaki glikozidik bağların gerilme titreşimlerini temsil eder. Bu bant, formülasyondaki psyllium müsilaj'ın polisakkaritleriyle ilişkili olabileceği düşünülmüştür (Araújo ve ark., 2018). Yaklaşık 2925 cm^{-1} 'deki küçük tepe, antisimetrik ve simetrik C-H gerilme titreşimlerine (amid B) karşılık gelir (Daei ve ark., 2022). Yaklaşık 1410 ve 1240 cm^{-1} 'deki küçük bantlar, Amid III'ün ($1400\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$) titreşimlerini temsil eder. 800 ila 1000 cm^{-1} aralığındaki zayıf tepeler, aromatik halkanın C=C ve C-H bağlarına karşılık gelir (Vargas-Torrico ve ark., 2024). Bu zayıf bantlar fenolik bileşenlere atfedilebilir ve psyllium müsilaj ve NKE'nin fenolikleriyle ilişkili olabileceği bildirilmiştir. (Nayak ve ark., 2024).

6. SONUÇLAR

Psyllium tohumu müsilajı esaslı nar kabuğu ekstraktı içeren yenilebilir filmlerin geliştirilmesi ve elde edilen bu filmlerin bazı fizikokimyasal, mekaniksel ve yapısal özelliklerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda ambalaj malzemesinde kullanılan NKE oranlarının malzemenin kalınlık, renk, nem, suda çözünürlük, ışık bariyer özelliği, gerilme direnci, su buharı geçirgenliği, FTIR, antioksidan aktivitesi ve toplam fenolik içerik analizleri yapılmıştır.

Farklı oranlarda NKE içeren yenilebilir filmlerin genel olarak, NKE konsantrasyonunun artması ile film kalınlığında belirli bir artışa yol açtığı saptanmıştır. Ayrıca NKE ilavesinin filmlerin kalınlık değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Filmlerin kalınlığı, mekanik, optik ve bariyer özelliklerini etkileyen kritik bir parametredir olduğu için bu özellikler, film hazırlama yöntemleri ve kurutma koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Yenilebilir filmlerde renk, filmin optik özelliklerini, gıdanın görünümünü etkilemede önemli bir rol oynadığı ve dolayısıyla da tüketici kabulünü etkilediği bakımından oldukça önemli bir özelliktir. Filmlerin renk değerlerinin belirtilmesinde a^* değeri kırmızı-yeşil olarak ifade edilmekte NKE miktarının artması ile birlikte yenilebilir film rengin de kırmızı renge doğru arttığı saptanmıştır. Benzer şekilde b^* değeri sarı-mavi olarak ifade edilmekte, yenilebilir filmlerde nar kabuğunun artması ile b^* değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Genel olarak renk doğruluğu ve kalite kontrolünde önemli bir parametredir olan ΔE değeri de NKE artmasıyla birlikte ΔE değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. NKE ile takviyenin filmlerin L^* , a^* , b^* ve ΔE değerleri üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($P \leq 0,05$). NKE konsantrasyonunun artması filmlerin koyuluğunu, sarısını ve kırmızı renk yoğunluklarını artırdığı belirlenmiştir.

NKE oranı arttıkça nem miktarının da arttığı, bu artışın NKE ekstraktının miktarı ile doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Bir başka ifadeyle NKE artması ile birlikte nemin tutulma kapasitesinin arttığı, NKE ekstraktının miktarına azalması ile nem tutulma kapasitesinin düştüğü belirlenmiştir. Yenilebilir filmlerin nem değerleri, NKE'nin dahil edilmesiyle önemli ölçüde etkilendiği saptanmıştır ($P \leq 0,05$).

Yenilebilir filmlerin biyolojik olarak parçalanabilirliğini belirleyen suda çözünürlük (SÇ) özellikleri NKE oranı arttıkça nem miktarının da arttığı, bu artışın,

NKE ekstraktının miktarı ile doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistiki değerlendirme de ise filmlerin SÇ değerleri, NKE eklenmesiyle önemli ölçüde ($P \leq 0.05$) etkilendiği saptanmıştır.

Yenilebilir filmlerin saydamlık durumunu gösteren opaklık, genel olarak NKE miktarı opaklık özelliğinin de arttığı görülmüştür. Bir başka ifadeyle NKE miktarının artmasıyla opaklık özelliği doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. NKE takviyesinin filmlerin opaklığı ve geçirgenlik değerleri üzerindeki etkisinin önemli olduğunu ortaya koymuştur ($P \leq 0.05$).

Çalışmamızda gerilme (uzama) direncinin farklı NKE konsantrasyonunda farklı davranışlar gösterdiği belirlenmiştir. Bunun nedenin nar kabuğundaki polifenoller, film matrisi içindeki bileşenler arasında çapraz bağların oluşumunu kolaylaştırarak filmin mukavemetini artırma potansiyeline sahip olduğunu ancak, bu bileşenler protein-protein etkileşimlerini bozabileceği ve sonuç olarak filmin mukavemetinde bir azalmaya yol açabileceği düşünülmüştür. NKE eklenmesinin filmlerin mekanik özellikleri üzerinde önemli ($P > 0.05$) bir etkiye sahip olmadığını istatistiki olarak belirlenmiştir.

Gıda maddelerinin paketleme sistemlerinde neme karşı etkili bariyerler, gıdanın raf ömrü boyunca kalitesinin korunması için esastır. Ayrıca su buharı geçirgenliği (SBG), gıdaların nem dengesini, tazeliğini ve mikrobiyal gelişimini kontrol etmek açısından kritik bir parametredir ve yenilebilir filmlerin bariyer özellikleri arasında sıkça incelenen bir özelliktir. Yenilebilir filmlere NKE eklenmesi ile filmlerin su buharı bariyer özelliklerini düşürdüğü, ancak, NKE konsantrasyonunu artırmak SBG özelliğinde önemli bir değişikliğe yol açmadığı tespit edilmiştir.

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), NKE içeren filmlerin FTIR spektrumlarında önemli bir değişiklik gözlenmediği ve benzer bir tepe deseni tespit edilmiştir.

NKE eklenmesinin hem DPPH süpürme aktivitesini hem de filmlerin TFM'sini önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir ($P \leq 0.05$).

7. ÖNERİLER

Elde edilen bu sonuçlar dikkate alındığında; gıdaların raf ömrünün artırılmasında kullanılan kimyasal koryuculara dayalı olası sağlık sorunlarının ve/veya bu yöndeki endişelerin azaltılmasında NKE esaslı musilaj filmlerin kullanımının bir alternatif olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte;

Opaklık değerlerinin artışı, gıdaların ışık kaynaklı bozulmalardan korunmasına önemli bir faktör olmaktadır. Bu nedenle, özellikle ışığa duyarlı gıda ürünleri için yüksek opaklık değerlerine sahip NKE tercih edilmesi ambalaj etkinliğini artırarak daha güvenli ve uzun süreli raf ömrü sağlanacaktır.

Yüksek TFM (toplam fenolik) değerleri, ambalajın antioksidan kapasitesinin arttığını için gıdaların raf ömrünü uzatmada kritik bir rol oynamaktadır. NKE kullanılarak gıdaların daha uzun süre raf ömrü sağlanabileceği düşünülmektedir.

Ambalaj malzemesinin NKE kullanılarak uygun renk ve parlaklık etkileri ile istenen estetik özelliklerine uygun ambalajların üretilmesi ile pazarlama ve tüketici kabulü sağlanabileceği düşünülmektedir.

Su buharı geçirgenliği ambalajın nem bariyer özelliklerinin güvenilirliği açısından kritik bir unsur teşkil edebilir. Dolayısıyla, bu durumu anlamak ve çözüm geliştirmek için daha fazla araştırma yapılması önerilmektedir.

Genel olarak, NKE oranlarının ambalaj malzemesinin çeşitli özellikleri üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bu etkilerin optimize edilmesi, gıdaların kalitesini, güvenliğini ve raf ömrünü artırabilir. NKE oranlarının belirli bir aralıkta tutulması, bu özelliklerin dengelenmesini sağlayarak, en uygun ambalaj malzemesinin elde edilmesine yardımcı olacaktır. Özellikle, anomalilerin daha detaylı incelenmesi ve optimum NKE konsantrasyonlarının belirlenmesi, ambalajın performansını artıracaktrabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akhtar, S., Ismail, T., Fraternali, D., & Sestili, P. (2015). Pomegranate peel and peel extracts: Chemistry and food features. *Food chemistry*, 174, 417-425.
- Hajivand, P., Aryanejad, S., Akbari, I., & Hemmati, A. (2020). Fabrication and Characterization Of A Promising Oregano-Extract/Psyllium-Seed Mucilage Edible Film For Food Packaging. *Journal Of Food Science*, 2481-2490.
- Hajivand, P., Aryanejad, S., Akbari, I., & Hemmati, A. (2020). Fabrication and Characterization Of A Promising Oregano-Extract/Psyllium-Seed Mucilage Edible Film For Food Packaging. *Journal Of Food Science*, 2481-2490.
- Sukhija S., S. Singh, C.S. Riar, (2018). Physical, mechanical, morphological, and barrier properties of elephant foot yam starch, whey protein concentrate and psyllium husk based composite biodegradable films, *Polym. Compos.* 39 E407–E415.
- Sukhija S., S. Singh, C.S. Riar, (2018). Physical, mechanical, morphological, and barrier properties of elephant foot yam starch, whey protein concentrate and psyllium husk based composite biodegradable films, *Polym. Compos.* 39 E407–E415.
- Akhtar, S., Ismail, T., Fraternali, D., & Sestili, P. (2015). Pomegranate peel and peel extracts: Chemistry and food features. *Food chemistry*, 174, 417-425.
- Akman, P. K., Bozkurt, F., Dogan, K., Tornuk, F., & Tamturk, F. (2021). Fabrication and characterization of probiotic *Lactobacillus plantarum* loaded sodium alginate edible films. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 84-92. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00619-6>
- Akman, P. K., Bozkurt, F., Dogan, K., Tornuk, F., & Tamturk, F. (2021). Fabrication and characterization of probiotic *Lactobacillus plantarum* loaded sodium alginate edible films. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 84-92. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00619-6>
- Al-Zoreky, N. S. (2009). Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit peels. *International journal of food microbiology*, 134(3), 244-248.
- Al-Zoreky, N. S. (2009). Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit peels. *International journal of food microbiology*, 134(3), 244-248.
- Arabshahi, S. S., And Sedaghati, M. (2022). Production of synbiotic Doogh enriched with *Plantago psyllium* mucilage. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05401-8>.
- Arabshahi, S. S., And Sedaghati, M. (2022). Production of synbiotic Doogh enriched with *Plantago psyllium* mucilage. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05401-8>.
- ASTM. Standard test methods for water vapor transmission of materials. American Society for Testing and Materials, E 96/E 96M; 1995.
- ASTM. Standard test methods for water vapor transmission of materials. American

Society for Testing and Materials, E 96/E 96M; 1995.

- Augusto, A., Dias, J. R., Campos, M. J., Alves, N. M., Pedrosa, R., & Silva, S. F. (2018). Influence of *Codium tomentosum* extract in the properties of alginate and chitosan edible films. *Foods*, 7(4), 53.
- Augusto, A., Dias, J. R., Campos, M. J., Alves, N. M., Pedrosa, R., & Silva, S. F. (2018). Influence of *Codium tomentosum* extract in the properties of alginate and chitosan edible films. *Foods*, 7(4), 53.
- Ayana, B. (2007). Antimikrobiyal Yenilebilir Filmlerin Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mersin, 60s.
- Ayana, B. (2007). Antimikrobiyal Yenilebilir Filmlerin Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mersin, 60s.
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food chemistry*, 99(1), 191-203.
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food chemistry*, 99(1), 191-203.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115386>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115386>
- Bertolo, M. R. V., Dias, L. D., De Oliveira Filho, J. G., Alves, F., Marangon, C. A., Martins, V. D. C. A., & Junior, S. B. (2022). Central composite design optimization of active and physical properties of food packaging films based on chitosan/gelatin/pomegranate peel extract. *Food Packaging and Shelf Life*, 34: 100986. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100986>
- Bertolo, M. R. V., Dias, L. D., De Oliveira Filho, J. G., Alves, F., Marangon, C. A., Martins, V. D. C. A., & Junior, S. B. (2022). Central composite design optimization of active and physical properties of food packaging films based on chitosan/gelatin/pomegranate peel extract. *Food Packaging and Shelf Life*, 34: 100986. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100986>
- Bozkurt, S., Altay, O., Koc, M., & Ertekin, F. K. (2023). Gıda Sistemlerinde Yenilebilir Filmler ve Kaplamalar. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 11(1), 1-9. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i1.1-9.5196>

- Bozkurt, S., Altay, O., Koc, M., & Ertekin, F. K. (2023). Gıda Sistemlerinde Yenilebilir Filmler ve Kaplamalar. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 11(1), 1-9. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i1.1-9.5196>
- Buyuksırt, T., & Kuleasan, H. (2014). Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve gıda analizlerinde kullanımı. *Gıda*, 39(4), 235-241.
- Buyuksırt, T., & Kuleasan, H. (2014). Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve gıda analizlerinde kullanımı. *Gıda*, 39(4), 235-241.
- Can Karaca, A. (2020). Encapsulation of black pepper seed oil using maltodextrin and pea protein. *Food Science and Technology International*, 26(5), 369-378.
- Can Karaca, A. (2020). Encapsulation of black pepper seed oil using maltodextrin and pea protein. *Food Science and Technology International*, 26(5), 369-378.
- Cao, Z., Wang, H., Feng, T., Cui, C., Yang, F., & Yu, C. (2024). Advancing soy protein isolate-ulvan film physicochemical properties and antioxidant activities through strategic high-pressure homogenization technique. *Industrial Crops and Products*, 215, 118704. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118704>
- Cao, Z., Wang, H., Feng, T., Cui, C., Yang, F., & Yu, C. (2024). Advancing soy protein isolate-ulvan film physicochemical properties and antioxidant activities through strategic high-pressure homogenization technique. *Industrial Crops and Products*, 215, 118704. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118704>
- Ceylan, H. G., & Atasoy, A. F. (2022). Lactobacillus rhamnosus gg ve bifidobacterium bifidum bb-12 içeren yenilebilir filmlerin karakterizasyonu. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(16), 194-203.
- Ceylan, H. G., & Atasoy, A. F. (2022). Lactobacillus rhamnosus gg ve bifidobacterium bifidum bb-12 içeren yenilebilir filmlerin karakterizasyonu. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(16), 194-203.
- Ceylan, H.G., & Atasoy, A.F. (2022). Optimization and characterization of prebiotic concentration of edible films containing Bifidobacterium animalis subsp. lactis BB-12® and its application to block type processed cheese. *International Dairy Journal*, 134: 105443. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105443>
- Ceylan, H.G., & Atasoy, A.F. (2022). Optimization and characterization of prebiotic concentration of edible films containing Bifidobacterium animalis subsp. lactis BB-12® and its application to block type processed cheese. *International Dairy Journal*, 134: 105443. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105443>
- Cha, D. S., & Chinnan, M. S. (2004). Biopolymer-based antimicrobial packaging: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 44(4), 223-237.
- Cha, D. S., & Chinnan, M. S. (2004). Biopolymer-based antimicrobial packaging: a

review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 44(4), 223-237.

- Chavoshi, F., Dıdar, Z., Vazıfedoost, M., Shahıdı Noghabı, M., & Zendehtdel, A. (2022). P syllium seed gum films loading *Oliveria decumbens* essential oil encapsulated in nanoliposomes: preparation and characterization. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(6), 4318-4330.
- Chavoshi, F., Dıdar, Z., Vazıfedoost, M., Shahıdı Noghabı, M., & Zendehtdel, A. (2022). P syllium seed gum films loading *Oliveria decumbens* essential oil encapsulated in nanoliposomes: preparation and characterization. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(6), 4318-4330.
- Cheng, J., & Cui, L. (2021). Effects of high-intensity ultrasound on the structural, optical, mechanical and physicochemical properties of pea protein isolate-based edible film. *Ultrasonics Sonochemistry*, 80, 105809.
- Cheng, J., & Cui, L. (2021). Effects of high-intensity ultrasound on the structural, optical, mechanical and physicochemical properties of pea protein isolate-based edible film. *Ultrasonics Sonochemistry*, 80, 105809.
- Chong, K. Y., Yuryev, Y., Jain, A., Mason, B., & Brooks, M. S. L. (2021). Development of pea protein films with haskap (*Lonicera caerulea*) leaf extracts from aqueous two-phase systems. *Food and Bioprocess Technology*, 14(9), 1733-1750. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02671-6>
- Chong, K. Y., Yuryev, Y., Jain, A., Mason, B., & Brooks, M. S. L. (2021). Development of pea protein films with haskap (*Lonicera caerulea*) leaf extracts from aqueous two-phase systems. *Food and Bioprocess Technology*, 14(9), 1733-1750. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02671-6>
- Ciurzyńska, A., Janowicz, M., Karwacka, M., Nowacka, M., & Galus, S. (2024). Development and characteristics of protein edible film derived from pork gelatin and beef broth. *Polymers*, 16(7), 1009. <https://doi.org/10.3390/polym16071009>
- Ciurzyńska, A., Janowicz, M., Karwacka, M., Nowacka, M., & Galus, S. (2024). Development and characteristics of protein edible film derived from pork gelatin and beef broth. *Polymers*, 16(7), 1009. <https://doi.org/10.3390/polym16071009>
- Daei, S., Mohtarami, F., & Pirsai, S. (2022). A biodegradable film based on carrageenan gum/*Plantago psyllium* mucilage/red beet extract: physicochemical properties, biodegradability and water absorption kinetic. *Polymer Bulletin*, 79(12), 11317-11338. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-04067-0>
- Daei, S., Mohtarami, F., & Pirsai, S. (2022). A biodegradable film based on carrageenan gum/*Plantago psyllium* mucilage/red beet extract: physicochemical properties, biodegradability and water absorption kinetic. *Polymer Bulletin*, 79(12), 11317-11338. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-04067-0>

- Dai, L., Li, R., Liang, Y., Liu, Y., Zhang, W., & Shi, S. (2022). Development of pomegranate peel extract and nano ZnO co-reinforced polylactic acid film for active food packaging. *Membranes*, 12(11), 1108. <https://doi.org/10.3390/membranes12111108>
- Dai, L., Li, R., Liang, Y., Liu, Y., Zhang, W., & Shi, S. (2022). Development of pomegranate peel extract and nano ZnO co-reinforced polylactic acid film for active food packaging. *Membranes*, 12(11), 1108. <https://doi.org/10.3390/membranes12111108>
- Devlieghere, F., Vermeiren, L., & Debevere, J. (2004). New preservation technologies: possibilities and limitations. *International dairy journal*, 14(4), 273-285.
- Devlieghere, F., Vermeiren, L., & Debevere, J. (2004). New preservation technologies: possibilities and limitations. *International dairy journal*, 14(4), 273-285.
- El-Said, M. M., Haggag, H. F., El-Din, H. M. F., Gad, A. S., & Farahat, A. M. (2014). Antioxidant activities and physical properties of stirred yoghurt fortified with pomegranate peel extracts. *Annals of Agricultural Sciences*, 59(2), 207-212.
- El-Said, M. M., Haggag, H. F., El-Din, H. M. F., Gad, A. S., & Farahat, A. M. (2014). Antioxidant activities and physical properties of stirred yoghurt fortified with pomegranate peel extracts. *Annals of Agricultural Sciences*, 59(2), 207-212.
- Elçı, G., Ağbuga, B., Işık, U., & Oztop, E. (2013). İmgeleme çalışmasının 9-13 yaş yüzme sporcularında beceri gelişimine etkisinin incelenmesi. *Pamukkale Journal of Sport Sciences*, 4(3).
- Elçı, G., Ağbuga, B., Işık, U., & Oztop, E. (2013). İmgeleme çalışmasının 9-13 yaş yüzme sporcularında beceri gelişimine etkisinin incelenmesi. *Pamukkale Journal of Sport Sciences*, 4(3).
- Emam-Djomeh, Z., Moghaddam, A., & Yasını Ardakani, S. A. (2015). Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extract, physical, mechanical, barrier and antimicrobial properties of pomegranate peel extract-incorporated sodium caseinate film and application in packaging for ground beef. *Packaging Technology and Science*, 28(10), 869-881. <https://doi.org/10.1002/pts.2145>
- Emam-Djomeh, Z., Moghaddam, A., & Yasını Ardakani, S. A. (2015). Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extract, physical, mechanical, barrier and antimicrobial properties of pomegranate peel extract-incorporated sodium caseinate film and application in packaging for ground beef. *Packaging Technology and Science*, 28(10), 869-881. <https://doi.org/10.1002/pts.2145>
- Emam-Djomeh, Z., Moghaddam, A., & Yasini Ardakani, S. A. (2015). Antimicrobial

- activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extract, physical, mechanical, barrier and antimicrobial properties of pomegranate peel extract-incorporated sodium caseinate film and application in packaging for ground beef. *Packaging Technology and Science*, 28(10), 869-881.
- Emam-Djomeh, Z., Moghaddam, A., & Yasini Ardakani, S. A. (2015). Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extract, physical, mechanical, barrier and antimicrobial properties of pomegranate peel extract-incorporated sodium caseinate film and application in packaging for ground beef. *Packaging Technology and Science*, 28(10), 869-881.
- Falguera, V., Quintero, J.P., Jiménez, A., Muñoz, J.A., & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, 22(6), 292-303.
- Falguera, V., Quintero, J.P., Jiménez, A., Muñoz, J.A., & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, 22(6), 292-303.
- Farshi, P., Mirmohammadali, S. N., Rajpurohit, B., Smith, J. S., & Li, Y. (2023). Pea protein and starch: Functional properties and applications in edible films. *Journal of Agriculture and Food Research*, 100927.
- Farshi, P., Mirmohammadali, S. N., Rajpurohit, B., Smith, J. S., & Li, Y. (2023). Pea protein and starch: Functional properties and applications in edible films. *Journal of Agriculture and Food Research*, 100927.
- Ganorkar, P. M., & Jain, R. K. (2014). Effect of flaxseed incorporation on physical, sensorial, textural and chemical attributes of cookies. *International Food Research Journal*, 21(4).
- Ganorkar, P. M., & Jain, R. K. (2014). Effect of flaxseed incorporation on physical, sensorial, textural and chemical attributes of cookies. *International Food Research Journal*, 21(4).
- 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.
- 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.
- Ghasemian, A., Mehrabian, S., & Majd, A. (2006). Peel extracts of two Iranian cultivars of pomegranate (*Punica granatum*) have antioxidant and antimutagenic activities, 9(7), 1402-1405.
- Ghasemian, A., Mehrabian, S., & Majd, A. (2006). Peel extracts of two Iranian cultivars of pomegranate (*Punica granatum*) have antioxidant and antimutagenic activities, 9(7), 1402-1405.

- Gheribi, R., Gharbi, M.A., El Ouni, M., Khwaldia, K. (2019). Enhancement of the physical, mechanical and thermal properties of cactus mucilage films by blending with polyvinyl alcohol. *Food Packag Shelf Life*, 22, 100386, <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100386>
- Gheribi, R., Gharbi, M.A., El Ouni, M., Khwaldia, K. (2019). Enhancement of the physical, mechanical and thermal properties of cactus mucilage films by blending with polyvinyl alcohol. *Food Packag Shelf Life*, 22, 100386, <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100386>
- González, J., & Andrés, S. (2003). Rumen degradability of some feed legume seeds. *Animal Research*, 52(1), 17-25.
- González, J., & Andrés, S. (2003). Rumen degradability of some feed legume seeds. *Animal Research*, 52(1), 17-25.
- Guillard, V., Broyart, B., Bonazzi, C., Guilbert, S., & Gontard, N. (2003). Preventing moisture transfer in a composite food using edible films: Experimental and mathematical study. *Journal of food Science*, 68(7), 2267-2277.
- Guillard, V., Broyart, B., Bonazzi, C., Guilbert, S., & Gontard, N. (2003). Preventing moisture transfer in a composite food using edible films: Experimental and mathematical study. *Journal of food Science*, 68(7), 2267-2277.
- 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.
- 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.
- Gumus, S. (2021). Yağı azaltılmış dondurma üretiminde yağ ikamesi ve stabilizatör olarak plantago ovata (karnıyarık otu)'dan yararlanma olanakları. Yüksek Lisans Tezi. Şanlıurfa: Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gumus, S. (2021). Yağı azaltılmış dondurma üretiminde yağ ikamesi ve stabilizatör olarak plantago ovata (karnıyarık otu)'dan yararlanma olanakları. Yüksek Lisans Tezi. Şanlıurfa: Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Guo, F. Q., Okamoto, M., & Crawford, N. M. (2003). Identification of a plant nitric oxide synthase gene involved in hormonal signaling. *Science*, 302(5642), 100-103.
- Guo, F. Q., Okamoto, M., & Crawford, N. M. (2003). Identification of a plant nitric oxide synthase gene involved in hormonal signaling. *Science*, 302(5642), 100-103.
- Hajirostamloo, B., Molaveisi, M. & Dehnad, D. (2022). Structural, nutritional and antimicrobial properties of soy protein isolate and *Alyssum homolocarpum* seed gum films containing carrot seed and pomegranate peel extracts. *Journal*

- of Food Measurement and Characterization, 16(5), 3651-3659.
<https://doi.org/10.1007/s11694-022-01471-6>
- Hajirostamloo, B., Molaveisi, M. & Dehnad, D. (2022). Structural, nutritional and antimicrobial properties of soy protein isolate and *Alyssum homolocarpum* seed gum films containing carrot seed and pomegranate peel extracts. Journal of Food Measurement and Characterization, 16(5), 3651-3659.
<https://doi.org/10.1007/s11694-022-01471-6>
- Hamed, I., Jakobsen, A. N., & Lerfall, J. (2022). Sustainable edible packaging systems based on active compounds from food processing byproducts: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 21(1), 198-226.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12870>
- Hamed, I., Jakobsen, A. N., & Lerfall, J. (2022). Sustainable edible packaging systems based on active compounds from food processing byproducts: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 21(1), 198-226.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12870>
- Hammam, A. R. A. (2019). Technological, Applications, And Characteristics Of Edible Films And Coatings: A Review. Sn Applied Sciences, 1(6), 1-11.
- Hammam, A. R. A. (2019). Technological, Applications, And Characteristics Of Edible Films And Coatings: A Review. Sn Applied Sciences, 1(6), 1-11.
- Hananı, Z. N., Yee, F. C., & Nor-Khaizura, M. A. R. (2019). Effect of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel powder on the antioxidant and antimicrobial properties of fish gelatin films as active packaging. Food Hydrocolloids, 89, 253-259. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.007>
- Hananı, Z. N., Yee, F. C., & Nor-Khaizura, M. A. R. (2019). Effect of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel powder on the antioxidant and antimicrobial properties of fish gelatin films as active packaging. Food Hydrocolloids, 89, 253-259. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.007>
- He, L., Lan, W., Ahmed, S., Qin, W., 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, <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100390>
- He, L., Lan, W., Ahmed, S., Qin, W., 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, <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100390>
- Hopkins, E. J., Stone, A. K., Wang, J., Korber, D. R., & Nickerson, M. T. (2019). Effect of glycerol on the physicochemical properties of films based on legume protein concentrates: A comparative study. Journal of texture studies, 50(6), 539-546.)
- Hopkins, E. J., Stone, A. K., Wang, J., Korber, D. R., & Nickerson, M. T. (2019). Effect of glycerol on the physicochemical properties of films based on legume

- protein concentrates: A comparative study. *Journal of texture studies*, 50(6), 539-546.)
- Icyer, N. C., & Durak, M. Z. (2020). Bitkisel yağlarda taşıyıcı belirleme metotları: fourier dönüşümlü kızılötesi (ftir) spektroskopisi. *Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi/Journal of Halal and Ethical Research*. 1(2), 138-149.
- Icyer, N. C., & Durak, M. Z. (2020). Bitkisel yağlarda taşıyıcı belirleme metotları: fourier dönüşümlü kızılötesi (ftir) spektroskopisi. *Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi/Journal of Halal and Ethical Research*. 1(2), 138-149.
- İkinci, A., Dursun, E., & Karaogul, E. (2021). Şanlıurfa’da yetiştirilen bazı nar (*Punica granatum* L.) çeşitlerinin fenolik bileşenleri ve antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 31(3), 699-709.
- İkinci, A., Dursun, E., & Karaogul, E. (2021). Şanlıurfa’da yetiştirilen bazı nar (*Punica granatum* L.) çeşitlerinin fenolik bileşenleri ve antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 31(3), 699-709.
- Ismail, T., Sestili, P., & Akhtar, S. (2012). Pomegranate peel and fruit extracts: a review of potential anti-inflammatory and anti-infective effects. *Journal of ethnopharmacology*, 143(2), 397-405.
- Ismail, T., Sestili, P., & Akhtar, S. (2012). Pomegranate peel and fruit extracts: a review of potential anti-inflammatory and anti-infective effects. *Journal of ethnopharmacology*, 143(2), 397-405.
- Kaderides, K., Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2015). A process for turning pomegranate peels into a valuable food ingredient using ultrasound-assisted extraction and encapsulation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 31, 204-215.
- Kaderides, K., Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2015). A process for turning pomegranate peels into a valuable food ingredient using ultrasound-assisted extraction and encapsulation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 31, 204-215.
- Kanatt, S. R., Rao, M. S., Chawla, S. P., & Sharma, A. (2012). Active chitosan–polyvinyl alcohol films with natural extracts. *Food hydrocolloids*, 29(2), 290-297.
- Kanatt, S. R., Rao, M. S., Chawla, S. P., & Sharma, A. (2012). Active chitosan–polyvinyl alcohol films with natural extracts. *Food hydrocolloids*, 29(2), 290-297.
- Kanmani, P., & Lim, S. T. (2013). Development and characterization of novel probiotic-residing pullulan/starch edible films. *Food chemistry*, 141(2), 1041-1049.
- Kanmani, P., & Lim, S. T. (2013). Development and characterization of novel probiotic-residing pullulan/starch edible films. *Food chemistry*, 141(2),

1041-1049.

- Kerry, J. P., O'grady, M. N., & Hogan, S. A. (2006). Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat science*, 74(1), 113-130.
- Kerry, J. P., O'grady, M. N., & Hogan, S. A. (2006). Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat science*, 74(1), 113-130.
- Khalil, R. K., Abdelrahim, D. S., & Khattab, S. A. (2024). Sustainable utilization of valorized agro-wastes for active and intelligent packaging of processed meats. *Food Hydrocolloids*, 150, 109660. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109660>
- Khalil, R. K., Abdelrahim, D. S., & Khattab, S. A. (2024). Sustainable utilization of valorized agro-wastes for active and intelligent packaging of processed meats. *Food Hydrocolloids*, 150, 109660. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109660>
- Kowalczyk, D., Gustaw, W., Świeca, M., & Baraniak, B. (2014). A study on the mechanical properties of pea protein isolate films. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(4), 1726-1736.
- Kowalczyk, D., Gustaw, W., Świeca, M., & Baraniak, B. (2014). A study on the mechanical properties of pea protein isolate films. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(4), 1726-1736.
- Kowalczyk, D., Gustaw, W., Świeca, M., & Baraniak, B. (2014). A study on the mechanical properties of pea protein isolate films. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(4), 1726-1736.
- Kowalczyk, D., Gustaw, W., Świeca, M., & Baraniak, B. (2014). A study on the mechanical properties of pea protein isolate films. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(4), 1726-1736.
- Kowalczyk, D., Gustaw, W., Zięba, E., Lisiecki, S., Stadnik, J., & Baraniak, B. (2016). Microstructure and functional properties of sorbitol-plasticized pea protein isolate emulsion films: Effect of lipid type and concentration. *Food Hydrocolloids*, 60, 353-363. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.006>
- Kowalczyk, D., Gustaw, W., Zięba, E., Lisiecki, S., Stadnik, J., & Baraniak, B. (2016). Microstructure and functional properties of sorbitol-plasticized pea protein isolate emulsion films: Effect of lipid type and concentration. *Food Hydrocolloids*, 60, 353-363. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.006>
- Krochta, J. M. (2002). *Protein-Based Films and Coatings*. CRC Press, Boca Raton.
- Krochta, J. M. (2002). *Protein-Based Films and Coatings*. CRC Press, Boca Raton.
- Kuan, Y. L., Sivanasvaran, S. N., Pui, L. P., Yusof, Y. A., & Senphan, T. (2020). Physicochemical Properties of Sodium Alginate Edible Film Incorporated with Mulberry (*Morus australis*) Leaf Extract. *Pertanika Journal of Tropical*

Agricultural Science, 43(3).

- Kučka, M., Ražná, K., Harenčár, Ľ., & Kolarovičová, T. (2022). Plant seed mucilage—Great potential for sticky matter. *Nutraceuticals*, 2(4), 253-269. <https://doi.org/10.3390/nutraceuticals2040019>
- Kuan, Y. L., Sivanasvaran, S. N., Pui, L. P., Yusof, Y. A., & Senphan, T. (2020). Physicochemical Properties of Sodium Alginate Edible Film Incorporated with Mulberry (*Morus australis*) Leaf Extract. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 43(3).
- Kučka, M., Ražná, K., Harenčár, Ľ., & Kolarovičová, T. (2022). Plant seed mucilage—Great potential for sticky matter. *Nutraceuticals*, 2(4), 253-269. <https://doi.org/10.3390/nutraceuticals2040019>
- Kumar, N., Danilowski, D., D'cunha, N. M., Naumovski, N., & Petkoska, A. T. (2022). Pomegranate peel extract—A natural bioactive addition to novel active edible packaging. *Food Research International*, 156, 111378. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111378>
- Kumar, N., Danilowski, D., D'cunha, N. M., Naumovski, N., & Petkoska, A. T. (2022). Pomegranate peel extract—A natural bioactive addition to novel active edible packaging. *Food Research International*, 156, 111378. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111378>
- Kumar, N., Ojha A., Singh R. (2019). Preparation and characterization of chitosan—Pullulan blended edible films enrich with pomegranate peel extract. *React. Funct. Polym.* 144,104350.
- Kumar, N., Ojha A., Singh R. (2019). Preparation and characterization of chitosan—Pullulan blended edible films enrich with pomegranate peel extract. *React. Funct. Polym.* 144,104350.
- Kumar, N., Pratibha, Trajkovska Petkoska, A., Khojah, E., Sami, R., & Al-Mushhin, A. A. (2021). Chitosan edible films enhanced with pomegranate peel extract: Study on physical, biological, thermal, and barrier properties. *Materials*, 14(12), 3305.
- Kumar, N., Pratibha, Trajkovska Petkoska, A., Khojah, E., Sami, R., & Al-Mushhin, A. A. (2021). Chitosan edible films enhanced with pomegranate peel extract: Study on physical, biological, thermal, and barrier properties. *Materials*, 14(12), 3305.
- Kumar, N., Trajkovska, A., Khojah, E., Sami, R., Al-Mushhin, A.A.M. (2021). Chitosan Edible Films Enhanced with Pomegranate Peel Extract: Study on Physical, Biological, Thermal, and Barrier Properties. *Materials*, 14, 3305. <https://doi.org/10.3390/ma14123305>
- Kumar, N., Trajkovska, A., Khojah, E., Sami, R., Al-Mushhin, A.A.M. (2021). Chitosan Edible Films Enhanced with Pomegranate Peel Extract: Study on Physical, Biological, Thermal, and Barrier Properties. *Materials*, 14, 3305. <https://doi.org/10.3390/ma14123305>

- Kumari, M., Mahajan, H., Joshi, R., & Gupta, M. (2017). Development and structural characterization of edible films for improving fruit quality. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 42-50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.02.003>
- Kumari, M., Mahajan, H., Joshi, R., & Gupta, M. (2017). Development and structural characterization of edible films for improving fruit quality. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 42-50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.02.003>
- LÓPEZ-DÍAZ, A.S. And MÉNDEZ-LAGUNAS, L.L. (2022). Mucilage-Based Films for Food Applications. *Food Reviews International*, 39(9), 6677–6706. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2123501>
- LÓPEZ-DÍAZ, A.S. And MÉNDEZ-LAGUNAS, L.L. (2022). Mucilage-Based Films for Food Applications. *Food Reviews International*, 39(9), 6677–6706. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2123501>
- Li, Y., Guo, C., Yang, J., Wei, J., Xu, J., & Cheng, S. (2006). Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract. *Food chemistry*, 96(2), 254-260.
- Li, Y., Guo, C., Yang, J., Wei, J., Xu, J., & Cheng, S. (2006). Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract. *Food chemistry*, 96(2), 254-260.
- Linares-Castañeda, A., Sánchez-Chino, X.M., Yolanda De Las Mercedes Gómez Y Gómez, Jiménez-Martínez, C., Martínez Herrera, J., Cid-Gallegos, M. S. & Corzo-Ríos, L.J. (2023). Cereal and legume protein edible films: a sustainable alternative to conventional food packaging. *International Journal of Food Properties*, 26(2), 3197-3213. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2267785>
- Linares-Castañeda, A., Sánchez-Chino, X.M., Yolanda De Las Mercedes Gómez Y Gómez, Jiménez-Martínez, C., Martínez Herrera, J., Cid-Gallegos, M. S. & Corzo-Ríos, L.J. (2023). Cereal and legume protein edible films: a sustainable alternative to conventional food packaging. *International Journal of Food Properties*, 26(2), 3197-3213. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2267785>
- Liu, J. H., Al-Namazi, A. A., & Wan, J. S. (2024). Plants generally suffer less enemy damage and are more defended in a copper mine than in a closely adjacent site. *South African Journal of Botany*, 171, 164-172.
- Liu, J. H., Al-Namazi, A. A., & Wan, J. S. (2024). Plants generally suffer less enemy damage and are more defended in a copper mine than in a closely adjacent site. *South African Journal of Botany*, 171, 164-172.
- Liu, S., Qiao, S., Zhu, J., Yang, Y., Chen, H., Dai, H., & Wang, H. (2024). Enhanced barrier and antioxidant properties of gelatin films by structural-colored bioactive materials for food packaging. *Food Hydrocolloids*, 150, 109744.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109744>

- Liu, S., Qiao, S., Zhu, J., Yang, Y., Chen, H., Dai, H., & Wang, H. (2024). Enhanced barrier and antioxidant properties of gelatin films by structural-colored bioactive materials for food packaging. *Food Hydrocolloids*, 150, 109744. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109744>
- Machado, J. C., Figueiredo, C., Canedo, P., Pharoah, P., Carvalho, R., Nabais, S., & Sobrinho-Simões, M. (2003). A proinflammatory genetic profile increases the risk for chronic atrophic gastritis and gastric carcinoma. *Gastroenterology*, 125(2), 364-371.
- Machado, J. C., Figueiredo, C., Canedo, P., Pharoah, P., Carvalho, R., Nabais, S., & Sobrinho-Simões, M. (2003). A proinflammatory genetic profile increases the risk for chronic atrophic gastritis and gastric carcinoma. *Gastroenterology*, 125(2), 364-371.
- Maphetu, N., Unuofin, J. O., Masuku, N. P., Olisah, C., & Lebelo, S. L. (2022). Medicinal uses, pharmacological activities, phytochemistry, and the molecular mechanisms of *Punica granatum* L.(pomegranate) plant extracts: A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 153, 113256. [10.1016/j.biopha.2022.113256](https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113256).
- Maphetu, N., Unuofin, J. O., Masuku, N. P., Olisah, C., & Lebelo, S. L. (2022). Medicinal uses, pharmacological activities, phytochemistry, and the molecular mechanisms of *Punica granatum* L.(pomegranate) plant extracts: A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 153, 113256. [10.1016/j.biopha.2022.113256](https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113256).
- Masood, R. And Miraftab, M. (2010). *Psyllium: current and future applications*. In *Medical and Healthcare Textiles* (pp. 244-253). Woodhead Publishing.
- Masood, R. And Miraftab, M. (2010). *Psyllium: current and future applications*. In *Medical and Healthcare Textiles* (pp. 244-253). Woodhead Publishing.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105735>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105735>
- Mohamed, S. A., El-Sakhawy, M., & El-Sakhawy, M. A. M. (2020). Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review. *Carbohydrate polymers*, 238, 116178. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178>
- Mohamed, S. A., El-Sakhawy, M., & El-Sakhawy, M. A. M. (2020). Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food

- packaging: A review. *Carbohydrate polymers*, 238, 116178.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178>
- Montalvo-Paquini, C., Rangel-Marrón, M., Palou, E. & López-Malo, A. (2014). Physical and chemical properties of edible films from faba bean protein. *cellulose*, 8, 125-131.
- Montalvo-Paquini, C., Rangel-Marrón, M., Palou, E. & López-Malo, A. (2014). Physical and chemical properties of edible films from faba bean protein. *cellulose*, 8, 125-131.
- More, P. R., Pegu, K., & Arya, S. S. (2022). Development and characterization of taro starch-casein composite bioactive films functionalized by micellar pomegranate peel extract (MPPE). *International Journal of Biological Macromolecules*, 220, 1060-1071.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.147>
- More, P. R., Pegu, K., & Arya, S. S. (2022). Development and characterization of taro starch-casein composite bioactive films functionalized by micellar pomegranate peel extract (MPPE). *International Journal of Biological Macromolecules*, 220, 1060-1071.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.147>
- Munir, S., Hu, Y., Liu, Y., & Xiong, S. (2019). Enhanced properties of silver carp surimi-based edible films incorporated with pomegranate peel and grape seed extracts under acidic condition. *Food Packaging and Shelf Life*, 19, 114-120.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.12.001>
- Munir, S., Hu, Y., Liu, Y., & Xiong, S. (2019). Enhanced properties of silver carp surimi-based edible films incorporated with pomegranate peel and grape seed extracts under acidic condition. *Food Packaging and Shelf Life*, 19, 114-120.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.12.001>
- Mushtaq, M., Gani, A., Gani, A., Punoo, H. A., & Masoodi, F. A. (2018). Use of pomegranate peel extract incorporated zein film with improved properties for prolonged shelf life of fresh Himalayan cheese (Kalari/kradi). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, 25-32.)
- Mushtaq, M., Gani, A., Gani, A., Punoo, H.A., & Masoodi, F.A. (2018). Use of pomegranate peel extract incorporated zein film with improved properties for prolonged shelf life of fresh Himalayan cheese (Kalari/kradi). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, 25-32.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.04.020>
- Mushtaq, M., Gani, A., Gani, A., Punoo, H. A., & Masoodi, F. A. (2018). Use of pomegranate peel extract incorporated zein film with improved properties for prolonged shelf life of fresh Himalayan cheese (Kalari/kradi). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, 25-32.)
- Mushtaq, M., Gani, A., Gani, A., Punoo, H.A., & Masoodi, F.A. (2018). Use of pomegranate peel extract incorporated zein film with improved properties for

- prolonged shelf life of fresh Himalayan cheese (Kalari/kradi). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, 25-32.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.04.020>
- Nayak, B., Jain, P., Kumar, L., Mishra, A. A. & Gaikwad, K. K. (2024). UV blocking edible films based on corn starch/moringa gum incorporated with pine cone extract for sustainable food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 267, 131545.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131545>
- Nayak, B., Jain, P., Kumar, L., Mishra, A. A. & Gaikwad, K. K. (2024). UV blocking edible films based on corn starch/moringa gum incorporated with pine cone extract for sustainable food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 267, 131545.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131545>
- Nehra, A., Biswas, D., Siracusa, V., & Roy, S. (2022). Natural gum-based functional bioactive films and coatings: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(1), 485.
- Nehra, A., Biswas, D., Siracusa, V., & Roy, S. (2022). Natural gum-based functional bioactive films and coatings: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(1), 485.
- Nourı, L., & Nafchı, A.M. (2014). Antibacterial, mechanical, and barrier properties of sago starch film incorporated with betel leaves extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 66: 254-259.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.02.044>
- Nourı, L., & Nafchı, A.M. (2014). Antibacterial, mechanical, and barrier properties of sago starch film incorporated with betel leaves extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 66: 254-259.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.02.044>
- Okumus, G., Yıldız, E., & Bayizid, A. A. (2015). Doğal antioksidan bileşikler: Nar yan ürünlerinin antioksidan olarak değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2).
- Okumus, G., Yıldız, E., & Bayizid, A. A. (2015). Doğal antioksidan bileşikler: Nar yan ürünlerinin antioksidan olarak değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2).
- Olawuyi, I. F., Kim, S. R., & Lee, W. Y. (2021). Application of plant mucilage polysaccharides and their techno-functional properties' modification for fresh produce preservation. *Carbohydrate Polymers*, 272, 118371.
- Olawuyi, I. F., Kim, S. R., & Lee, W. Y. (2021). Application of plant mucilage polysaccharides and their techno-functional properties' modification for fresh produce preservation. *Carbohydrate Polymers*, 272, 118371.
- Orozco-Parra, J., Mejía, C.M., Villa, C. C. (2020). Development of a bioactive synbiotic edible film based on cassava starch, inulin, and *Lactobacillus casei*.

Food Hydrocolloids;104,105754.

- Orozco-Parra, J., Mejía, C.M., Villa, C. C. (2020). Development of a bioactive synbiotic edible film based on cassava starch, inulin, and *Lactobacillus casei*. Food Hydrocolloids;104,105754.
- Osama M. M., Omayma, S., Wafaa A. A., Thanaa M., Ezz, A. M., (2019) Evaluation of Bioactive Compounds in Pomegranate Fruit Parts as an Attempt for Their Application as an Active Edible Film. Journal of Biomaterials. Vol. 3, No. 1, 2019, pp. 7-17. <https://doi:10.11648/j.jb.20190301.12>
- Osama M. M., Omayma, S., Wafaa A. A., Thanaa M., Ezz, A. M., (2019) Evaluation of Bioactive Compounds in Pomegranate Fruit Parts as an Attempt for Their Application as an Active Edible Film. Journal of Biomaterials. Vol. 3, No. 1, 2019, pp. 7-17. <https://doi:10.11648/j.jb.20190301.12>
- OZ, A.T., And KAFKAS, E., (2017). Phytochemicals in fruits and vegetables. Waisundara V. Superfood and functional food.London: IntechOpen, p175-184.
- OZ, A.T., And KAFKAS, E., (2017). Phytochemicals in fruits and vegetables. Waisundara V. Superfood and functional food.London: IntechOpen, p175-184.
- Ozdemir, M., And Floros, J. D. (2004). Active food packaging technologies. Critical reviews in food science and nutrition, 44(3), 185-193.
- Ozdemir, M., And Floros, J. D. (2004). Active food packaging technologies. Critical reviews in food science and nutrition, 44(3), 185-193.
- Ozkal, N. & Dinç, S. 1993. *Punica granatum L.* (Nar) Bitkisinin Kimyasal Bileşimi Ve Biyolojik Aktiviteleri, Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi, 22, 1-2.
- Ozkal, N. & Dinç, S. 1993. *Punica granatum L.* (Nar) Bitkisinin Kimyasal Bileşimi Ve Biyolojik Aktiviteleri, Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi, 22, 1-2.
- PÉREZ-GAGO, M.B., And KROCHTA, J. M. (2001). Lipid particle size effect on water vapor permeability and mechanical properties of whey protein/beeswax emulsion films. Journal of agricultural and food chemistry, 49(2), 996-1002.
- PÉREZ-GAGO, M.B., And KROCHTA, J. M. (2001). Lipid particle size effect on water vapor permeability and mechanical properties of whey protein/beeswax emulsion films. Journal of agricultural and food chemistry, 49(2), 996-1002.
- Petkoska, A. T., Daniloski, D., D'cunha, N.M., Naumovsk1, N. & Broach, A. T. (2021). Edible packaging: Sustainable solutions and novel trends in food packaging. Food Research International, 140, 109981. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109981>
- Petkoska, A. T., Daniloski, D., D'cunha, N.M., Naumovsk1, N. & Broach, A. T. (2021). Edible packaging: Sustainable solutions and novel trends in food packaging. Food Research International, 140, 109981. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109981>

- Quintavalla, S., & Vicini, L. (2002). Antimicrobial food packaging in meat industry. *Meat science*, 62(3), 373-380. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00121-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00121-3)
- Quintavalla, S., & Vicini, L. (2002). Antimicrobial food packaging in meat industry. *Meat science*, 62(3), 373-380. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00121-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00121-3)
- Raghav, P. K., Agarwal, N., And Saini, M. (2016). Edible coating of fruits and vegetables: A review. *International journal of scientific research and modern education*, 1(1), 188-204.
- Raghav, P. K., Agarwal, N., And Saini, M. (2016). Edible coating of fruits and vegetables: A review. *International journal of scientific research and modern education*, 1(1), 188-204.
- Robertson, G. L. (2013). Edible, biobased and biodegradable food packaging materials. *Food packaging principles and practice*, 3rd ed, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York, 49-90.
- Robertson, G. L. (2013). Edible, biobased and biodegradable food packaging materials. *Food packaging principles and practice*, 3rd ed, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York, 49-90.
- Saberı, B., Vuong, Q. V., Chockchaisawasdee, S., Golding, J. B., Scarlett, C. J., & Stathopoulos, C. E. (2017). Physical, barrier, and antioxidant properties of pea starch-guar gum biocomposite edible films by incorporation of natural plant extracts. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 2240-2250. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1995-z>
- Saberı, B., Vuong, Q. V., Chockchaisawasdee, S., Golding, J. B., Scarlett, C. J., & Stathopoulos, C. E. (2017). Physical, barrier, and antioxidant properties of pea starch-guar gum biocomposite edible films by incorporation of natural plant extracts. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 2240-2250. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1995-z>
- Sahın, O. I., And Akpınar-Bayızıt, A. (2008). Nanokompozit filmlerin gıda sanayi uygulamaları. *Türkiye*, 10, 21-23.
- Sahın, O. I., And Akpınar-Bayızıt, A. (2008). Nanokompozit filmlerin gıda sanayi uygulamaları. *Türkiye*, 10, 21-23.
- Sanders, M. E., And Huis In't Veld, J. (1999). Bringing a probiotic-containing functional food to the market: microbiological, product, regulatory and labeling issues. *Antonie van Leeuwenhoek*, 76, 293-315.
- Sanders, M. E., And Huis In't Veld, J. (1999). Bringing a probiotic-containing functional food to the market: microbiological, product, regulatory and labeling issues. *Antonie van Leeuwenhoek*, 76, 293-315.
- Shahrampour, D., Khomeiri, M., Razavi, S. M. A., & Kashiri, M. (2020). Development and characterization of alginate/pectin edible films containing *Lactobacillus plantarum* KMC 45. *Lwt*, 118, 108758.

- Shahrampour, D., Khomeiri, M., Razavi, S. M. A., & Kashiri, M. (2020). Development and characterization of alginate/pectin edible films containing *Lactobacillus plantarum* KMC 45. *Lwt*, 118, 108758.
- Sıvarooban, T., Hettiarachchy, N. S., & Johnson, M. G. (2008). Physical and antimicrobial properties of grape seed extract, nisin, and EDTA incorporated soy protein edible films. *Food research international*, 41(8), 781-785. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.04.007>
- Sıvarooban, T., Hettiarachchy, N. S., & Johnson, M. G. (2008). Physical and antimicrobial properties of grape seed extract, nisin, and EDTA incorporated soy protein edible films. *Food research international*, 41(8), 781-785. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.04.007>
- Soltanzadeh, M., Peighambaroust, S. H., Ghanbarzadeh, B., Amjadi, S., Mohammadi, M., Lorenzo, J. M., & Hamishehkar, H. (2022). Active gelatin/cress seed gum-based films reinforced with chitosan nanoparticles encapsulating pomegranate peel extract: Preparation and characterization. *Food Hydrocolloids*, 129, 107620. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107620>
- Soltanzadeh, M., Peighambaroust, S. H., Ghanbarzadeh, B., Amjadi, S., Mohammadi, M., Lorenzo, J. M., & Hamishehkar, H. (2022). Active gelatin/cress seed gum-based films reinforced with chitosan nanoparticles encapsulating pomegranate peel extract: Preparation and characterization. *Food Hydrocolloids*, 129, 107620. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107620>
- Sorrentino, A., Gorrasi, G., And Vittoria, V. (2007). Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. *Trends in food science & technology*, 18(2), 84-95.
- Sorrentino, A., Gorrasi, G., And Vittoria, V. (2007). Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. *Trends in food science & technology*, 18(2), 84-95.
- Sothornvit, R., & Krochta, J. M. (2000). Water vapor permeability and solubility of films from hydrolyzed whey protein. *Journal of Food Science*, 65(4), 700-703. [10.1111/j.1365-2621.2000.tb16075.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16075.x).
- Sothornvit, R., & Krochta, J. M. (2000). Water vapor permeability and solubility of films from hydrolyzed whey protein. *Journal of Food Science*, 65(4), 700-703. [10.1111/j.1365-2621.2000.tb16075.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16075.x).
- Souza, V. G., Pires, J. R., Rodrigues, C., Coelho, I. M., & Fernando, A. L. (2020). Chitosan composites in packaging industry—current trends and future challenges. *Polymers*, 12(2), 417.
- Souza, V. G., Pires, J. R., Rodrigues, C., Coelho, I. M., & Fernando, A. L. (2020). Chitosan composites in packaging industry—current trends and future challenges. *Polymers*, 12(2), 417.

- Summo, C., & De Angelis, D. (2022). The importance of edible films and coatings for sustainable food development. *Foods*, 11(20), 3221. <https://doi.org/10.3390/foods11203221>
- Summo, C., & De Angelis, D. (2022). The importance of edible films and coatings for sustainable food development. *Foods*, 11(20), 3221. <https://doi.org/10.3390/foods11203221>
- Surek, E., And Nilufer-Erdil, D. (2016). Phenolic contents, antioxidant activities and potential bioaccessibilities of industrial pomegranate nectar processing wastes. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(1), 231-239.
- Surek, E., And Nilufer-Erdil, D. (2016). Phenolic contents, antioxidant activities and potential bioaccessibilities of industrial pomegranate nectar processing wastes. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(1), 231-239.
- Temiz, H., And Yesilsu, A. F. (2006). Bitkisel protein kaynaklı yenilebilir film ve kaplamalar. *Gıda Teknolojisi Dergisi*, 2, 41-50.
- Temiz, H., And Yesilsu, A. F. (2006). Bitkisel protein kaynaklı yenilebilir film ve kaplamalar. *Gıda Teknolojisi Dergisi*, 2, 41-50.
- Tomás-Barberán, F. A., And Espín, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 853-876.
- Tomás-Barberán, F. A., And Espín, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 853-876.
- Vardar, U. S., Ozcan, Y., Ozmen, D., And Toker, O. S. (2021). Bitki tohum musilajları ve gıdalarda kullanımı. *Gıda*, 46(2), 269-278.
- Vardar, U. S., Ozcan, Y., Ozmen, D., And Toker, O. S. (2021). Bitki tohum musilajları ve gıdalarda kullanımı. *Gıda*, 46(2), 269-278.
- Vargas-Torrico, M. F., Aguilar-Méndez, M. A., Ronquillo-De Jesús, E., Jaime-Fonseca, M. R., & Von Borries-Medrano, E. (2024). Preparation and characterization of gelatin-carboxymethylcellulose active film incorporated with pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extract for the preservation of raspberry fruit. *Food Hydrocolloids*, 150, 109677. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109677>
- Vargas-Torrico, M. F., Aguilar-Méndez, M. A., Ronquillo-De Jesús, E., Jaime-Fonseca, M. R., & Von Borries-Medrano, E. (2024). Preparation and characterization of gelatin-carboxymethylcellulose active film incorporated with pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extract for the preservation of raspberry fruit. *Food Hydrocolloids*, 150, 109677. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109677>
- Verma, A., And Mogra, R., (2013). Psyllium (*Plantago ovata*) husk: a wonder food for good health. *International Journal of Science and Research*, 4(9), 1581- 1585.

- Verma, A., And Mogra, R., (2013). Psyllium (*Plantago ovata*) husk: a wonder food for good health. *International Journal of Science and Research*, 4(9), 1581- 1585.
- Yıldız, G., Ding, J., Gaur, S., Andrade, J., Engeseth, N. E., & Feng, H. (2018). Microencapsulation of docosahexaenoic acid (DHA) with four wall materials including pea protein-modified starch complex. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 935-941.
- Yıldız, G., Ding, J., Gaur, S., Andrade, J., Engeseth, N. E., & Feng, H. (2018). Microencapsulation of docosahexaenoic acid (DHA) with four wall materials including pea protein-modified starch complex. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 935-941.
- Zhang, X., Zhao, Y., Li, Y., Zhu, L., Fang, Z., & Shi, Q. (2020). Physicochemical, mechanical, and structural properties of composite edible films based on whey protein isolate/psyllium seed gum. *International Journal Macromolecules*, 153, 892-901.
- Zhang, X., Zhao, Y., Li, Y., Zhu, L., Fang, Z., & Shi, Q. (2020). Physicochemical, mechanical, and structural properties of composite edible films based on whey protein isolate/psyllium seed gum. *International Journal Macromolecules*, 153, 892-901.
- Zhao, Y., Ma, X., Wang, G., Gao, L., Zhang, M., Ding, Y., & Lv, S. (2024). Pomegranate peel extract incorporated soy protein isolate/*Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum composite films for fresh-cut apples preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 280, 135649. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135649>
- Zhao, Y., Ma, X., Wang, G., Gao, L., Zhang, M., Ding, Y., & Lv, S. (2024). Pomegranate peel extract incorporated soy protein isolate/*Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum composite films for fresh-cut apples preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 280, 135649. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135649>
- Zhong, C., Zu, Y., Zhao, X., Li, Y., Ge, Y., Wu, W., & Guo, D. (2016). Effect of superfine grinding on physicochemical and antioxidant properties of pomegranate peel. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(1), 212-221
- Zhong, C., Zu, Y., Zhao, X., Li, Y., Ge, Y., Wu, W., & Guo, D. (2016). Effect of superfine grinding on physicochemical and antioxidant properties of pomegranate peel. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(1), 212-221