



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KİTOSAN VE KİTOSAN-NANOPARTİKÜL KAPLAMALAR
KULLANILARAK YUMURTANIN RAF
ÖMRÜNÜN ARTTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BENSU MEDİNE COŞKUN

Tez Danışmanı

Prof Dr. CENGİZ CANER

ÇANAKKALE – 2022



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KİTOSAN VE KİTOSAN-NANOPARTİKÜL KAPLAMALAR
KULLANILARAK YUMURTANIN RAF
ÖMRÜNÜN ARTTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS YETERLİK TEZİ

BENSU MEDİNE COŞKUN

Tez Danışmanı

Prof. Dr. CENGİZ CANER

ÇANAKKALE – 2022

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Bensu Medine COŞKUN

29/08/2022

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen, her konuda ve her zaman bilgi ve deneyimleri ile bana önder olan, her koşulda sabır ve ilgi gösterip beni destekleyen, cesaretlendiren saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Cengiz CANER'e

Çalışmamın alt yapısının oluşturulması, gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesi dahil her aşamasında bana destek olan, tezimin yönlendirilmesinde değerli önerileri ile yol gösteren, tecrübelerini ve bilgisini benimle her daim paylaşan ve adeta ikinci danışmanım olan Dr. Öğr. Üyesi Muhammed YÜCEER'e

Laboratuvar çalışmalarımın gerçekleştirilmesinde bana katkı sağlayan Gözde YILDIRIM'a

Yüksek lisans eğitimime her zaman önem veren ve anlayışını esirgemeyen Hüseyin ERDEN'e

Hiçbir zaman beni yalnız bırakmayan, beni her koşulda destekleyen ve bana inanan çok değerli arkadaşlarım Büşra AKTAN, Merve FIRTIN, Sena KAYA, Tulu ATILGAN ve Zeynep GÜNDÜZALP'e,

Bugüne kadar hayatımın tüm evrelerinde olduğu gibi tez çalışmam boyunca da desteklerini hissettiğim, hiçbir yardım ve fedakarlıktan kaçınmayan her daim maddi-manevi anlamda yanımda olan annem Kiraz COŞKUN, babam Birol COŞKUN ve ağabeyim Yusuf Kenan COŞKUN'a

En içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Bensu Medine COŞKUN
Çanakkale, Ağustos 2022

ÖZET

KİTOSAN VE KİTOSAN-NANOPARTİKÜL KAPLAMALAR KULLANILARAK YUMURTANIN RAF ÖMRÜNÜN ARTTIRILMASI

Bensu Medine COŞKUN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Yeterlik Tezi

Danışman: Prof. Dr. Cengiz CANER

29/08/2022, 112

Bu çalışmanın temel amacı, kitosan kaplamaların üç farklı konsantrasyonunun (%1, %4 ve %8-a/a) ve ayrıca biyo-nanokompozit (montmorillonite-MMT) emülsiyonları ile birleştirilmiş kitosanın (%1-a/a) 4 haftalık depolama (24°C) boyunca taze yumurtanın iç kalitesi (Haugh birimi-HU, yumurta sarısı indeksi-YI, pH, kuru madde ve relatif köpük kapasitesi-RWC) üzerine etkinliğini değerlendirmektir.

2 haftalık depolamadan sonra kaplanmamış yumurtalar ile kaplanmış yumurtalar arasında önemli HU farklılıkları gözlenmiştir. 3 haftalık depolamadan sonra, kaplanmamış ve kaplanmış arasında önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. %1 kitosan ile kaplama, %8 kitosan ve kitosan-MMT ile kaplanan yumurtalardan önemli ölçüde farklılık göstermiştir. Depolama sonunda kitosan-MMT (58.2) ve %8 kitosan (58.1) ile kaplanan yumurtaların HU değerleri kontrolden (37.3) ve %1 kitosan (54.5) ile kaplanan yumurtalardan önemli ölçüde daha yüksek HU'lara sahiptir. Kaplanmış yumurtaların YI değerleri kaplanmamış yumurtalardan önemli ölçüde daha yüksektir. Kitosan-MMT (8.94) ve %8 kitosan (8.92) ile kaplanmış örneklerin albümin pH'ı, depolama sonunda kontrol (9.60) ve %1 kitosandan (9.04) önemli ölçüde daha düşüktür. Kitosan-MMT kaplama, 4 haftalık depolamadan sonra kontrol (510) ve %1 kitosandan (790) önemli ölçüde daha yüksek bir RWC (815) sergilerken %4 kitosan (810) ve %8 kitosandan (817) önemli ölçüde farklılık göstermemiştir.

Bu çalışma kitosan kaplamaların taze yumurtaların iç kalitesini korumak için koruyucu bir bariyer görevi gördüğünü göstermiştir. Kitosan kaplamaların performansı %4'e kadar olan fakat %4 ile %8 arasında olmayan ayrıca MMT ile %1 konsantrasyona bağlıdır. Biyo-nanokompozit kaplama çözümleri yumurtaların iç kalitesini korumada çok etkilidir. Daha yüksek kitosan kaplamalar (%8) ve kitosan %1-MMT, depolama sırasında kabuklu yumurtaların iç kalitesini daha iyi korumuştur. Kabuklu yumurtaların iç kalitelerini korumak ve raf ömrünü artırmak için kitosan kaplamalar önemli bir alternatif olabilir.

Anahtar Kelimeler: Yumurta, Kitosan kaplama, Biyo-nanokompozit, montmorillonit, Yumurta iç kalitesi, Depolama kararlılığı.



ABSTRACT

INCREASING THE SHELF LIFE OF EGGS USING CHITOSAN AND CHITOSAN-NANOPARTICLE COATINGS

Bensu Medine COŞKUN

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Food Engineering

Advisor: Prof. Dr. Cengiz CANER

29/08/2022, 112

The main objective of this work was to evaluate the effectiveness of three different concentrations (1%, 4% and 8%-w/w) of chitosan coatings and also chitosan (1%-w/w) combined with bio-nanocomposite (montmorillonite-MMT) emulsions on enhancements of fresh eggs internal qualities (Haugh unit-HU, yolk index-YI, pH, dry matter and Relative Whipping Capacity-RWC) for 4 weeks storage (24°C).

Significant HU differences were observed between uncoated eggs and coated eggs after 2 weeks of storage. After 3 weeks of storage, significant differences were exhibited between uncoated and the coated. The coated 1% was significantly different than chitosan 8% and chitosan-MMT eggs. At the end of storage, the HU of eggs with chitosan-MMT (58.2) and chitosan 8% (58.1) had the significantly higher HUs than control (37.3) and also chitosan 1% (54.5). The YI values of the coated eggs were significantly higher than those of uncoated one. The albumin pH of chitosan-MMT (8.94) and chitosan 8% (8.92) coated samples exhibited a significantly lower than control (9.60) and chitosan 1% (9.04) at the end of storage. Chitosan-MMT coated exhibited a significantly higher RWC (815) than control (510) and chitosan %1 (790) but not significant different with chitosan 4% (810) and 8% (817) after 4 weeks of storage.

This study indicated that chitosan coatings served as protective barrier for maintaining interior quality of the fresh eggs. The performance of chitosan coatings depends on the concentration up to 4% but not between 4% and 8% and also 1% with MMT. Bio-

nanocomposite coatings solutions were also very effective in maintaining the interior quality of eggs. Higher chitosan coatings (%8) and chitosan 1%-MMT were better maintained internal quality of shell eggs during storage. Chitosan coatings can be vital alternative for maintaining internal qualities and enhancing shelf life of the shell eggs.

Keywords: Eggs, Chitosan coating, Bio-nanocomposite, Montmorillonite, Internal egg quality, Storage stability.



İÇİNDEKİLER

| | |
|------------------------------|------|
| JÜRİ ONAY SAYFASI..... | i |
| ETİK BEYAN..... | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iii |
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT | vi |
| İÇİNDEKİLER | viii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR..... | xii |
| TABLolar DİZİNİ..... | xiii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xiv |

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

| | |
|---|----|
| 1.1. Yenilebilir Filmler ve Kaplamalar | 2 |
| 1.1.1. Yenilebilir Filmler ve Kaplamaların Sınıflandırılması..... | 6 |
| Polisakkaritler | 6 |
| Proteinler | 6 |
| Lipitler..... | 7 |
| Kompozitler..... | 7 |
| Film Katkıları | 8 |
| 1.1.2. Yenilebilir Film ve Kaplama Üretim Metotları | 8 |
| Çözücü Dökme Yöntemi..... | 8 |
| Ekstruzyon Yöntemi..... | 9 |
| 1.1.3. Filmlerin Gıdalara Uygulanma Yöntemleri | 10 |
| Püskürtme Yöntemi..... | 10 |
| Daldırma Yöntemi..... | 11 |
| Yayma Yöntemi | 12 |
| Akışkan Yatak Yöntemi..... | 12 |
| 1.2. Biyopolimerler | 13 |
| 1.3. Nanokompozitler..... | 15 |
| 1.3.1. Polisakkarit Bazlı Nanokompozitler | 15 |

| | |
|--|----|
| 1.3.2. Protein Bazlı Nanokompozitler..... | 17 |
| 1.3.3. Nano Dolgu Maddeleri | 19 |
| Organik Nano-Dolgu Maddeleri | 19 |
| İnorganik Dolgu Maddeleri..... | 23 |
| 1.4. Kitin ve Kitosan | 24 |
| 1.4.1. Tarihçe | 24 |
| 1.4.2. Kitin ve Kitosanın Kimyasal Yapıları..... | 25 |
| Kitin..... | 25 |
| Kitosan | 27 |
| 1.4.3. Kitin ve Kitosanın Kimyasal Özellikleri..... | 27 |
| Asetilasyon ve Deasetilasyon Derecesi..... | 27 |
| Çözünürlük..... | 28 |
| Molekül Ağırlığı..... | 29 |
| Viskozite | 30 |
| Su ve Yağ Tutma Kapasitesi | 30 |
| Antimikrobiyal Etki | 31 |
| Antifungal Etki..... | 33 |
| Antioksidan Etki..... | 34 |
| 1.4.4. Kaynakları ve Ekstraksiyon | 35 |
| Kitin Eldesi..... | 36 |
| Biyolojik Yöntem..... | 37 |
| Kimyasal Yöntem..... | 37 |
| Kitosan Eldesi | 38 |
| Kimyasal Yöntem..... | 38 |
| Biyolojik Yöntem..... | 38 |
| Enzimatik Yöntem | 39 |
| Fermantasyon Yöntemi | 39 |
| 1.4.5. Kitin ve Kitosanın Gıda Endüstrisinde Kullanım Alanları | 40 |
| Kitin ve Kitosanın Yenilebilir Film Endüstrisinde Uygulamaları | 41 |
| 1.5. Yumurta | 42 |
| 1.5.1. Yumurtanın Kimyasal Özellikleri..... | 43 |
| Protein | 43 |

| | |
|---|----|
| Lipit | 46 |
| Vitamin ve Mineraller | 46 |
| 1.5.2. Yumurtanın Morfolojik Yapısı | 47 |
| Yumurta kabuğu | 48 |
| Kütikül | 49 |
| Kabuk Zarı | 50 |
| Yumurta Akı (Albümin) | 50 |
| Kalın ve İnce Albüminler | 51 |
| Şalaza | 52 |
| Yumurta Sarısı | 52 |

İKİNCİ BÖLÜM
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 56

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
MATERYAL VE YÖNTEM 65

| | |
|---|----|
| 3.1. Materyal | 65 |
| 3.1.1. Yumurta | 65 |
| 3.1.2. Kitosan | 65 |
| 3.1.3. MMT | 65 |
| 3.2. Metot | 65 |
| 3.2.1. Kaplama Materyalinin Hazırlanması | 65 |
| 3.2.2. Yumurtaların Kaplanması | 66 |
| 3.2.3. Yapılan Analizler | 66 |
| Haugh Birimi Analizleri | 67 |
| Yolk İndeksi Analizleri | 67 |
| pH Analizleri | 67 |
| Yumurta Kabuk Mukavemet Analizi | 68 |
| Kuru Madde Analizleri | 68 |
| Renk Analizleri | 68 |
| Relatif Köpük Oluşturma Kapasitesi Analizleri | 69 |
| Köpük Stabilitesi Analizleri | 69 |

| | |
|------------------------------|----|
| İstatistiksel Analizler..... | 69 |
|------------------------------|----|

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

| | |
|---------------------|----|
| ARAŞTIRMA BULGULARI | 71 |
|---------------------|----|

| | |
|---|----|
| 4.1. Depolama Boyunca Fiziko-Kimyasal Değişimler | 71 |
| 4.1.1. Ağırlık Kaybı | 71 |
| 4.1.2. Haugh Birimi Analiz Değerleri..... | 73 |
| 4.1.3. Yolk İndeks Değerleri..... | 75 |
| 4.1.4. Albumin pH Değerleri | 76 |
| 4.1.5. Yumurta Sarısı pH Değerleri | 77 |
| 4.1.6. Toplam Kuru Madde Değerleri..... | 78 |
| 4.1.7. Relatif Köpük Kapasitesi Değerleri | 80 |
| 4.1.8. Köpük Stabilitesi Değerleri..... | 81 |
| 4.1.9. Yumurta Kabuğu Kırılma Mukavemeti Değerleri..... | 83 |
| 4.1.10. Reolojik Özellikler | 84 |

BEŞİNCİ BÖLÜM

| | |
|-------------------|----|
| SONUÇ VE ÖNERİLER | 86 |
|-------------------|----|

| | |
|----------------|----|
| KAYNAKÇA | 88 |
|----------------|----|

| | |
|----------------|---|
| ÖZGEÇMİŞ | Hata! Yer işareti tanımlanmamış. |
|----------------|---|



SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|------|-------------------------------------|
| RDI | Günlük alım değeri |
| MMT | Montmorillonit |
| HB | Haugh birimi |
| SI | Sarı indeksi |
| RWC | Relatif köpük kapasitesi |
| L* | 0: koyuluk, 100: aydınlık-parlaklık |
| a* | -: yeşillik, +: kırmızılık |
| b* | -: mavilik, +: sarılık |
| kg | Kilogram |
| µm | Mikrometre |
| nm | Nanometre |
| g | Gram |
| UV | Ultraviyole |
| °C | Santigrad derece |
| kDa | Kilodalton |
| mm | Milimetre |
| mmol | Milimol |
| mg | Miligram |
| IU | Uluslararası birim |
| µg | Mikrogram |
| ml | Mililitre |
| kGy | Kilo Gray |
| cm | Santimetre |
| s | Saniye |
| kgf | Kilogram Güç |
| N | Newton |

TABLULAR DİZİNİ

| Tablo No | Tablo Adı | Sayfa No |
|-----------------|---|-----------------|
| Tablo 1 | Yumurta bileşenlerinin içeriği | 43 |
| Tablo 2 | Yumurta akı proteinlerinin bileşimi ve bazı fizikokimyasal özellikleri | 45 |
| Tablo 3 | Yumurtanın vitamin ve mineral içeriği | 47 |
| Tablo 4 | Yumurta kabuğu parçacıklarının kimyasal bileşimi | 48 |
| Tablo 5 | Yumurta Sarısı Bileşimi | 53 |
| Tablo 6 | Yumurta sarısının karoten kompozisyonu | 54 |
| Tablo 7 | Yumurta sarısında bulunan mineral madde miktarları | 55 |
| Tablo 8 | 4 haftalık depolama sırasında kitosan ve montmorillonit kombinasyonlarının Haugh Birimi (HU) üzerindeki etkisi | 72 |
| Tablo 9 | 4 haftalık depolama sırasında kitosan ve montmorillonit kombinasyonlarının Sarı İndeksi (YI) üzerindeki etkisi | 74 |
| Tablo 10 | Kitosan ve MMT kaplamaların 4 haftalık depolama süresi boyunca yumurtanın albümin pH değeri üzerine etkisi | 76 |
| Tablo 11 | Kitosan ve MMT kaplamaların 4 haftalık depolama süresi boyunca yumurta sarısının pH değeri üzerine etkisi | 77 |
| Tablo 12 | Kitosan ve MMT kaplamaların 4 haftalık depolama süresi boyunca yumurtanın albümin kuru madde değeri üzerine etkisi | 78 |
| Tablo 13 | Kitosan ve MMT kaplamaların 4 haftalık depolama süresi boyunca yumurta sarısı toplam kuru madde değeri üzerine etkisi | 78 |
| Tablo 14 | Kitosan ve MMT kaplamaların 4 haftalık depolama süresi boyunca yumurtanın relatif köpük kapasitesi üzerine etkisi | 80 |
| Tablo 15 | Kitosan ve MMT kaplamaların 4 haftalık depolama süresi boyunca yumurtanın köpük stabilitesi üzerine etkisi | 81 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| Şekil No | Şekil Adı | Sayfa No |
|----------|---|----------|
| Şekil 1 | Laboratuvar döküm yöntemi ile film oluşumu | 9 |
| Şekil 2 | Ekstrüzyon teknolojisi ile film oluşumu | 10 |
| Şekil 3 | Yenilebilir kaplamanın püskürtme uygulama yöntemi | 11 |
| Şekil 4 | Çilek meyvesine daldırma yöntemi ile yenilebilir kaplama uygulaması | 11 |
| Şekil 5 | Üstten püskürtmeli akışkan yataklı kaplama şeması | 12 |
| Şekil 6 | Kitin ve selülozun kimyasal yapıları | 26 |
| Şekil 7 | Kitin ve kitosanın kimyasal yapısı | 27 |
| Şekil 8 | Kitosan ve oligo-kitosanın gram (+) bakterilere karşı etki mekanizması | 33 |
| Şekil 9 | Kitosan ve oligo-kitosanın gram (-) bakterilere karşı etki mekanizması | 33 |
| Şekil 10 | Kitosan ve oligo-kitosanın mantarlara karşı etki mekanizması | 34 |
| Şekil 11 | Kimyasal ve biyolojik yöntemlerle kitin ekstraksiyonu | 37 |
| Şekil 12 | Yumurtanın morfolojik yapısı | 48 |
| Şekil 13 | Tavuk yumurta kabuğunun enine kesit görünümü | 49 |
| Şekil 14 | Yumurtalara kaplama uygulamak için deneysel yöntem | 66 |
| Şekil 15 | Depolama sırasında yumurta kalite kaybı süreci | 70 |
| Şekil 16 | Kitosan ve montmorillonit kombinasyonlarının 4 haftalık depolama süresince yumurtaların kilo kaybı üzerine etkisi | 71 |
| Şekil 17 | Albümin kalitesi kaybı. (a) Taze yumurta (b) bayat yumurta | 73 |
| Şekil 18 | 4 haftalık depolama süresince kitosan ve montmorillonit kombinasyonlarının yumurtanın üst ucunun yumurta kabuğu delinme mukavemeti üzerine etkisi | 82 |

| | | |
|-----------------|---|----|
| Şekil 19 | 4 haftalık depolama süresince kitosan ve montmorillonit kombinasyonlarının yumurtanın alt ucunun yumurta kabuğu delinme mukavemeti üzerine etkisi | 83 |
| Şekil 20 | Kitosan ve montmorillonit kombinasyonlarının 4. haftada yumurta akının reolojik davranışı üzerine etkisi | 84 |





BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Yumurta, eski zamanlardan beri insanlar için temel bir besin olan, uygun fiyatlı, içeriği bakımından mükemmel dengeli ve çeşitli, yüksek sindirilebilirliğe sahip ve ülkemiz ekonomisine kayda değer biçimde katma değer sağlayan bir gıda maddesidir (Çiçekgil ve Yazıcı, 2016; Réhault-Godbert vd., 2019).

Günümüzde yumurta, atalarının yabani tavuklar olduğu kabul edilen Gallus gallus domesticus cinsi evcil tavuklardan elde edilmektedir (Şamlı ve Okur, 2016). Tavuk yumurtası, biyolojik değeri yüksek protein, A, D, E, K, B2, B12 vitaminlerinin yanı sıra demir, fosfor ve potasyum gibi mineraller için mükemmel bir kaynaktır. Yumurta, RDI (günlük alım değeri) bakımından fosfor, selenyum, demir ve çinko alımının ~%16, %29, %9 ve %9'unu ve A, D, E, K, B2, B12 vitaminleri, biotin ve pantotenik asidin RDI'sının %10'unu karşılamaktadır (Grčević vd., 2011; Nimalaratne ve Wu, 2015). İnsan ihtiyaçları için mükemmel şekilde dengelenmiş amino asit içeriği, yumurtaları protein kaynakları arasında en yüksek besin değeri sınıfına dahil eder ve diğer gıda proteinlerinin kalitesini ölçmek için standart olarak kullanılır (Nau vd., 2010; Nimalaratne ve Wu, 2015). Ovalbümin, ovotransferrin, phosvitin gibi birçok yumurta proteini ve fosfolipidler gibi yumurta lipidlerinin yanı sıra E vitamini, A vitamini, selenyum ve karotenoidler gibi bazı mikro besinlerin antioksidan özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir (Nimalaratne ve Wu, 2015).

Kanatlı hayvan yetiştiriciliği Türkiye hayvancılığında hızlı ve kararlı bir büyüme göstermektedir (Özkan vd., 2015). TÜİK 2021 yılı ağustos ayı verilerine göre ülkemizde 1,6 milyar adet tavuk yumurtası üretimi gerçekleşmiştir. Bir önceki ayın verilerine bakıldığında bu değer %5,8 arttığı görülmektedir.

Yumurtanın farklı kısımları, lezzetli yumurta ürünleri elde etmek için farklı şekillerde kullanılmaktadır. Hamur işleri, dondurma, muhallebi ve fırıncılık ürünlerinde kıvam arttırıcı, soslarda, mayonezde ve unlu mamüllerde emülsifiye edici ajan, kızarmış balık ile tavukta kaplama malzemesi, meyve içecekleri, milk shake ve yoğurt smoothie'lerine eklendiğinde protein kaynağı, sufle ve beze gibi ürünlerde köpürtücü ajan, konsomelerde berraklaştırıcı ajan, balık ve et ürünlerinde bağlayıcı ajan gibi birçok fonksiyonel amaç için görev görmektedirler (Sharif vd., 2018).

Önemli bir besin kaynağı olan yumurta, yüksek besin değerine sahip hayvansal protein kaynağı olmasının yanı sıra nispeten düşük fiyatı nedeniyle de en popüler gıdalardan biridir (Lee vd., 2016). Yumurtaların depolanması sırasında kabuktan karbondioksit ve nemin hareketi, mikrobiyal kontaminasyona, ağırlık kaybına ve iç kalitenin bozulması da dahil olmak üzere yumurtaların kalitesini etkilemektedir (Eddin ve Tahergorabi, 2019). Yumurta kabuğu, yumurta içeriği için doğal ambalaj malzemesidir. Kırık yumurtalar hem birinci kalite yumurta olarak satılamaması hem de kılcal çatlaklarda oluşan sızıntılardan dolayı bakteriyel kontaminasyon riskini artırarak iç ve dış kalite ve gıda güvenliği ile ilgili sorunlar sebebiyle ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Yumurtanın üretim zinciri boyunca maruz kaldığı tüm darbelere direnç gösterebilmesi için yüksek kabuk mukavemeti elde etmek önemlidir (Mertens vd., 2006). Yumurta kalitesinde yapılacak iyileştirmeler ekonomik açıdan kazançla sonuçlanacaktır.

Yumurtlama sonrası kayıpları önlemek veya azaltmak için yumurtaları korumaya yönelik teknolojilere artan bir ihtiyaç vardır (Okonkwo vd., 2021). Yenilebilir kaplamalar depolama sırasında gıdaların raf ömrünü ve kalitesini uzatmak için kullanılmaktadır (Eddin ve Tahergorabi, 2019).

Yumurtanın Kitosan ve MMT ile kaplanarak kalitesinin artırılması (raf ömrünün uzatılması) üzerinde sınırlı sayıda yayına rastlanılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, kitosan kaplamanın üç farklı konsantrasyonunun (%1, %4 ve %8-a/a) ve ayrıca biyo-nanokompozit (montmorillonit-MMT) ile kombine edilmiş kitosan (%1-a/a) etkinliğini değerlendirmektir. Bu amaçla ağırlık kaybı, pH, kuru madde, haugh birimi (HB), sarı indeksi (SI), relatif köpük kapasitesi (RWC), renk (L^* , a^* ve b^*), kabuk mukavemeti analizleri 24°C'de 4 haftalık depolama boyunca taze yumurtalarda periyodik olarak gerçekleştirilmiştir.

1.1. Yenilebilir Filmler ve Kaplamalar

Gıdalar, dış ortamla temas halinde olduğunda çevresel faktörler, oksidasyon ve mikroorganizma kontaminasyonuna, duyu özelliklerinin değişmesine, kalite kaybına, zararlı kimyasalların üretilmesine ve ciddi hastalıklara neden olmaktadır (Alfei vd., 2020).

Ambalajlama teknikleri ve ambalaj, tüketici isteklerini ve endüstri gereksinimlerini karşılamayı, ürün bozulmasının geciktirilmesini, işlemenin faydalı etkilerinin korunmasını, olumsuz etkilere karşı gıda güvenliğini sağlayarak ve çevresel etkiyi en aza indirerek gıdayı

uygun şekilde muhafaza etmeyi ve ürünün raf ömrünün uzatılmasını hedeflemektedir (Marsh ve Bugusu, 2007; Caner, 2011).

Plastikler, yirminci yüzyılın ortalarından itibaren yaygın olarak petrol kaynaklarından üretilmektedir ve şu anda dünya çapında plastik üretimi 300 milyon tonu aşmış durumdadır (OECD, 2022). Petrol bazlı polimer ve plastikler, diğer ambalaj malzemelerine kıyasla daha düşük maliyetleri daha hafif, esnek ve kırılmaya karşı daha az hassas ve şeffaf yapısı ve kabul edilebilir mekanik, termal, kimyasal ve optik özellikler göstermesi nedeniyle gıda ambalaj pazarında yaygın olarak tercih edilmektedir (Mohamed vd., 2020). Gıda maddelerinin ambalajlanmasında kullanılan plastik ambalajlar polietilentereftalat (PET), polipropilen (PP), yüksek (HDPE) ve düşük (LDPE) yoğunluklu polietilen, polistiren (PS) ve polivinilklorür (PVC) gibi tek polimerlerden veya çeşitli plastik katman türlerinin kombinasyonlarından oluşabilmektedir (Geueke vd., 2018). Bu polimerler biyolojik olarak parçalanamamaktadır (Mohamed vd., 2020).

Tüm dünyada üretim, tüketim ve atık sektörlerinde uygulaması giderek daha fazla yaygınlaşan döngüsel ekonomi, endüstriyel sistemlerdeki döngüleri kapatmayı, israfı en aza indirmeyi ve hammadde ile enerji girdilerini azaltmayı destekleyen bir kavramdır. Bu kavram günümüzün al-yap-at ekonomisinin küresel çevresel değişimin ve eko-sistemlerin bozulmasının itici güçlerinden biri olduğu fikrine dayanarak bu zararlı insan faaliyetlerini önlemek ve azaltmak için bir araç olarak geliştirilmiştir (Geueke vd., 2018).

2015 yılında, Avrupa'da yaklaşık 20 milyon metrik ton plastik ambalaj kullanılmış, kişi başına yaklaşık 30 kg plastik ambalaj atığı düşmüştür. Döngüsel bir ekonomiyi hedefleyen pratik çözümler arasında da eko-tasarım ve atık önleme programları yer almaktadır (Geueke vd., 2018).

Son zamanlarda, “biyolojik olarak parçalanabilir”, “biyo-uyumlu”, “çürütülebilir”, “çevre dostu”, “sürdürülebilir”, “yeşil” ve “biyopolimerler” gibi kelimeler ambalajlarda en sık gözlenen anahtar kelimelerdir. Bu, insanların biyolojik olarak parçalanamayan katı atıklar ve doğal kaynakların tükenmesinden kaynaklanan çevre sorunları konusundaki endişelerini yansıtmaktadır (Rhim ve Ng, 2007). Tüketiciler yenilebilir, biyolojik olarak parçalanabilen ve çevre dostu ambalaj malzemeleri konusunda bilinçlenmiştir (Suhag vd., 2020).

Çevresel ve ekonomik sorunlara ek olarak, gıda ambalajı, gıda arzının küreselleşmesiyle daha taze, daha güvenli ve daha kaliteli gıdalara duyulan isteklerden etkilenmiştir. Tüm bunlar göz önüne alındığında, tüketici talepleri, doğal, tek kullanımlık,

biyolojik olarak parçalanabilir ve geri dönüştürülebilir ambalajlardan yana olmaktadır. Bu talepleri karşılamak adına yeni ve özgün gıda ambalaj malzemeleri ve yöntemler geliştirilmiştir ve geliştirilmeye devam edilmektedir (Cutter, 2006).

Gıda, ambalaj ve dağıtım endüstrisinde gıda ambalajı için biyoplastiklerin geliştirilmesine ve uygulanmasına yönelik artan bir ilgi gözlenmektedir. Avrupa Biyoplastik organizasyonuna göre, biyoplastikler, yenilenebilir kaynaklara dayalı (biyobazlı) plastikler veya biyolojik olarak parçalanabilen ve/veya kompostlanabilen plastikler olarak tanımlanabilir. Ambalaj endüstrisinde biyoplastiklerin kullanımına ilişkin dikkat, kompostlanabilir/biyolojik olarak bozunabilir malzemelerden biyobazlı malzemelere doğru kaymaktadır (Peelman vd., 2013).

Yenilebilir filmler ve kaplamalar, gıda ürünlerinin kalitesini artırarak onları fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmalardan korumaktadır (Hauzoukim vd., 2020). Yenilebilir filmler ve kaplamalar, gıda işleme sektöründe çok çeşitli gıda ürünlerinin (meyveler: elma, armut, muz, mango, kivi, ananas vb.; sebzeler: havuç, patates vb.; süt ürünleri) bütünlüğünü korumak için kullanılmaktadır (Suhag vd., 2020).

Yenilebilir kaplama, gıdalar üzerinde koruyucu bir kaplama olarak oluşturulan ve bu ürünlerle birlikte tüketilebilen ince bir yenilebilir malzeme tabakasıdır (Galus vd., 2020). Yenilebilir kaplamalar meyve, sebze ve diğer gıda ürünlerinin yüzeyine doğrudan uygulanabilirken, yenilebilir film ambalaj malzemesi olarak kullanılması yönüyle birbirinden farklılık göstermektedir (Suhag vd., 2020).

Yenilebilir kaplamalar ve filmler, selüloz, nişasta, alginatlar, kitosan, zamklar, pektinler ve proteinler gibi bitkisel veya hayvansal kaynaklı hidrokolloidlere dayalı biyopolimerden geliştirilmektedir. Yenilebilir film ve kaplamaların kullanımının, maliyeti azaltmanın yanı sıra gıdaların korunma sürecini de iyileştirebileceği düşünülmektedir (Majid vd., 2018). Taze veya dondurulmuş gıdaların depolanması sırasında güçlü nem bariyeri özellikleri sayesinde hem nem kaybını önlerler hem de ekstra nem emici kullanımı gerektirmediğinden dolayı maliyeti de düşürürler. Aynı zamanda oksijen ve karbondioksit karşı seçici geçirgen özellik gösteren yenilebilir kaplamalar, insan beslenmesinin önemli bir bölümünü oluşturan ve hasat ile tüketim arasında kalitesinde önemli kayıplar yaşanan meyve ve sebzelerin iç atmosferini modifiye eder, aşırı olgunlaşmasını geciktirir ve raf ömrünü uzatarak, uygulamalarında ve işlenebilir ürün miktarında önemli bir artış sağlar (Park, 1999; Falguera vd., 2011; Yousuf vd., 2018).

Su kaybı, meyve ve sebzelerin kalitesinin bozulmasında rol oynayan önemli bir faktördür ve solma, buruşma, sarkma, yumuşak doku ve besin değeri kaybına neden olabilir. Yenilebilir kaplamalar taze meyve ve sebzelerin kalitesini korumak ve raf ömrünü uzatmak için umut verici bir teknolojidir (Yousuf vd., 2018).

Uygulamadan hemen önce önceden ısıtılmış yenilebilir kaplama çözeltileri, bozulma ve patojenik mikroorganizmaların miktarını azaltabilir ve kaplanmış gıdaların yüzeyindeki bozulan proteolitik enzimleri kısmen etkisiz hale getirebilir (Hauzoukim vd., 2020). Geleneksel olarak, antimikrobiyal ajanlar gıdalara doğrudan eklenir ancak etkinlikleri bu ürünlerin farklı bileşenleri tarafından engellenebilir ve azaltabilir. Bu gibi durumlarda, film veya kaplamaların uygulanması, gıda maddelerinde kullanılan antimikrobiyal katkı maddelerinden daha verimli olabilir, çünkü ambalajlama bileşiklerinden gıda yüzeyine seçici ve kademeli olarak göç edebilirler (Falguera vd., 2011).

Renk, tüketicinin kalite algısını etkileyen en önemli özelliklerdendir (Francis, 1995). Enzimatik esmerleşme renk üzerinde değişime yol açan bir süreçtir. Bazı araştırmalar, yenilebilir filmlerin ve kaplamaların esmerleşme süreçlerinin ve polifenol oksidaz aktivitesinin kontrolü üzerindeki etkinliğini kanıtlamıştır (Falguera vd., 2011).

Yenilebilir filmler ve kaplamalar, çeşitli aktif bileşiklerin (antioksidanlar, tatlandırıcılar, esmerleşme önleyici ve antimikrobiyal bileşikler, vitaminler veya enzimler) taşınması ve salınmasında da görev almaktadır (Falguera vd., 2011).

Derin yağda kızartılmış ürünlerin iç kısımlarının yumuşak ve nemli olması tüketici kabulü açısından önemlidir. Derin yağda kızartılan ürünlerde yenilebilir kaplamaların kullanımının kızartma sırasında yağ alımını ve nem kaybını azaltarak ürünlerin besin değerini iyileştirdiği bildirilmiştir (Falguera vd., 2011).

Aynı şekilde Atlantik somonunun çözülmesi esnasında damlama kaybını azaltmak için yenilebilir kaplamaların kullanılabileceği bildirilmiştir. Protein kaplamalar, somon filetolarının lipid oksidasyonunu geciktirmiştir (Rodriguez-Turienzo vd., 2011-Turienzo vd., 2011).

Yenilebilir kaplamaların fiziksel hasarı önlemeye, görünümü iyileştirmeye ve mikrobiyal büyümeyi azaltmaya yardımcı olmalarından dolayı modifiye atmosferde paketlemeye uygun maliyetli bir alternatif olabileceği bildirilmiştir (Brasil vd., 2012).

1.1.1. Yenilebilir Filmler ve Kaplamaların Sınıflandırılması

Yenilebilir filmler ve kaplamalar, temel bileşenlerine göre sınıflandırılır. Polisakkarit bazlı, protein bazlı, lipid bazlı, kompozitler olmak üzere 4 gruba ayrılmaktadır (Dhaka ve Upadhyay, 2018).

Polisakkaritler

Yenilebilir filmler veya kaplamalar için kullanılan polisakkaritler; selüloz, nişasta türevleri, pektin türevleri, deniz yosunu özleri, eksüda zamkları, mikrobiyal fermentasyon zamkları ve kitosanı içermektedir (Bourtoom, 2018).

Hidrofilik polisakkarit bileşenler güçlü mekanik özelliklere sahiptir ancak bu bileşenlerden oluşan yenilebilir filmler ve kaplamalar, zayıf su buharı ve gaz geçirgenliği göstermektedir. Polisakkarit bazlı yenilebilir kaplamalar, raf ömrünü uzatmak için birçok meyve ve sebze kullanılmıştır. Bu film ve kaplamalar aynı zamanda antimikrobiyal, antioksidan ve nutrasötik vb. birçok katkı maddesinin taşıyıcısıdır (Menezes ve Athmaselvi, 2016).

Proteinler

Yenilebilir filmler glüten, kolajen, mısır, zein, soya, kazein ve peynir altı suyu proteini gibi hayvan ve bitki proteinlerinden oluşturulabilmektedir (Hauzoukim vd., 2020).

Proteinler, hidrofilik yüzeylere iyi yapışır, özellikle düşük bağıl nemlerde mükemmel oksijen, karbon dioksit ve lipid bariyer özelliği gösterirler. Protein bazlı yenilebilir filmler güçlü mekanik özelliklere sahiptirler ancak sentetik polimerlere kıyasla mekanik mukavemetleri gıda ambalajlarındaki uygulamalarını sınırlamaktadır (Lacroix ve Vu, 2014).

Proteinlerin ikincil, üçüncül ve dördüncül yapıları, konum, tip ve enerji bakımından farklılık gösteren çeşitli etkileşimler ve bağlanmalarla sonuçlanır. Bu yapılar, ısı, mekanik işlem, basınç, ışınlama, lipid arayüzleri, asitler ve alkaliler ve metal iyonları dahil olmak üzere çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemler ve ajanlarla değiştirilebilmektedir. Bu nedenle,

protein filmlerinin oluşumu sırasında ve sonrasında, bu işlemler ve ajanlar genellikle protein filmlerinin özelliklerini geliştirmek için kullanılırlar (Zhang ve Mittal, 2010).

Protein polipeptit zincirleri arasında artan kohezyonun, kimyasal (glutaraldehit, formaldehit, gliseraldehit, glioksal), enzimatik (transglutaminaz) veya fiziksel (ısıtma, ışınlama) muamele yoluyla proteinlerin çapraz bağlanmasının, su buharı bariyeri özelliğinin yanı sıra mekanik özelliklerini ve proteolize karşı direnci iyileştirdiği bildirilmiştir (Lacroix ve Vu, 2014).

Lipitler

Koruyucu kaplama olarak kullanılan lipid bileşikleri, asetillenmiş monogliseritler, doğal mum ve yüzey aktif maddelerden oluşmaktadır (Bourtoom, 2018).

Hidrofobik maddelerden olan lipidler, apolar yapıları nedeniyle nem göçüne karşı etkili bariyerlerdir (Debeaufort ve Voilley, 2009). Hidrofobiklik fazının konsantrasyonunun artmasıyla su buharı geçirgenliği azalmaktadır. Lipitten yapılan film veya kaplamalar hidrofobiklikleri nedeniyle ekstra kırılğan ve daha kalındır (Hassan vd., 2018).

Kompozitler

Kompozit filmler çok bileşenli sistemler olarak da adlandırılabilir (Dhumal ve Sarkar, 2018).

Kompozit filmler üretmenin temel amacı, belirli bir uygulamanın ihtiyacının gerektirdiği şekilde geçirgenliği veya mekanik özellikleri geliştirmektir. Bu yaklaşım, her bir film oluşturucu sınıfının farklı işlevsel özelliklerinden yararlanmayı sağlamaktadır. Bu heterojen filmler, ya karışmayan bileşenlerin bir emülsiyonu, süspansiyonu ya da dispersiyonu biçiminde veya ardışık tabakalar (çok tabakalı kaplama ya da filmler) halinde ya da ortak bir çözücü içinde bir çözelti biçiminde uygulanmaktadır (Bourtoom, 2018).

Kompozit kaplamalar ile kaplanmış ürünlere yapışma ve nem buharı geçirgenlik özelliklerini geliştirmek amaçlanmıştır. Aynı zamanda antimikrobiyal bileşikler veya antioksidan bileşikler içeren bir kompozit film, bakteri proliferasyonunu kontrol ederek randsiditeyi önleyebilir ve raf ömrünü iyileştirebilir (Lacroix ve Vu, 2014).

Nanometre ölçeğinde boyutlara sahip bileşenlere sahip olan polimer nanokompozit malzemeler, şu anda polimer ve malzeme bilimi, elektronik ve biyomedikal bilimi

alanlarında yoğun bir araştırma konusudur. Bir polimer nanokompozit, nanometre ölçeğinde boyuta sahip bir fiber, trombosit veya partikül ile güçlendirilmiş bir polimer matristen oluşan hibrit malzemedir. Polimer matrisi içinde dağılmış nanometre boyutundaki partiküller sayesinde, bu nanokompozitler, saf polimer veya geleneksel (mikroskopik) kompozitlerle karşılaştırıldığında, belirgin şekilde geliştirilmiş mekanik, termal, optik ve fizikokimyasal özellikler sergiler (Rhim ve Ng, 2007).

Film Katkıları

Yenilebilir filmlerin ve kaplamaların mekanik, fonksiyonel, organoleptik ve besinsel özellikleri, ambalajın temel işlevselliğini geliştirmeye olanak sağlayan plastikleştiriciler, yüzey aktif maddeler ve çapraz bağlayıcılar gibi bazı doğal veya kimyasal katkı maddelerinin eklenmesiyle geliştirilebilmektedir. Mekanik özellikleri iyileştirmek ve farklı film bileşenlerini stabilize etmek için takviyeler ve emülgatörler de uygulanabilmektedir. Film ve kaplama formülasyonuna bazı antimikrobiyal, antioksidan, aroma ve renk ajanlarının eklenmesiyle de paket gıdaların kalitesinin geliştirilebileceği bildirilmiştir (Ribeiro vd., 2021).

1.1.2. Yenilebilir Film ve Kaplama Üretim Metotları

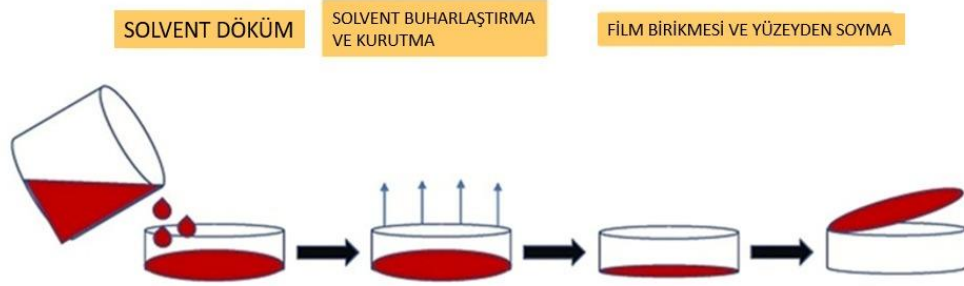
Yenilebilir filmler, yenilebilir malzemelerden çözücü döküm ve ekstrüzyon prosesleri olarak adlandırılan sırasıyla ıslak ve kuru işlemler olan iki farklı yöntemle elde edilmektedir (Suhag vd., 2020).

Çözücü Dökme Yöntemi

Çözücü döküm, laboratuvar ölçeğinde kullanılan en yaygın yöntemdir. Filmin oluşturulması için polimerik çözelti yüzeye yayılır ve ardından belirli bir süre boyunca havalandırılmalı bir fırında havayla kurutulur. Çözücünün buharlaşmasını takiben film, zarar görmeden yüzeyden soyulur (Parreidt vd., 2018; Suhag vd., 2020).

Filmin yapısı, döküm çözeltisinin bileşimine, ıslak döküm kalınlığına, kurutma koşullarının sıcaklığına ve bağıl nemine bağlıdır. Çözücü konsantrasyonunun çok hızlı

azalması dolayısıyla polimer zincirinin hareketliliğini ve filmdeki moleküller arası etkileşimlerin gelişmesini sınırlaması nedeniyle döküm çözeltisinin hızlı kurumasından kaçınılmalıdır (Parreidt vd., 2018).

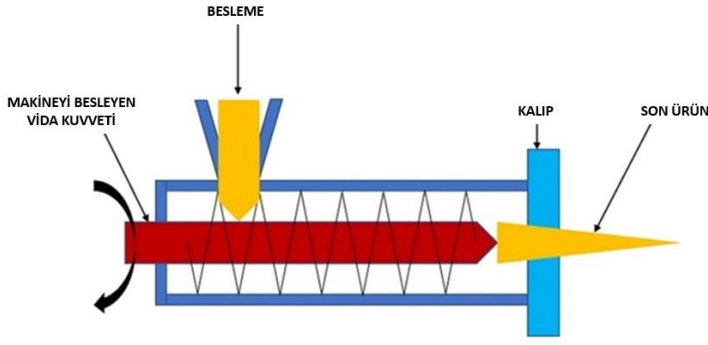


Şekil 1. Laboratuvar döküm yöntemi ile film oluşumu (Suhag vd., 2020)

Ekstrüzyon Yöntemi

Ekstrüzyon tekniği, polimerlerin termoplastik özelliklerine dayanmaktadır (Parreidt vd., 2018). Plastikleştirici içeren film çözeltisi, düşük su içeriği koşullarında camsı geçiş sıcaklığının üzerine ısıtılır. Bu yöntem, viskoelastik davranışa sahip polimerlerin oluşumuna yol açan sıkıştırma, döküm ve ekstrüzyon olaylarını kapsamaktadır (Suhag vd., 2020).

Ekstrüzyon yöntemi, çözücü ilavesi ve buharlaştırma aşamalarının olmaması nedeniyle ticari uygulamalar için uygun bir alternatiftir (Suhag vd., 2020). Çok katmanlı filmler oluşturmak için ko-ekstrüzyon tekniği kullanılabilir. Ancak film oluşturan her malzemenin kimyasal-fiziksel özelliklerindeki farklılıklar nedeniyle mekanik, optik ve bariyer kusurları ortaya çıkabilir (Parreidt vd., 2018).



Şekil 2. Ekstrüzyon teknolojisi ile film oluşumu (Suhag vd., 2020)

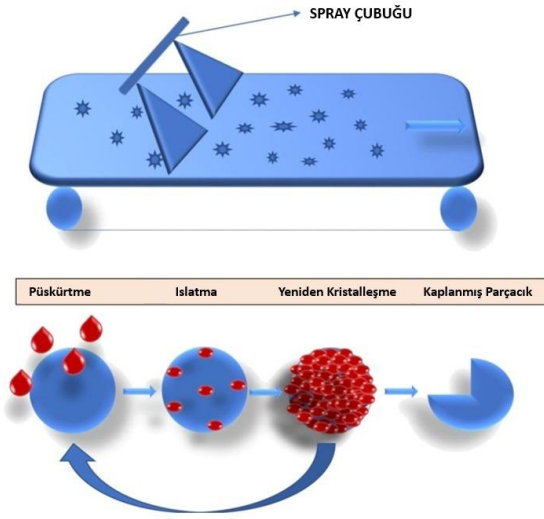
1.1.3. Filmlerin Gıdalara Uygulanma Yöntemleri

Gıda ürünlerine uygulanan kaplama malzemelerinin etkinliği, daldırma, püskürtme, akışkan yatak gibi uygulanan tekniklerden etkilenmektedir. Yöntemin seçimini kaplanması gereken gıdanın doğası, yüzey özellikleri ve kaplamanın temel amacı etkilemektedir (Suhag vd., 2020).

Püskürtme Yöntemi

Püskürtme yöntemi, gıda ürünlerinin yüzeyinde nozüllerin yardımıyla yarı geçirgen bir zar oluşturmak amacıyla kaplama çözeltisinin damlacıklar oluşturarak hedeflenen yüzeye dağıtılmasıdır (Parreidt vd., 2018; Ribeiro vd., 2021).

Püskürtme tekniği, yüksek püskürtme basıncı (yaklaşık 60–80 psi) nedeniyle iyi bir kaplama elde etmek için daha az miktarda kaplama malzemesine ihtiyaç duyması, homojen kaplama, kalınlık kontrolü, çok katmanlı uygulama imkânı, kaplama çözeltisi kontaminasyonunun önlenmesi, çözeltinin sıcaklık kontrolü ve geniş yüzey alanlarında çalışabilmesi gibi çeşitli avantajlara sahiptir (Parreidt vd., 2018).

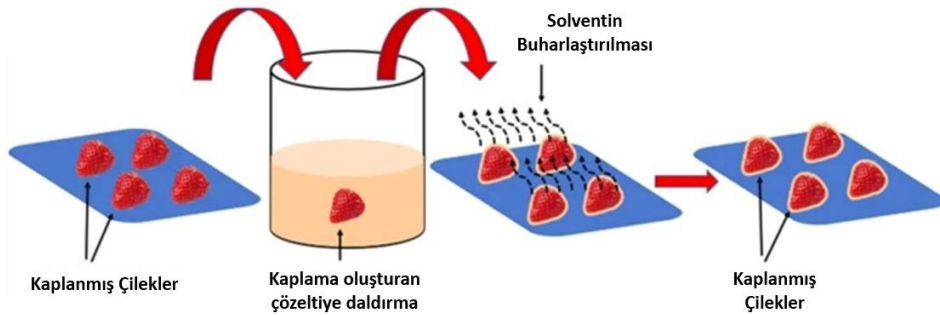


Şekil 3. Yenilebilir kaplamanın püskürtme uygulama yöntemi (Suhag vd., 2020)

Daldırma Yöntemi

Daldırma yöntemi daldırma ve bekletme, biriktirme ve çözücünün buharlaştırılmasını içeren üç adımdan oluşan yaygın olarak kullanılan bir film oluşturma yöntemidir (Suhag vd., 2020).

Daha çok meyve, sebze ve et ürünlerinde kullanılan bu yöntem tüm yöntemler arasında yüksek kalınlıkta kaplamalar oluşturabilen tek yöntemdir (Ju vd., 2019).



Şekil 4. Çilek meyvesine daldırma yöntemi ile yenilebilir kaplama uygulaması (Kumar vd., 2021)

Yayma Yöntemi

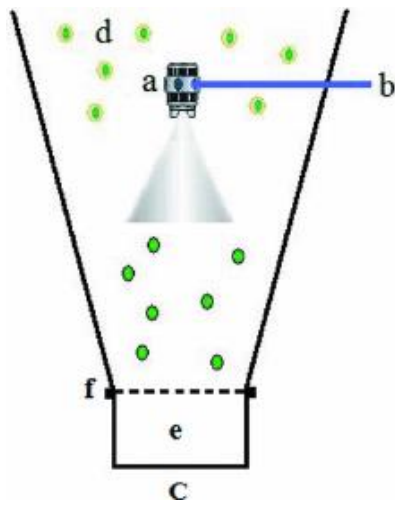
Bu yöntemde kaplama solüsyonu doğrudan ürün üzerine yayılır. Yayma yöntemi, insan faktörlerinden ciddi şekilde etkilenen bir yöntemdir (Ju vd., 2019).

Akışkan Yatak Yöntemi

Akışkan yatak, peletler, granüller veya tozlar gibi katı parçacıkların kaplanması için endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. (Pellicer vd., 2019). 1950'lerde ve 1960'larda oral farmasötik ürünler üretmenin bir aracı olarak ortaya çıkmıştır ve Wurster (alttan püskürtme), üstten püskürtme ve teğet spreynin klasik tasarımlarını ve bu tasarımların bir niş bulmuş varyasyonlarını içerir (Frey, 2014). Wurster akışkan yataklar, küçük parçacıkların film kaplaması için en yaygın kullanılan ekipman şeklidir (Pellicer vd.,2019).

Kaplama çözeltisi ve süspansiyon, akışkanlaştırılmış kaplama işleminde kabuk benzeri bir yapı oluşturmak için bir dizi nozül yoluyla akışkanlaştırılmış toz yüzeyine püskürtülür (Suhag vd., 2020).

Akışkan yataklı kaplama tipik olarak 100 μm 'den büyük partikül boyutlarıyla sınırlıdır (Zhang vd., 2020). Bunun nedeni konvansiyonel yataktaki tozların stabil bir şekilde akışkanlaşmaması veya daha küçük boyutlarda aşırı aglomerasyonlar oluşturmamasıdır (Suhag vd., 2020).



Şekil 5. Üstten püskürtmeli akışkan yataklı kaplama şeması

(a) Meme; (b) Çözelti kaplaması; (c) Giriş havası akışı, (d) Akışkan parçacıklar; (e) Plenum; (f) Distribütör plakası (Andrade vd., 2012)

1.2. Biyopolimerler

Biyopolimerler, kovalent olarak bağlanmış, zincir benzeri moleküller oluşturan monomerik birimlerden oluşan polimerlerdir (Othman, 2014). Doğal polimerler olarakta bilinen biyopolimerler, tüm organizmaların büyüme döngüleri sırasında doğal koşullar altında hücreler içinde karmaşık metabolik süreçlerle oluşturulan polimerler olarak tanımlanmaktadır (Rao vd., 2014).

1850'lerde bir İngiliz kimyager, biyo-selülozdan plastikleri elde etmiştir. Henry Ford, 20. yüzyılın başlarında, otomobillerinde soya proteinlerinden türetilen farklı polimerlerin kullanımını denemiştir. Daha sonra, 70'lerde, biyolojik olarak parçalanabilen polimerler, büyük petrol krizi sırasında ABD'de daha geniş ilgi görmüştür. 1980'lerde biyolojik olarak parçalanabilen filmler, levhalar ve kalıp oluşturan malzemelerden söz edilmiştir (Pellicer vd., 2017).

Biyo ön eki, biyopolimerlerin biyolojik olarak bozunabilir olduğunu belirtmektedir. Bu nedenle, biyopolimerler, çevreye karşı güvenli olan CO₂ ve H₂O gibi organik yan ürünleri geride bırakan doğal olarak oluşan organizmaların etkisiyle parçalanma yeteneğine sahiptir (Othman, 2014).

Polimerlerin bozunması mekanik, termal, kimyasal, biyolojik veya fotolitik işlemlerle sağlanabilmektedir. Bir polimer, güneş radyasyonu, rüzgâr ve ortam sıcaklığı gibi doğal ortamda değişen iklim koşullarına maruz kaldığında, yüzeydeki oksijenle birleşerek oksidatif bozunma reaksiyonlarını hızlandıran peroksitler veya hidroperoksitler oluşturmaktadır (Lizárraga-Laborín vd., 2018). Tarımsal hammaddeler (nişastalar) gibi yenilenebilir kaynaklar, enzimler ve mikrobiyal fermantasyon yoluyla çeşitli polimerlerin sentezi için bir öncü görevi görmektedir (Mangaraj vd., 2019).

Biyopolimerik maddeler yaygın olarak antimikrobiyal etki, gaz bariyeri, nem bariyeri ve biyolojik olarak parçalanabilir aktivite gibi farklı özellikler sağlayan hidrokolloidlerden (polisakkarit ve protein) ve lipitlerden türetilir (Luangapai vd., 2019). Araştırmalara göre biyopolimer esaslı ambalaj malzemeleri, menşe ve üretimlerine göre üç ana gruba ayrılabilir.

Grup 1: Biyokütleden doğrudan ekstrakte edilen polimerlerden oluşur. Nişasta, selüloz ve proteinler (kazein ve gluten gibi) gibi belirli polisakkaritler bu kategoriyi temsil eder.

Grup 2: Alifatik aromatik kopolimerler, alifatik polyesterler, polilaktit, alifatik kopolimer (CPLA) gibi klasik bir polimerizasyon prosedürü ile poli (laktik asit) ve poli (laktik asit) gibi yenilenebilir biyo bazlı monomerler kullanılarak sentezlenen polimerik malzemeleri ve poli-kaprolaktonlar gibi yağ bazlı monomerleri içerir.

Grup 3: Mikroorganizmalar veya genetiği değiştirilmiş bakteriler tarafından üretilen polimerler bu grubu oluşturur. Bugüne kadar, bu biyo-bazlı polimerler grubu esas olarak polihidroksi-alkanoatlardan oluşmuştur, ancak bakteriyel selüloz ve diğer polisakkaritlerle ilgili gelişmeler de devam etmektedir (Mangaraj vd., 2019).

Doğal polimerler (biyopolimerler) tarımsal üretimdeki ham maddelerden veya denizden elde edilmektedir. Bunlar gıda endüstrisinde farklı şekillerde kullanılabilir (Grujic vd., 2017).

Polisakkaritler (kitosan, nişasta, agar, selüloz, fursellaran, karagenan vb.) ve proteinler (jelatin, aljinat, kollajen, glüten, peynir altı suyu proteini vb.) sentetik ambalajlara bir alternatif olmaktadır (Jamróz ve Kopel, 2020). Biyopolimerler solunum hızını azaltabilir, nem göçünü, uçucu bileşiklerin kaybını ve dokusal özelliklerdeki değişiklikleri geciktirebilirler. Katı ve sıvı yağlar için mükemmel bariyerlerdir ve geleneksel sentetik filmlere kıyasla yüksek seçici gaz geçirgenlik oranı CO_2/O_2 'ye sahiptirler (Casariego vd., 2009). Ancak düşük mukavemet parametreleri ve su buharı ve oksijene karşı zayıf bariyer özellikleri gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajlar, bitki özleri gibi bileşenler veya matristeki kusurları tamamlayan film yapısına nano doldurucuların eklenmesi dahil olmak üzere farklı biyopolimerleri birbiriyle birleştirerek en aza indirilebilmektedir (Jamróz ve Kopel, 2020).

Yenilebilir/biyolojik olarak parçalanabilen ambalajlar üretmek için polisakkaritler, proteinler ve lipitler gibi yenilenebilir ham maddelerin sadece bir tanesi kullanılabilirken aynı zamanda iki ya da daha fazlasını birleştirmek de mümkündür. Ambalaj üretmek için hangi malzemelerin kullanılacağı, ürünün istenen kullanımına bağlıdır. Filmlere plastikleştiriciler, antioksidanlar veya antimikrobiyal maddeler gibi farklı katkıları eklenebilmektedir (Grujic vd., 2017).

Yapılan araştırmalarda nanokompozitler, biyopolimerlerin mekanik ve bariyer özelliklerini geliştirmek için umut verici olmuştur. Biyo-nanokompozit, sürekli faz veya matris, özellikle biyopolimer ve süreksiz nanoboyutlu faz veya nano dolgu maddesi (<100 nm) olan iki veya daha fazla bileşenden oluşan çok fazlı bir malzemedir. Matris gerilimi, aralarındaki sınır yoluyla nano dolduruculara aktarılır bu sayede nano boyutlu dolgu

maddeleri, matrisin mekanik ve bariyer özelliklerini geliştirmek için destek görevi gören yapısal bir rol oynar (Othman, 2014).

1.3. Nanokompozitler

Nanometre ölçeğinde boyutlara sahip bileşenlerden oluşan polimer nanokompozit malzemeler, polimer ve malzeme bilimi, elektronik ve biyomedikal bilimi alanlarında yoğun bir araştırma konusudur. Polimer nanokompozit, nanometre ölçeğinde boyuta sahip bir fiber, trombosit veya partikül ile güçlendirilmiş bir polimer matristen oluşan hibrit malzemedir. Polimer matrisi içinde dağılmış nanometre boyutundaki partiküller sayesinde, bu nanokompozitler, saf polimer veya geleneksel (mikroskopik) kompozitlerle karşılaştırıldığında, belirgin şekilde geliştirilmiş mekanik, termal, optik ve fizikokimyasal özellikler sergilemektedir (Rhim ve Ng, 2007).

Biyo-nanokompozitlerin kullanımı, biyolojik olarak parçalanamayan plastik ambalaj malzemelerinin değiştirilmesine imkân tanırken, mevcut biyopolimer bazlı ambalaj malzemelerinin özelliklerini iyileştirmek ve yeni işlevsellikler geliştirmek için umut verici bir çözüm olarak görünmektedir (Ramos vd., 2018).

Biyo nano-kompozitler, esas olarak bir biyopolimer (sürekli faz) ve en az 1–100 nm aralığında olan bir dolgu maddesi (süreksiz faz) olmak üzere iki veya daha fazla fazdan oluşmaktadır (Zubair ve Ullah, 2020). Gıda ambalajı için uygun biyonanokompozitler, nişasta, kitosan, polikaprolaktam, polilaktik asit, poli (bütilen süksinat), polihidroksi butirat, vb.'den oluşur. Bu matrisler için uygun nanofiller kaolinit ve montmorillonittir (Mohanty ve Swain, 2017).

1.3.1. Polisakkarit Bazlı Nanokompozitler

Yapısal bir birim veya enerji depolama birimi olarak herhangi bir canlı sistemin temel bir parçası olan polisakkaritler, biyosferdeki en üretken makromoleküllerdir. Polisakaritler, tek bir monosakaritten oluşan homo-polisakaritler veya iki veya daha fazla şekere sahip hetero-polisakaritler olabilir (Adeyeye vd., 2019).

Tüm doğal biyopolimer bazlı gıda ambalaj malzemeleri arasında nişasta, kolay bulunabilirliği, biyolojik olarak parçalanabilirliği ve düşük maliyeti nedeniyle en umut verici olanlardan biri olarak kabul edilir (Tang vd., 2012).

Nişastanın iki ana bileşeni amiloz ve amilopektindir. Amiloz, nispeten az sayıda α -1,6 bağlantılı dalı olan α -1,4 bağlantılı glikoz kalıntılarının uzun lineer zincirlerinden oluşurken amilopektin, daha kısa α -1,4 bağlantılı glikoz moleküllerinden ve daha sık α -1,6 dallarından oluşan oldukça dallı bir moleküldür (Burrell, 2003). Nişasta granülleri boyut (1 ila 100 μ m çap), şekil (poligonal, küresel, mercekli), amiloz ve amilopektin moleküllerinin içeriği, yapısı ve organizasyonu, amilopektinin dallanma mimarisi ve kristallik derecesi açısından büyük ölçüde çeşitlilik gösterir. Bu eşitlilik, nişasta işlevselliğini etkiler (Copeland vd., 2009).

Nişasta oksitlenebilir ve indirgenebilir ve hidrojen bağları, eterler ve esterlerin oluşumuna katılabilir. Nişastanın hidrofilitliği, bazı bozunabilir hidrofobik polimerlerin bozunma hızını iyileştirmek için kullanılabilir. Öncelikle, biyobozunur polimer üretimi için nişasta kullanımının üç yolu vardır. Birincisi, geleneksel yağ bazlı polimer malzemelerin biyolojik olarak parçalanabilirliğini artırmak için az miktarda nişasta içeren diğer plastikler ile nişasta bileşiminin formülasyonudur. İkincisi, nişasta içeriği kütlece yarıdan fazla olan nişasta kompozit formülasyonudur. Üçüncüsü ise granül nişastanın ekstrüzyon işlemidir (Kumar vd., 2017).

Nişasta genellikle termoplastik olarak kullanılır. Belirli miktarlarda su veya plastikleştiriciler ve ısı varlığında tahribat yoluyla plastikleştirilir ve daha sonra ekstrüde edilir. Bu nedenle termoplastik nişasta neme karşı yüksek hassasiyete sahiptir. Nişastaların neme karşı zayıf direnç göstermesi ve mekanik özellikleri kullanımlarını kısıtlamaktadır. Bu özellikleri geliştirmek için nişastalar çeşitli biyopolimerler ve bazı katkı maddeleri ile birleştirilir (Mangaraj vd., 2019).

Selüloz, bitkilerin hücre duvarında önemli bir yapısal bileşen olan, dallanmamış β -1,4-bağlı glukoz zincirlerinden oluşan yaygın olarak bulunan bir biyopolimerdir (Taylor, 2008). Selülozik dolgu maddeleri, güçlü polar karakterleri nedeniyle, kompozit malzemelerde kullanıldıklarında üç ana sınırlamaya yol açan bazı dezavantajlar sergilemektedir. Bunlar; genel olarak kullanılan hidrofobik polimer matrislerle zayıf uyumlulukları, hidrojen bağları yoluyla selüloz agregatlarının oluşumundan dolayı, matrisler içindeki zayıf dağılım durumları ve yaşlanma koşulları altında şişmeye ve mekanik özelliklerin kaybına neden olan suya ve hatta neme karşı güçlü hassasiyetleridir. Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için, selülozik dolgu maddeleri çeşitli yüzey modifikasyonlarına tabi tutulur. Bu modifikasyonlar, yeni fonksiyonel özelliklere sahip biyokompozitlerin geliştirilmesi için bir fırsat sunmaktadır (David vd., 2019).

Selülozun; selüloz asetat, selüloz sülfat, selüloz nitrat, karboksi metil selüloz, etil selüloz, metil selüloz ve nanoselüloz olmak üzere çeşitli türevleri vardır (Liu vd., 2021). Selüloz türevleri, üretim yöntemlerine ve ikamelerine göre örneğin, esterleştirme yoluyla ester-selüloz asetat ve eterleştirme yoluyla eter-metilselüloz/karboksimetil selüloz olarak gruplandırılabilir (Shaghaleh vd., 2018).

Kitosan hakkında detaylı bilgi Kitosan başlığı altında verilmiştir.

1.3.2. Protein Bazlı Nanokompozitler

Proteinler, işlevleri esas olarak amino asit bileşenlerine bağlı olan heterojen polimerlerdir. Genel olarak, protein filmi oluşumu, peptit zincirlerinin düzenlenmesi ve oryantasyonu ve kısmi denatüre peptit zincirlerinin yeni bağlarının oluşumunun takip ettiği kimyasal ve/veya fiziksel işleme polipeptit zincirinin kısmi denatürasyonunu içerir. Bu, protein matrisinin oluşumu ile sonuçlanır (Luecha vd., 2010).

Süt proteinleri esnek, tatsız ve şeffaf filmler oluşturur. Bu filmler, antioksidanlar, renklendiriciler ve antimikrobiyal maddeler gibi gıda katkı maddelerinin taşıyıcısı olabilirler. Bu yenilebilir filmler, düşük veya orta bağıl nemde daha iyi oksijen bariyeridir, ancak yine de su buharı geçirgenlikleri zayıftır (Mohamed vd., 2020).

Süt proteinleri kazeinler ve peynir altı suyu proteinleri olarak sınıflandırılır. Peynir altı suyu proteini, kazein proteininin çöktülmesinden sonra elde edilir (Mohamed vd., 2020). Yenilebilir filmler oluşturmak için kullanılan peynir altı suyu proteini izolatu (WPI), peynir altı suyu proteininin en saf şeklidir (%90 protein) (Ramos vd., 2012; Mohamed vd., 2020).

Peynir altı suyu proteini izolatları (WPI), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek yoğunluklu polietilen, etilen vinil alkol, vinil alkol, poliviniliden klorür (PVDC), selofan ve polyester ile karşılaştırıldıklarında umut verici mekanik özelliklerin yanı sıra orta düzeyde nem geçirgenliği ve iyi oksijen bariyeri özellikleri gösterir (Ramos vd., 2012).

Wakaia ve Almenar (2015) yaptıkları çalışmada WPI filmlerinde MMT ilavesinin katı madde göçünü önemli ölçüde azalttığını ve WPI filmlerinin özelliklerini değiştirdiğini bildirmiştir.

Azevedo vd. (2015) MMT3CA5 [3 MMT (g·100 g⁻¹ WPI) / 5 Sitrik Asit CA (g·100 g⁻¹ WPI)] eklenerek oluşturulan filmin, daha elastik, delinmeye karşı dayanıklı ve kararlı olduğunu ve bu filmin aktif madde taşıyıcısı olarak kullanılmasının, gıda paketlenme

uygulamalarına yönelik aktif filmlerin geliştirilmesi için umut verici bir alternatif olacağını bildirmiştir.

Kullanılan diğer bir hayvansal protein, kolajenin hidrolizinden elde edilen jelatindir. Jelatin, çeşitli hayvanlardan ucuza elde edilen, belirgin bir rengi veya tadı olmayan bir polipeptit ve protein karışımıdır. Asidik veya alkali ortamda kollajenin orta derecede termal denatürasyon ürünüdür (Yang vd., 2021).

Farahnaky vd. (2014) yaptıkları çalışmada, filmlerin çekme mukavemeti kil içeriği ile doğru orantılıyken, kil ilavesi filmlerin uzama ve su buharı geçirgenliğinde azalmaya neden olmuştur. Nanokil, jelatin biyofilmlerinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmiştir.

Döküm yoluyla üretilen jelatin bazlı filmlerin takviyesi olarak kritik montmorillonitin konsantrasyonu, yüzey özellikleri üzerinde düşük etki ile mekanik özelliklerdeki iyileşme özelliklerine göre 5 g MMT/100g jelatin ile sınırlı görünmektedir (Flaker vd., 2015).

Nişasta üretimi sırasında mısır glütenu unundan ticari olarak üretilen mısır proteininin prolamin fraksiyonu olan zein, diğer protein filmlerine kıyasla neme karşı daha iyi bir bariyer ve oksijene karşı mükemmel bir bariyer oluşturan polar olmayan amino asitlerin yüksek içeriğinden dolayı orta derecede hidrofobiktir, zayıf mekanik özelliklere sahiptir. Filmlerin esnekliğini artırmak için çeşitli plastikleştiricilerin kullanımına ek olarak, zeinin diğer proteinler ve lipitler ile laminasyonu, sentetik polimerler veya biyopolimerler ile harmanlama, çapraz bağlama yaklaşımı, farklı nano dolgu maddelerinin dahil edilmesi gibi birçok hibrit yaklaşım oluşturulmuştur (Vahedikia vd., 2019).

Polipropilen (PP) filmler üzerinde sentetik polimer bariyer tabakasına alternatif olarak mısır zeini nanokompozit (CZNC) kaplamaların uygulanabilirliği incelenmiştir. Zein matriksine solüsyon interkalasyonu ile organomodifiye edilmiş montmorillonitin (OMMT) dahil edilmesi, kaplanmış PP filmlerin oksijen ve su buharı bariyerini önemli ölçüde iyileştirmiştir (Ozcalik ve Tihminlioglu, 2013).

Luecha vd. (2010) zein MMT nanokompozit filmleri, çözücü döküm ve üfleme ekstrüzyon yöntemleriyle başarıyla üretmiştir. Her iki yöntemle üretilen zein nanokompozit filmlerin termal direncinin, MMT içeriği arttıkça arttığı gözlemlenmiştir.

Soya proteini, soya yağı elde etmek için ekstraksiyon işlemi yoluyla soya fasulyesinden elde edilen bir yan üründür (Hammann ve Schmid, 2014). Soya proteinleri, %90'ı küresel yapıya sahip depolama proteinleri olan albümin ve globulin karışımından

oluşur. Ultrasontrifüj sedimantasyon fraksiyonlarına dayanarak, soya proteini, 2S, 7S, 11S ve 15S fraksiyonları olmak üzere dört ana kategoriye ayrılabilir. Soya proteinin %35'ini oluşturan 7S (konglisinin) ve %52'sini oluşturan 11S (glisin) iki ana fraksiyonu olarak karakterize edilir (Tian vd., 2018).

Soya fasulyesinden; soya unu (SU, %54 protein), soya proteini konsantresi (SPK, %65–72 protein), soya proteini izolatu (SPI \geq %90 protein) olmak üzere üç çeşit ticari soya proteini ürünü işlenir. SPI bazlı filmler diğer bitkisel protein bazlı filmlere göre daha net, pürüzsüz ve daha esnektir. Lipidler ve polisakkaritlerden hazırlanan filmlere kıyasla daha iyi gaz bariyeri özelliği gösterir (Song vd., 2011). Bununla birlikte, geliştirilen SPI bazlı filmlerin düşük mekanik özellikleri ve yüksek nem hassasiyeti, pratik uygulamalarını sınırlandırmıştır (Liu vd., 2017).

Echeverría vd., (2014) yaptıkları çalışmada, 10 g/100 g soya proteinine kadar farklı konsantrasyonlarda montmorillonit (MMT) ilavesinin, elde edilen nanokompozitlerin filmin fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Soya-MMT filmi, görünümü etkilemeden mekanik deformasyona, suda protein çözünürlüğüne ve su buharı geçirgenliğine karşı dirençte gelişme göstermiştir. Kil içeriği yükseldikçe daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Lee ve Kim (2010) yaptıkları çalışmada, soya proteini izolatu SPI kuru ağırlığına göre ağırlıkça %0,3,6,9,12 ve 15 oranında nanodolgu maddesi olarak montmorillonit MMT'nin kullanıldığı nanokompozit filmler hazırlamıştır. %3-12'lik MMT konsantrasyonları, kompozit filmlerin fonksiyonel özelliklerini iyileştirmek için optimal bulunmuştur.

1.3.3. Nano Dolgu Maddeleri

Nano dolgu maddeleri organik ve inorganik olmak üzere 2 gruba ayrılır. Organik nanoparçacıklara örnek olarak nanoselüloz (nanokristaller veya lifler), zein nanokristalleri, kitosan ve nişasta nanokristalleri, inorganik nanodolgunlar ise katmanlı nanokiller, çinko oksit (ZnO), titanyum dioksit (TiO₂), gümüş (Ag) ve karbon nanotüpler örnek verilebilir (Zubair ve Ullah, 2020).

Organik Nano-Dolgu Maddeleri

Polimer-kil nanokompozitler, organik polimer malzemelerden ve nano ölçekli kil dolgu maddelerinden oluşan bir hibrit malzeme sınıfıdır. Nanodolgu maddesi ve polimer matris arasındaki etkileşimlere bağlı olarak, aşağıdaki kompozit türleri tanımlanabilir (Rhim ve Ng, 2007).

Organokiller polimer ile karıştırıldığında taktoid (mikrokompozit), interkalasyonlu ve dağılmış (eksfoliye) yapıda üç tip kompozit elde edilir (Rhim ve Ng, 2007). Polimer, silikat levhalar arasında araya giremediğinde, faz-ayrılmış mikrokompozitler oluşur. Bireysel katmanlar ayrılmadığından, kil aglomeraları, polimerik matris içinde dağılmış mikro partiküller gibi davranır. Bu nedenle bu kompozitler sıklıkla “mikrokompozitler” olarak adlandırılır (del Mar Orta vd., 2020).

Katmanlı kil tabakaları arasına polimer zincirleri yerleştirildiğinde, ara katman mesafesinin artmasıyla interkalasyonlu nanokompozitler elde edilir. Eksfoliye (dökülmüş) nanokompozitler, tek tek kil tabakaları birbirinden ayrıldığı ve polimer matrisi içinde homojen olarak dağıldığında üretilir. Bu homojen dağılım, gelişmiş mekanik, termal ve bariyer özelliklerine sahip nanokompozitler sağlar (del Mar Orta vd., 2020).

İnterkalasyon/eksfoliasyon sürecini geliştirmek için, polimer polaritesini eşleştirmek amacıyla kil yüzeyinin kimyasal modifikasyonu sıklıkla gerçekleştirilir. İnorganik katyonların organik katyonlarla yer değiştirmesinden oluşan katyonik değişim en yaygın tekniktir, ancak organosilan aşılama, iyonomerlerin kullanımı veya blok kopolimer adsorpsiyonu gibi diğer orijinal teknikler de kullanılmaktadır (Chivrac vd., 2009).

Nanokiller, genellikle eser miktarda metal oksit ve organik madde içeren katmanlı silikatlardan veya kil minerallerinden yapılmış bir malzeme sınıfıdır (de Oliveira ve Beatrice, 2018). Farklı killer arasında, montmorillonit (MMT), kolay bulunabilirliği, iyi bilinen interkalasyon/eksfoliasyon kimyası, yüksek yüzey alanı ve yüksek yüzey reaktivitesi nedeniyle polimer nanokompozitlerde kullanım için en geniş kabul edilebilirliğe sahiptir (Kotal ve Bhowmick, 2015).

Halloysit (HNT), içi boş, silindirik şekilli nanotüplere sahip doğal bir alüminosilikat kil mineralidir (Jamróz ve Kopel, 2020). Kaynak ve saflaştırma yöntemlerindeki farklılıkların bir sonucu olarak çok çeşitli HNT'ler mevcuttur (Li vd., 2021). HNT'ler tipik olarak 0,2-1,5 µm uzunluğundadır, iç ve dış çapları ise yaklaşık olarak. 10–30 nm ve 40–70 nm (Biddeci vd., 2016). Bu nedenle, HNT'ler, film performansını iyileştirmek için nano dolgu maddeleri olarak kullanılabilir nano yapı malzemelerdir (Li vd., 2021).

HNT güçlü mekanik özellikleri, metal oksitlerin ve metal nanopartiküllerin antimikrobiyal ve fotokatalitik özellikleri ile Halloysit üzerine aşılansarak entegre edilmiştir (Jamróz vd., 2019).

Ancak HNT'nin yüzey yapısı nedeniyle biyopolimer matrisi ile uyumluluğu nispeten düşüktür. HNT'nin yüzeyini değiştirmenin bir yolu, diğer bileşiklerle kovalent bağlar oluşturmaktır, ancak HNT yüzeyinin düşük hidroksil içeriği nedeniyle, kovalent bağlar oluşturmaya daha az eğilimlidirler. Bunun yerine, HNT'nin kovalent olmayan bir yüzey modifikasyonu önerilmiştir. HNT'nin kovalent olmayan yüzey modifikasyonu için, kitosan, pozitif yüklü kitosan'ın negatif yüklü HNT ile elektrostatik olarak etkileşime girebildiği HNT için bir yüzey değiştirici olarak kullanılmıştır (Roy ve Rhim, 2021).

Devi ve Dutta (2019) yaptıkları çalışmada, kitosan/nişasta/halloysit nanotüplerin (ChSHT) üçlü nanokompozit filmlerinin, geliştirilmiş su emme kapasitesi, suda çözünürlük ve su buharı iletim hızı (WVTR) gösterdiğini ayrıca hazırlanan tüm üçlü nanokompozit filmlerin bakteri geçirmez olduğunu bildirmiştir.

MMT, hektorit ve saponit en yaygın olarak kullanılan katmanlı silikatlardır (Rav ve Okamoto, 2003). Montmorillonit (MMT), 2:1 katmanlı fillosilikat veya simektitlerin yapısal ailesine aittir ve doğal olarak volkanik kayalarda (bentonitler) bulunur (Vilarinho vd., 2020). Kil katmanlarının istiflenmesi, ara katman veya tünel adı verilen katmanlar arasında düzenli bir van der Waals boşluğuna yol açar (de Oliveira ve Beatrice, 2018). MMT [(Na, Ca)_{0.33} (Al, Mg)₂ (Si₄O₁₀) (OH)₂·nH₂O)] yüzeyi zayıf negatif yüküdür çünkü oksit anyonları, arayüzde bulunan ve ışığın toplam negatif yükünü tabakaların kil minerallerinin yüzeylerine ileten yük dengeleyici anyonları (Si⁺⁴, Al⁺³, Fe⁺², Fe⁺³, Mg⁺²) etkiler (Vilarinho vd., 2020). Kilin negatif yükünün kapsamı, katyon değişim kapasitesi (CEC) ile karakterize edilir (de Oliveira ve Beatrice, 2018).

Kil partiküllerinin yüzey aktif madde ile kaplanması, kil partiküllerinin aglomerasyonunu önlemeye yardımcı olur, polimer ile uyumluluğu geliştirir ve böylece polimer matrisi içinde dağılmaya yardımcı olur. Organik olarak modifiye edilmiş montmorillonitin farklı ticari sınıfları, farklı yüzey aktif madde kaplamalarına ve dolayısıyla farklı düzlemler arası boşluklara sahiptir (Tan ve Thomas, 2016).

MMT, doğal formda (Cloisite Na⁺) veya Cloisite 10A gibi organik olarak modifiye edilmiş formlarda kullanılır (Lee vd., 2014). En çok kullanılan ticari organik olarak modifiye edilmiş MMT'ler, Cloisite 10A [değiştirici kuaterner amonyum tuzu (2MBHT)], Cloisite 15A [değiştirici kuaterner amonyum tuzu (2M2HT)], Cloisite 20A [değiştirici kuaterner

amonyum tuzudur] (2M2HT)], Kıl3 [sodyum montmorillonitin 3-aminopropiltrioksosilan (AP-TES) ile sililasyonu] ve Kıl4 [sodyum montmorillonitin viniltrimetoksosilan (VTMS) ile sililasyonu]dür (Vilarinho vd., 2020).

Selüloz nanokristalleri, dünyadaki en bol, yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilen kaynak olan selülozun asit hidrolizinden sonra üretilen kristal kalıntıdır (Xu vd., 2018). Sülfürik asidin hidrolizi, çözücü değişimi yöntemiyle organik çözeltilerde polikarbonatlarla doldurulmuş selüloz nanokristallerinin oluşmasına neden olur. Selüloz nanokristalinde bulunan hidroksil grubu, polikarbonatlarda bulunan karbonil grubu ile bir hidrojen bağı oluşturur (Jagadeesh vd., 2021).

Yixiang Xu vd., (2018), Üzüm pirina özütü (GPE) [Cabernet Franc (CF; kırmızı bir çeşit) veya Viognier (beyaz bir çeşit)] ve selüloz nanokristal (CNC) içeren kitosan nanokompozit filmler, çözücü döküm yöntemi kullanılarak hazırlandı. Kitosan nanokompozit filmlere tek başına CNC'yi (%5 a/a) dahil etmek, filmlerin gerilme mukavemetini önemli ölçüde (%132 oranında) arttırdı ve kopma uzamasını %36, su buharı geçirgenliğini %19 oranında azalttığı bildirilmiştir (Xu vd., 2018).

Nişasta, 1, 4-bağlı d glikoz birimlerinden oluşan polimerik karbonhidrattır. Nişasta polimerleri amiloz ve amilopektin olmak üzere iki ana forma ayrılabilir. Amiloz (%25-30) esasen doğrusal, α -1,6 -dal noktaları (~%1) içeren α -1,4 bağı polimerdir (~%99). Buna karşılık, amilopektin, her 20-30 glikoz biriminde bir α -1, 4 bağlantılı omurga ve α -1, 6 dal noktası içeren oldukça dallı bir yapıdır (Thakur vd., 2019). Nişastanın bu iki ana bileşeni, belirgin şekilde farklı özelliklere sahiptir. Sulu ortamda amiloz, amilopektine kıyasla daha fazla dağılma, jel ve film oluşturma ve ayrıca yeniden kristalleşme eğilimine sahiptir (Agarwal, 2021).

Nişasta, yapısı ve kolayca termoplastik malzemeye dönüşmesine yardımcı olan hidrojen bağı kaynaklı kristallliği nedeniyle biyopolimer film yapmak için potansiyel bir aday olarak kabul edilir. Bu malzeme, bozunma sıcaklıklarının altında kolaylıkla eritilebilir ve daha sonra yeniden şekillendirilebilir veya filmlere dökülebilir (Agarwal, 2021).

Yapılan çalışmalarda montmorillonit içeren ve çapraz bağı (örneğin sitrik asit) nişasta nanokompozitlerinin, nem emilimini azalttığı ve yüksek bağıl nemde şişerek bariyer özelliklerini iyileştirdiği bulundu. Gelişmiş fizikokimyasal özelliklere sahip karboksimetil nişasta (CMS) ve karboksimetil selüloz (CMC) hidrofilik filmlerini üretmek için yaygın olarak kullanılır (Bangar vd., 2021).

Muz nişastası, miniemülsiyon çapraz bağlama kullanılarak muz nişastası nanoparçacığı (BSN) olacak şekilde modifiye edildi ve film mekanik özelliklerini ve su buharı geçirgenliği WVP'yi geliştirmek için muz filmine dahil edildi. BSN ve Cloisite Na⁺ nanoparçacıklarının 1:1 (%5 a/a) karışımı, tek bir nanoparçacık kullanan filmlerle karşılaştırıldığında, muz nanokompozit filmlerin mekanik (%11 gerilme direnci artışı) ve su bariyeri (%41 için) özelliklerini iyileştirdiğini gösterdi. Bu nedenle, %5 oranında BSN ve nanokil karışımı, gıda ve farmasötik uygulamalar için biyomateryal ambalaj olarak biyopolimer filmleri güçlendirmek için yeterli bulunmuştur (Orsuwan ve Sothornvit, 2017).

Mango çekirdeklerinin, biyonanokompozit filmler için hem nişasta hem de nişasta nanokristallerinin (SNC) kaynağı olarak kullanıldığı çalışmada MKS filmlerine %5 SNC ilavesi, %15 daha düşük su buharı geçirgenliği sağlarken gerilme mukavemetlerini ve elastik modüllerini sırasıyla yaklaşık %90 ve %120 oranında arttırdığı bildirilmiştir (Oliveira vd., 2018).

İnorganik Dolgu Maddeleri

TiO₂ nanoparçacıkları yüksek stabiliteye, nispeten düşük maliyetli üretime, uzun ömürlü, güvenli, her türlü mikroba karşı potansiyel aktiviteye, optik ve yüksek kırılma indisine, dielektrik, katalitik özelliğe ve UV koruyucu ajana sahiptir. Sahip olduğu bu özellikler sayesinde pigmentler, dolgu maddeleri, katalizör destekleri ve fotokatalistler gibi endüstriyel uygulamalarda yararlanılır (Ghanbarzadeh vd., 2015).

Nano-ZnO, çok işlevli inorganik nanoparçacıklardan biri olarak, kimyasal kararlılık, düşük dielektrik sabiti, yüksek ışık geçirgenliği, yüksek kataliz aktivitesi, etkili antibakteriyel ve bakterisit ve yoğun ultraviyole ve kızılötesi absorpsiyon gibi birçok önemli özelliği nedeniyle son yıllarda artan bir ilgi görmektedir (Elashmawi vd., 2010).

Gümüş nanoparçacıklar (Ag-NP'ler), çok sayıda patojenik bakteri suşunun bulunduğu, Gram-negatif ve Gram-pozitif bakteriler de dahil olmak üzere geniş spektrumlu bakterilere karşı etkili bir biyosittir. Gümüş nanoparçacıklarla kaplanmış kâğıt, gıda muhafazasında daha uzun süre boyunca mikrobiyal büyümeyi önlemek için ilgi çekici bir ambalaj malzemesidir (Tran vd., 2013).

Elementel kükürt ve birçok kükürt bileşiği antimikrobiyal aktivite sergilediği bilinmektedir (Lupínková vd., 2021). Üç farklı tipte sülfür nanoparçacığı içeren fonksiyonel kitosan/SNP kompozit filmleri hazırlayan Shankar ve Rhim (2018), kitosan filminin

nanopartikül tipine bağlı olarak hidrofobikliği, mekanik mukavemeti ve su buharı bariyeri özelliğinin yanı sıra antimikrobiyal aktivitesini arttırdığını bildirmiştir (Shankar ve Rhim, 2018).

Silikon dioksit (SiO_2) ve silika nano partikülleri oldukça stabil, antimikrobiyal özelliğe sahip ve sindirim sistemi tarafından sindirilemeyen parçacıklardır (Shahbazi ve Shavisi, 2019). Tian vd., (2019) kitosan, kitosan/nano- TiO_2 ve kitosan/nano- SiO_2 kaplama filmlerinin fiziko-kimyasal özelliklerini belirlemiş ve daha sonra bu filmler ile kaplanan Ginkgo biloba tohumlarının depolama sırasında muhafazası araştırmıştır. Kitosan filme nano- SiO_2 partiküllerinin eklenmesinin, kompozit filmlerin çekme mukavemeti, su buharı ve gaz geçirgenliği dahil olmak üzere fiziksel-mekanik özelliklerini arttırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca Nano- SiO_2 ilavesi, Ginkgo biloba tohumlarında çürüme hızı, büzülme hızı, solunum hızı, etilen üretim hızı, elektrolit sızıntı hızı, süperoksit anyon üretim hızı ve malondialdehit (MDA) birikimini önemli ölçüde azaltmıştır.

Magnezyum olarak da bilinen magnezyum oksit (MgO), üretilebilirlik, büyük ölçekli üretime uygunluk ve düşük maliyet gibi birçok avantaja sahip olan beyaz higroskopik katı bir mineraldir (Sanuja vd., 2014). MgO nanoparçacıkları, yüksek antimikrobiyal aktiviteleri, termal stabiliteleri, toksik olmamaları, elektrik yalıtımı, UV bloke etme yetenekleri, fotokatalitik aktiviteleri ve potansiyel bir antibakteriyel ajan olmaları nedeniyle ilgi çekici fonksiyonel malzemelerdir (Wang vd., 2020).

Silva vd. (2017), MgO nanoparçacıklarını, ince kitosan filmlerin paketleme uygulamaları için fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullandı. Kitosan filmlere ağırlıkça %5 oranda MgO nanoparçacıklarının eklenmesi, çekme gerilimi ve elastikiyet modülünde sırasıyla %86 ve %38 oranında büyük bir artış sağlayarak nanokompozitin mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini bildirmiştir. Ayrıca, kitosan/ MgO nanokompozitleri, ambalaj malzemesine değer katabilecek termal stabilite, alev geciktirici özellikler, UV koruma ve nem bariyeri özellikleri sergilemiştir (De Silva vd., 2017).

1.4. Kitin ve Kitosan

1.4.1. Tarihçe

Kitinin tarihi Fransa'da on dokuzuncu yüzyılın başlarında kimyager Henri Braconnot'un daha sonra kitin olarak adlandırılacak olan bu maddeyi mantarlardan izole

ettiği çalışmalarla başlamıştır. Aslında muhtemelen kitin, deniz hayvanlarının kabukları üzerinde yaptığı deneyler sırasında, kütikülde “olağan kimyasallara özellikle dirençli bir materyalin” varlığını tespit ettiğini bildiren İngiliz kimyager Charles Hatchett tarafından keşfedilmiştir (Sandeep vd., 2013; Crini vd., 2019). Böcekler hakkında araştırma yapan bilim adamı Lassaigne, böceklerin ve bitkilerin yapısında aynı maddenin bulunduğunu keşfetmiştir ve bu maddeye "kitin" ismini vermiştir. Kitin adı, "dış kabuk" anlamına gelmektedir ve Yunancadan türetilmiştir (Sandeep vd., 2013). Kitin kavramı, 1843'te Lassaigne' nın Bombyx mori (ipekböceği) türünün dış iskeletlerinde yaptığı araştırmada kitin yapısında nitrojen varlığını değerlendirmesiyle daha detaylı olarak araştırılmıştır (Sandeep vd., 2013; Crini vd., 2019). Kitosan, ilk olarak bilim adamı Rouget tarafından 1859 yılında kitinin ısıtılmış potasyum hidroksit ile işlenmesinin onu organik asitlerde çözünür hale getiren kimyasal ve sıcaklık işlemleriyle kolayca türetilebileceğini bulmasıyla keşfedilmiştir (Santos vd., 2020). 1878'de Ledderhose, kitin'in glukozamin ve asetik asit moleküllerinin bir birleşimi olduğunu bildirmiştir. (Crini vd., 2019; Santos vd., 2020). Bununla birlikte, kitosan (Kite-O-San) adı, 1894 yılında Felix Hoppe-Seyler tarafından yengeç, akrep ve örümceklerin kabuklarının işlenmesinden hazırlanan asitte çözünür bir kitin türevidir olarak adlandırılmıştır. 1930'ların ortalarında, George W. Rigby tarafından ilk kitosan filmleri ve liflerinin patenti alınmıştır. 1950'de, x-ışını analiz yönteminin kullanılması, mantarlarda kitin veya kitosan varlığının araştırılması ve hücre duvarlarında kitin ve selüloz arasındaki ayrımı yapabilmek için en güvenilir yöntem haline gelmiştir (Crini vd., 2019).

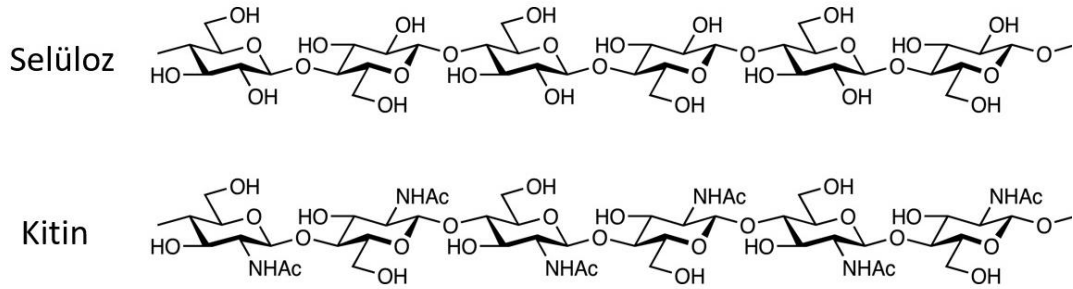
Günümüzde kitin, kitosan ve bunların sayısız türevlerinin 2000'den fazla uygulaması bulunmaktadır. Bu biyopolimerler, çok çeşitli modifikasyonlar ve formlarla bilim insanlarına ve endüstrilere yeni ufuklar açmaya devam etmektedir. (Crini vd., 2019).

1.4.2. Kitin ve Kitosanın Kimyasal Yapıları

Kitin

Kitin, poli (β -(1 \rightarrow 4)-N-asetil-D-glukozamin glukopiranoz yapısındadır (Abdulkarim vd., 2013). Yapıdaki birimler β (1 \rightarrow 4) glikozidik bağlarla birbirine bağlanarak lineer bir zincir oluşturur. Kitin, saf hali beyaz renkte, kısmen kristalli, tatsız ve kokusuz olan bir katıdır (Ramírez vd., 2010).

Kitin, hayvanlarda kolajene ve bitkilerde ise selüloza benzer bir role sahip olan yapısal bir biyopolimerdir. Bitkiler hücre duvarlarında selüloz üretirken böcekler ve kabuklular da kitin üretmektedir. Bu nedenle selüloz ve kitin, bitkilere ve hayvanlara yapısal bütünlük ve koruma sağlayan önemli ve yapısal olarak benzer olan iki polisakkarittir (Pillai vd., 2009). Ancak bu bileşikler C-2 pozisyonunda bulundukları grup yönünden farklılık göstermektedirler. Kitinin C-2 konumunda asetamid (-NHCOCH₃) grubu bulunurken selüloz hidroksil grubu bulundurmaktadır (Zargar vd., 2015).



Şekil 6. Kitin ve selülozun kimyasal yapıları (Kurita, 2006)

Kitin de tıpkı selüloz gibi yeryüzünde alfa, beta ve lamda olmak üzere 3 polimorfik formda bulunmaktadır. Kitinin moleküler düzeni, fizyolojik rolüne ve doku özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir ve polimorfik formları, ardışık tabakalardaki bitişik zincirlerin paketlenmesi ve polariteleri bakımından farklılık göstermektedir (Pillai vd., 2009).

Üç form arasında doğada en çok bulunan form olan alfa kitin en kararlı ve anti-paralel şeritler halinde düzenlenmiş formdur. Beta kitin paralel zincirler halindedir ve alfa formundan daha az kararlı yapıya sahiptir. %20 NaOH ile işleme tabi tutulmasının ardından su ile yıkamanın α -kitini β -kitine dönüştürdüğü bildirilmiştir (Pillai vd., 2009). Kitin ise alfa ve beta formlarının kombinasyonudur ve en az bulunan formdur (Hamed vd., 2016). Son çalışmalar, γ formunun α ailesinin bir varyantı olduğunu bildirmiştir (Pillai vd., 2009).

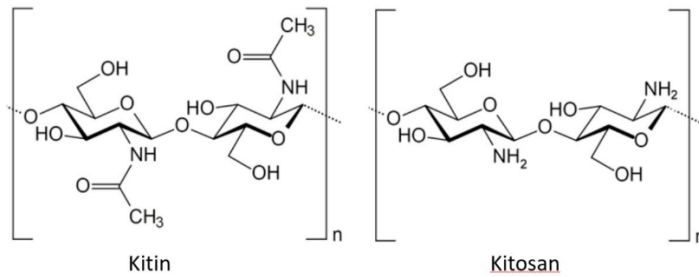
Kitin yapısındaki yüksek oranda genişletilmiş hidrojen bağlı yarı kristal yapısından dolayı çözünmemektedir ve bu bağ aynı zamanda şişmeyi ve reaktiviteyi kontrol etmektedir (Pillai vd., 2009; Younes ve Rinaudo, 2015).

Kitosan

Kitosan, D- glukozamin ve N-asetilglukozamin kopolimerlerinden oluşan, β -(1-4)-2-asetamido-d-glukoz ve β -(1-4)-2-amino-d-glukoz yapısında olan doğal bir polisakkarittir. (Abdulkarim vd., 2013; Elsabee ve Abdou, 2013). D-glukozamin ve N-asetil-D-glukozamin birbirine 1,4-glikozidik bağlar ile lineer olarak bağlanmıştır. Glikozidik bağlantılar, oksijen atomlarının (O1 ve O2) C6-C7 ve C10-C13 atomlarına bağlanmasıyla oluşturulmaktadır (Mujtaba vd., 2019)

Üç fonksiyonel grup, yani birincil ve ikincil hidroksil grupları ve amin grupları, tekrarlayan her kitosan molekülünde mevcuttur. Bu fonksiyonel gruplar, kitosana kimyasal modifikasyonlara uğramaya yatkın bir yapı kazandırmanın yanısıra çözünürlük ve genel mekanik özellikler de dahil olmak üzere kitosanın bazı önemli fizikokimyasal özellikleri üzerinde önemli bir rol oynamaktadır (Mujtaba vd., 2019)

Kitosan suda çözünmez ancak zayıf organik asit çözeltilerinde çözünür. Kitosan düşük pH'da, yapısında bulunan aminlerin protonlanması sayesinde pozitif olarak yüklenir. Bu da kitosanın suda çözünür bir katyonik polielektrolit ve proteinler, anyonik polisakkaritler (örn., aljinat, karagenan, pektin, vb.), yağ asitleri, safra asitleri ve fosfolipidler gibi negatif yüklü maddelerle kolayca etkileşime giren polikasyonik bir bileşik olmasını sağlamaktadır (Klinkesorn, 2013).



Şekil 7. Kitin ve kitosanın kimyasal yapısı (Younes ve Rinaudo, 2015)

1.4.3. Kitin ve Kitosanın Kimyasal Özellikleri

Asetilasyon ve Deasetilasyon Derecesi

Asetilasyon derecesi (DA; bir kimyasal bileşiğe bir asetil fonksiyonel grubu ekleyen bir reaksiyon), yani 2-asetamido-2-deoksi-D-glukopiranozun 2-amino-2-deoksi-D-glukopiranoz yapısal birimlerine oranı, kitin çözünürlüğü ve çözelti özellikleri üzerinde

önemli bir etkiye sahiptir. Kitinde, asetilasyon derecesi tipik olarak 0.90'dır (Zargar vd., 2015).

Deasetilasyon derecesi ise kitin kitosan'a dönüştürüldüğünde yükselen glukozamin/N-asetil glukozamin oranı olarak tanımlanır ve N-asetilglukozamin yüzdesi glukozaminden daha yüksek olduğunda, biyopolimere kitin, glukozamin yüzdesi N-asetilglukozamin'i yüksek olduğunda ise bileşiğe kitosan denir (Hamed vd., 2016). Kitosan, tipik DA değeri 0.35'ten az olan kitinin N-deasetillenmiş türevidir ve genellikle α -kitin'in birkaç saat boyunca 100-160°C'de %40-50'lik sulu alkali çözeltisi ile deasetilasyonu ile hazırlanmaktadır. Elde edilen kitosan, 0.95'e kadar bir deasetilasyon (DD) derecesine sahiptir (Zargar vd., 2015).

Kitosan polimer zincirinde çok sayıda D-glukozamin biriminin bulunması, kitosanın, seçilen asitler tarafından protonlanabilen birincil alifatik amin olmasına izin verir. Bu nedenle kitosan, katyonikliği ve buna bağlı olarak anyonik gruplarla polielektrolit kompleksleri oluşturma kapasitesi açısından kendine özgüdür. DA'daki ve dolayısıyla NH₂ gruplarının sayısındaki bir artış, görülebilir yük yoğunluğunun artması nedeniyle kitosan'ın kompleksleşme kapasitesinin güçlenmesine neden olur (Klinkesorn, 2013)

Çözünürlük

Kitin, yapısındaki hidrojen bağlarının yüksek yoğunluğu nedeniyle suda, çoğu organik çözücüde ve seyreltik asidik veya bazik çözeltilerde tamamen çözünmez ve bu nedenle kitin uygulamasından tam olarak yararlanılamaz. Kitini daha kolay çözünür hale getirmek için çeşitli kimyasal modifikasyonlar uygulanmıştır, bunlardan en önemlisi kitosan oluşturmak için N-deasetilasyondur (Qin vd., 2010).

Kitosan yapısında bulundurduğu serbest amino grupları kitosanı bazik polisakarit yapmaktadır. Bu nedenle, kitosan düşük pH çözeltilerinde (genellikle pH 6'nın altında) çözünür hale gelir. Bununla birlikte, nispeten daha yüksek bir asetilasyon derecesine (%50) sahip bazı kitozanlar, pH 7'de çözünür hale gelir (Pal vd., 2021).

Düşük pH'da, aminler protonlanır ve pozitif olarak yüklenir. Bu sayede kitosan suda çözünür bir katyonik polielektrolit haline gelir. Öte yandan, pH 6 ve üzerinde kitosanın aminleri protosuz kalır ve polimer yükünü kaybettiğinden dolayı çözünmez hale gelir. Çözünür-çözünmez geçişi, 6 ile 6.5 arasında bir pH civarında pKa değerinde meydana gelir. pKa değeri büyük ölçüde N-asetilasyon derecesine bağlı olduğundan dolayı kitosanın

çözünürlüğü de doğal olarak deasetilasyon derecesine ve kullanılan deasetilasyon yöntemine bağlıdır (Pillai vd., 2009; Zargar vd., 2015)

Kitosan, düşük pH değerlerinde kolaylıkla kuaterner nitrojen tuzları oluşturabildiğinden dolayı asetik, formik ve laktik asitler gibi organik asitler kitosanı çözebilmektedir (Pillai vd., 2009). %50'ye kadar yüksek organik çözücü konsantrasyonlarında kitosan, çözeltinin pürüzsüz kalmasını sağlayan viskozlaştırıcı olarak çalışmaya devam eder (Yeul ve Rayalu, 2013). Kitosanı çözmek için kullanılan en yaygın çözücü 4'e yakın bir pH'ta %1'lik asetik asittir. Ancak yüksek sıcaklıkta yüksek konsantrasyonlu asetik asit çözeltileri kitosan'ın depolimerizasyonunu sağlayabilir. Ayrıca kitosan, %1 hidroklorik asitte ve seyreltik nitrik asitte çözünür, ancak sülfürik ve fosforik asitlerde çözünmez (Pillai vd., 2009; Zargar vd., 2015). Alkali çözeltide veya polianyonlarla çökelerek düşük pH'da jel oluşturur (Sandeep vd., 2013) . Kitosan , dimetilformamid ve dimetil sülfoksit gibi herhangi bir organik çözücüde çözünmez. Asitleştirilmiş poliolde ise büyük ölçüde çözünmektedir (Pillai vd., 2009).

Kısmen deasetillenmiş kitinlerin çözünürlüğü, kristal yapıları, kristalliklerinin yanı sıra glukozamin içeriği ile de yakından ilgilidir (Pillai vd., 2009). Kitosanın çözünürlüğü üzerinde önemli etkileri olan birçok önemli faktör vardır. Bu faktörler arasında sıcaklık, alkali konsantrasyonu, deasetilasyon süresi, kitin/alkali çözeltisi oranı, partikül boyutu yer almaktadır. Bu nedenle, kitosanın çözelti özellikleri, yalnızca ortalama DA'sına değil, aynı zamanda moleküler ağırlığa ek olarak ana zincir boyunca asetil gruplarının dağılımına da bağlıdır (Pillai vd., 2009; Zargar vd., 2015).

Molekül Ağırlığı

Kitosan moleküler ağırlık açısından polidisperstir (Yeul ve Rayalu, 2013). Doğal kitin moleküler ağırlığı genellikle bir milyon Dalton'dan fazladır, ticari kitosan ürünleri ise ürünün prosesine ve derecesine bağlı olarak 100.000–1.200.000 Dalton moleküler ağırlık aralığına sahiptir (Klinkesorn, 2013; Yeul ve Rayalu, 2013). Bu geniş moleküler ağırlığı, düşük moleküler ağırlıklı kitosan (DMAK), orta moleküler ağırlıklı kitosan (OMAK) ve yüksek- moleküler ağırlıklı kitosan (YMAK) olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır (Kumirska vd., 2011).

Kitosanın yüksek viskozitesi çeşitli alanlardaki uygulamalarını sınırlayan ana faktörlerden biridir. Daha yüksek moleküler ağırlığa sahip kitosan çözeltisinin viskozitesi

daha yüksek olma eğilimindedir. Kitosanın moleküler ağırlığını azaltmak yalnızca viskoziteyi azaltmakla kalmayıp aynı zamanda çözünürlüğünü de iyileştirmiştir. (Klinkesorn, 2013) .

Genel olarak, yüksek sıcaklık, çözülmüş oksijen ve kesme gerilimi kitosan'ın bozulmasına neden olan etkenlerdir. Örneğin, 280 °C 'nin üzerindeki bir sıcaklıkta, kitosanın termal bozunması meydana gelir ve polimer zincirleri hızla parçalanır, böylece moleküler ağırlığı azalır (Yeul ve Rayalu, 2013).

Viskozite

Viskozite, kitosanın moleküler ağırlığının ve kullanılabilmesi ticari uygulamalarının belirlenmesinde önemli bir faktördür (Yeul ve Rayalu, 2013). Viskozite, kitosanın moleküler ağırlığının geleneksel olarak belirlenmesinde önemli bir faktördür. Daha yüksek moleküler ağırlıklı kitosan, genellikle endüstriyel kullanım için arzu edilmeyen yüksek viskoziteli çözeltiler sağlar (Hossain ve Iqbal, 2014).

Kitosan üretimi ve özellikleri deasetilasyon derecesi, moleküler ağırlık, çözelti konsantrasyonu, iyonik kuvvet, pH ve sıcaklık gibi işleme sırasındaki bazı faktörlerden etkilenmektedir. Örneğin, demineralizasyon süresinin artmasıyla veya ağartma ve donma dışında fiziksel ve kimyasal işlemlerde işlem süresi ve sıcaklığın artmasıyla viskozite azalmaktadır (Yeul ve Rayalu, 2013). Asetik asitte kitosan viskozitesi, pH azaldıkça artma eğilimi gösterir, ancak HCl'de pH azaldıkça azalır ve 'İçsel Viskozite' tanımına yol açar. İç viskozite, polimerlerin hidrodinamik özelliklerini karakterize etmek ve ayrıca Mark-Houwink denklemini kullanarak polimerlerin ağırlık ortalamalı moleküler ağırlığını belirlemek için kullanılan önemli bir reolojik parametredir. Kitosanın 'İçsel Viskozitesi' iyonlaşma derecesinin yanı sıra iyon gücünün işlevidir (Hossain ve Iqbal, 2014).

Yine kitin preparasyonlarında %3 NaOH ile deproteinizasyonun ve demineralizasyon aşamalarının ortadan kaldırılması, kitosanın viskozitesini azaltmıştır. Kitosan üretiminin 2 veya 6.4 mm gibi büyük partikül boyutlarına göre 1 mm gibi küçük partikül boyutlarıyla yapılması kitosanın hem viskozitesini hem de moleküler ağırlığını arttırmıştır (Yeul ve Rayalu, 2013).

Su ve Yağ Tutma Kapasitesi

Kitin için su bağlama kapasitesi %423 ile %648 arasında, kitosan için ise %581 ile %1150 arasında değişmektedir (Rout, 2001). Hossain ve Iqbal (2014) yaptıkları çalışmada karides kitosanın su bağlama kapasitesi %537,29 olarak bulunmuştur. Su tutma kapasitesi, demineralizasyon (DM) ve deproteinizasyon (DP) gibi adımların sırasından, deasetilasyon, dekolorizasyon aşamasından etkilenmektedir. Rout (2001) yaptığı çalışmaya göre deasetilasyon kitinin su bağlama kapasitesini arttırmıştır. Kitin üretmek için demineralize kabuğun deproteinizasyonu (DP) gerçekleştirildiğinde, su bağlama kapasitesi (WBC), demineralizasyonun deproteinizasyondan önce geldiği prosese kıyasla daha yüksektir. Dekolorizasyon işlemi su tutma kapasitesinde azalmaya neden olmuştur.

Kitosan üretimi sırasında dekolorizasyon aşamasının eklenmesinin kerevit kitosanlarının yağ bağlama kapasitesini azalttığı bulunmuştur. Dekolorizasyon uygulamasının kitosan viskozitesini etkilediği dolayısıyla azalan viskozitenin, yağ bağlama kapasitelerindeki azalma ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Rout, 2001).

Kitosan üretimi sırasında adım dizisindeki değişiklik, yani deproteinizasyondan önce demineralizasyonun yapılması yağ tutma kapasitesinde bir artışa neden olur. Karidesten izole edilen kitosanın yağ bağlama kapasitesi %326, akasyadan izole edilen kitosanın %307, bal arısından izole edilen kitosanın %304 ve böceklerden izole edilen kitosanın yağ bağlama kapasitesi ise %300 bulunmuştur (Marei vd., 2016). Bu değerler Nessa vd., (2010) yaptıkları çalışmasında elde ettiği %335.5–589.6 aralığından daha düşüktür.

Antimikrobiyal Etki

Kitosan, gıda bozulmasına neden olan mikroorganizmalara karşı gösterdiği antimikrobiyal etki nedeniyle gıdaların korunması için doğal kaynaklı çok yönlü biyopolimerler olarak tanımlanmıştır. (Aranaz vd., 2009).

Kitosanın antimikrobiyal aktivitesinin mekanizması henüz tam olarak aydınlatılamamakla beraber birkaç hipotez öne sürülmüştür (Abd El-Hack vd., 2020). Bunlardan bir tanesi, pozitif yüklü kitosan molekülleri ve negatif yüklü mikrobiyal hücre zarları arasındaki etkileşimler nedeniyle hücre geçirgenliğinde yaşanan değişiklikler sonucu

hücre içi bileşenlerin dışarı sızıp sitoplazmik zar bütünlüğünün bozulmasıdır (Hu ve Gänzle, 2019; Abd El-Hack vd., 2020).

Diğer mekanizmalar, mRNA ve protein sentezinin inhibisyonuna ve metallerin, spor elementlerinin ve temel besinlerin şelasyonuna yol açan mikrobiyal DNA ile diffüz hidroliz ürünlerinin etkileşimidir (Hu ve Gänzle, 2019; Abd El-Hack vd., 2020).

Kitosan ve kitosan oligomerlerinin antibakteriyel etkileri, patojen tipine, ortamın pH'ına, sıcaklığa, ortamdaki iki değerlikli metal iyonlarına, molekül ağırlığına, deasetilasyon derecesine (DD), kaynağına ve kitosan konsantrasyonu gibi temel faktörlere bağlı olarak değişmektedir (No vd., 2007; Hu ve Gänzle, 2019; Abd El-Hack vd., 2020).

Lactobacillus spp. dışındaki Gram pozitif bakteriler için 470 kDa kitosan en etkiliyken, gram negatif bakteriler için 1.106 kDa kitosan etkili olmuştur. Genellikle % 0,1 kitosan varlığında gram-pozitif bakteriler için gram-negatif bakterilere göre daha güçlü bakterisidal etkiler göstermiştir (Yeul ve Rayalu, 2013).

Düşük moleküler ağırlıklı kitosan, fitopatojenlere karşı yüksek moleküler ağırlıklı kitosana göre daha büyük bir inhibitör etkiye sahiptir (Yeul ve Rayalu, 2013).

Asetilasyon derecesi ve moleküler ağırlık, kitosanın yük yoğunluğunu değiştirerek antimikrobiyal aktivitesini etkilemektedir. Daha yüksek DD'ye sahip kitosan, daha yüksek bir pozitif yük yoğunluğuna sahiptir ve bu sayede negatif yüklü hücre yüzeyi ile daha güçlü bir elektrostatik etkileşime girerek gelişmiş bir antimikrobiyal aktivite gösterir (Hu ve Gänzle, 2019).

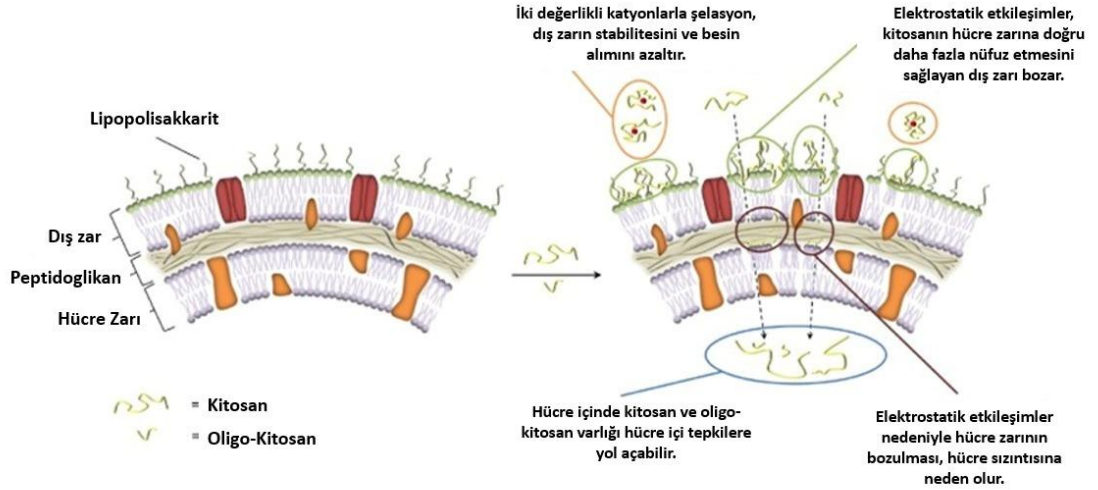
Ortamda 25 mmol l⁻³ konsantrasyonda Zn²⁺, Ba²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ dahil olmak üzere iki değerlikli metal iyonlarının bulunması iyonların hücre zarı üzerindeki negatif yükleri korumasından dolayı kitosanın inhibe edici aktivitesini zayıflatır (Hu ve Gänzle, 2019).

NaCl ve proteinler dahil olmak üzere gıda ortamında bulunan farklı bileşenler de kitosanın pozitif yüklerini koruyarak kitosan aktivitesini azaltabilir (Hu ve Gänzle, 2019).

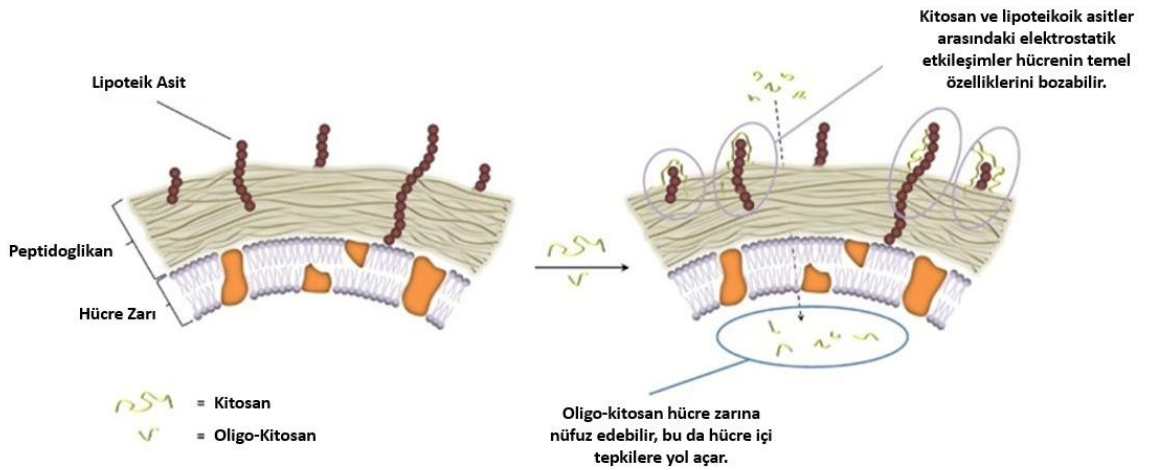
Ortamın pH'ı, kitosanın antimikrobiyal aktivitesi için çok önemli bir unsurdur. pH 6.5'in altında olduğunda kitosanın protonlanmasını destekler ve böylece antimikrobiyal aktivitesini artırır (Hu ve Gänzle, 2019; Abd El-Hack vd., 2020).

Kitosan deniz kabukluları veya mantar gibi farklı kaynaklardan elde edilebilir. Karşılaştırılan kabuklunun ve mantarın türüne bağlı olarak antimikrobiyal etki değişiklik gösterdiğinden dolayı direkt olarak kaynağa göre bir üstünlük söylemek mümkün değildir. Deniz kitosanı ile *Rhizopus oryzae*'den elde edilen mantar kitosanı karşılaştırıldığında, deniz kitosanı daha yüksek aktiviteye sahip çıkmasına rağmen shiitake mantarından elde edilen

ham mantar kitosanı, kabuklu kitosanından daha güçlü antimikrobiyal aktiviteye sahip çıkmıştır (Abd El-Hack vd., 2020).



Şekil 8. Kitosan ve oligo-kitosanın gram (+) bakterilere karşı etki mekanizması (Verlee vd., 2017)

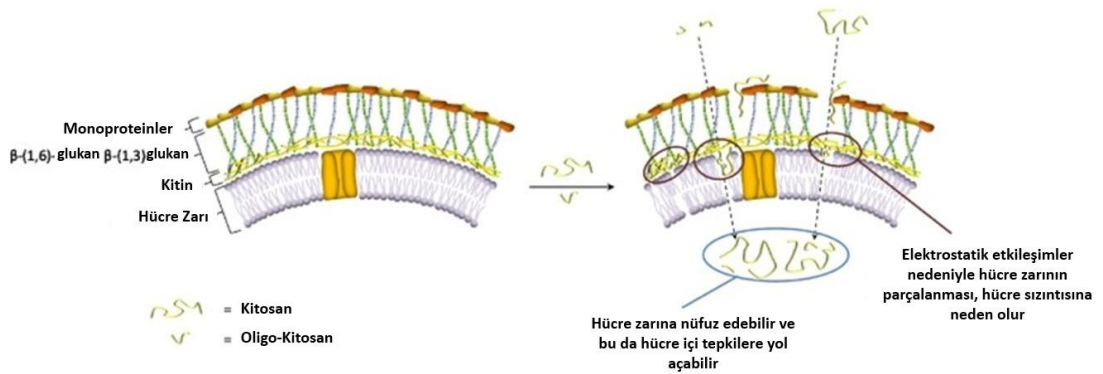


Şekil 9. Kitosan ve oligo-kitosanın gram (-) bakterilere karşı etki mekanizması (Verlee vd., 2017)

Antifungal Etki

Kitosan, *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani*, *Candida lambica*, *Phomopsis aspaagi* gibi küf ve mayalara karşı antifungal aktiviteye sahiptir. Mantar öldürücüden daha çok fungistatik özellik göstermektedir. Etki mekanizması, hücre duvarı yapısına bağlı olarak değişmektedir (Abd El-Hack vd., 2020).

Kitosanın üç farklı antifungal etki mekanizması vardır. Kitosan pozitif yükü sayesinde mantar zarının negatif yüklü fosfolipid bileşenleri ile etkileşime girer. Bunun sonucunda zarın geçirgenliği artar ve hücre içeriğinin dışarı sızması sağlanarak hücrenin ölümüne yol açılır. İkinci mekanizmada ise kitosan, eser elementlere bağlanarak bir şelatlama maddesi olarak hareket eder ve mantarların büyümesi için gerekli besin maddelerine ulaşamamasına neden olur. Üçüncü mekanizma, kitosanın mantarların hücre duvarına nüfuz ederek DNA'sına bağlanıp mRNA sentezini engelleyerek temel proteinlerin ve enzimlerin üretimini etkilemesidir (Yien vd., 2012)



Şekil 10. Kitosan ve oligo-kitosanın mantarlara karşı etki mekanizması (Verlee vd., 2017)

Antioksidan Etki

Kitosan, kitosan türevlerinin sentezlenmesiyle daha da artırılabilen antioksidan aktiviteye sahiptir. Kitosan monomerleri sahip oldukları amino ve hidroksil gruplarının serbest radikallerle reaksiyona girme özellikleri sayesinde süpürme yeteneğine sahiptirler. Güneş vd. kitosanın antioksidan aktivitesi ile moleküler ağırlığı arasında güçlü bir ilişki olduğunu bildirmiştir. Moleküler ağırlık azaldıkça antioksidan aktivite artmaktadır. Schreiber vd., doğal kitosanın (MW =307 kDa, DDA = %80) hiçbir indirgeme gücüne sahip olmadığını ve DPPH radikaline (%9.4) karşı önemsiz süpürme kabiliyetine sahip olduğunu

bildirdi. Öte yandan, kitosan üzerine gallik asidin aşılması, ürüne geliştirilmiş DPPH temizleme aktivitesi (%89,5) ve indirgeme gücü ($A_{700} = 0,51$) sağlamıştır. Yüksek moleküler ağırlıklı kitosanların serbest radikal süpürme yeteneğinin olmamasının nedeni olarak yaygın olarak bulunan molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağları görülmektedir. Yapılan tüm çalışmalar, kitosan omurgasına aşılana fenoliklerin antioksidan aktiviteyi artırıcı etkisi olduğunu bildirmektedir (Abd El-Hack vd., 2020).

1.4.4. Kaynakları ve Ekstraksiyon

Kitin doğada en çok bulunan doğal amino polisakkarittir ve mantarlar, bakteriler, böcekler, örümcekler, kabuklular, nematodlar ve annelidler, yumuşakçalar, kafadanbacaklılar, hemikordatlar gibi omurgasızların hücresel yapılarında yer almaktadır. (Kumar, 2000; Ogawa vd., 2004; Rinaudo, 2006).

Kabukluların dış iskeleti kitin üretimi için başlıca endüstriyel biyokütle kaynağıdır. Kabukluların kabuk atıkları türe ve mevsime bağlı değişiklikler göstermekle birlikte, protein (%20 – 40), kalsiyum ve magnezyum tuzları (esas olarak karbonat ve fosfat, %30 – 60), kitin (% 20 – 30) ve lipidlerden (%0 – 14) oluşmaktadır (Agulló vd., 2003).

Kitin ve kitosan ticari olarak Hindistan, Japonya, Polonya, Norveç ve Avustralya'da üretilmektedir (Kumar, 2000). Yıllık kitin üretiminin sadece zooplanktonda birkaç milyar ton olduğu ve neredeyse selüloz kadar üretildiği tahmin edilmektedir (Peter, 1995; Rinaudo, 2006). Balıkçılık endüstrisinden kaynaklanan atıkların, çevreye atılmadan direkt olarak verilmesi durumunda, su kütlelerinde sucül hayvanların ölümüne yol açacak ve yerel mikrofauna ve mikroflorayı etkileyebilecek fiziksel ve kimyasal değişikliklere neden olması ve bu kalıntının yüksek konsantrasyonlarda nitrojen, fosfor, organik karbon, askıda katı maddeler ve oksijen içerdiği göz önüne alındığında deniz ürünleri atıkları, kitin ekstraksiyonu için potansiyel bir hammadde kaynağıdır (Santos vd., 2020).

Çoğunlukla karides kabuklarından oluşan karides biyoatığı, toplam karides üretiminin yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır. Karides kabukları yaklaşık %10-20 oranında kitin içerdiğinden, karides kabuklarından kitin ve kitosan üretimi, ekonomik getiri sağlayacak ve karides biyoatıklarının çöplüklere atılmasından kaynaklanan kirlilik yükünü azaltacaktır (Polprasert, 2007). Kitosan üretimi, özellikle karotenoidlerin geri kazanımını içeriyorsa, ekonomik olarak çok daha kazançlıdır. Kabuklar, şimdiki kadar sentezlenmemiş bir karotenoid olan ve astaksantini önemli miktarda içermektedir. Astaksantin, su ürünleri

yetiştiriciliğinde, özellikle somon balığı için balık yemi katkı maddesi olarak pazarlanmaktadır (Kumar, 2000).

Kitosan, başta Mucor türleri olmak üzere birçok mantarda doğal olarak bulunmaktadır (Peter, 1995). Mantarlardan elde edilen kitinin kabuklu kaynaklara göre hammaddenin tek tip bileşimi, yıl boyunca mevcudiyeti ve demineralizasyon adımına gerek olmaması gibi bir takım avantajları bulunmaktadır (Agulló vd., 2003).

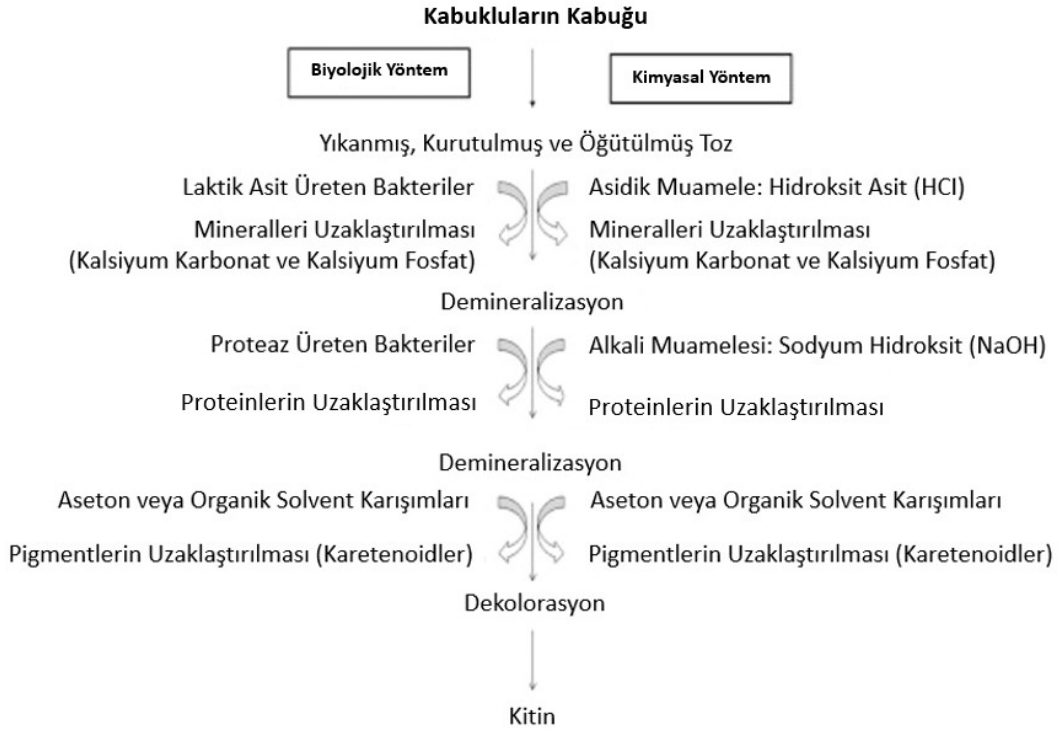
Kitin Eldesi

Endüstriyel işlemede, kitin, kalsiyum karbonatı çözmek için asit muamelesi ve ardından proteinleri çözmek için alkalın ekstraksiyonu ile kabuklulardan ekstrakte edilmektedir. Genellikle bu adımlara ek olarak, artık pigmentleri uzaklaştırmak ve renksiz bir ürün elde etmek için renk giderme işlemi uygulanmaktadır (Rinaudo, 2006)

Alkali koşullar altında kısmi deasetilasyon ile uygulamalar açısından en önemli kitin türevi olan kitosan elde edilmektedir (Peter, 1995).

Kitin elde etmek için kimyasal ve biyolojik olmak üzere iki tip yöntem kullanılmaktadır. Biyolojik yöntemlere kıyasla kimyasal yöntemlerin birçok dezavantajı olmasına (ekonomik olmayan, çevre dostu olmayan ve kitin fiziko-kimyasal özelliklerini olumsuz etkileyen) rağmen, işlem sürelerinin kısa olması bu yöntemin ticari açıdan daha çok tercih edilir hale getirmektedir. Aynı zamanda kimyasal yöntem kullanıldığında insan gıdaları ve hayvan yemleri için potansiyel olarak değerli takviyeler olmasına rağmen, taşınan proteinler ve minerallerin, bu uygulamalar için artık kullanılmayacak hale gelmektedir (Hamed vd., 2016) .

Tüm bunlardan dolayı kitinin geri kazanımı için daha güvenli ve ucuz bir yöntem olan biyolojik ekstraksiyona ilgi artmaktadır (Hamed vd., 2016). Basra Körfezi'ndeki bir karides türü atığından (*Penaeus Semisulcatus*) kitin ve kitosan'ın kimyasal ve mikrobiyal yöntemlerle ekstraksiyonu araştırıldığı çalışmada elde edilen sonuçlar mikrobiyal yöntemin özellikle kitin geri kazanımında kimyasal yöntemle göre daha etkili olduğunu göstermiştir (Khanafari vd., 2008).



Şekil 11. Kimyasal ve biyolojik yöntemlerle kitin ekstraksiyonu (Hamed vd., 2016)

Biyolojik Yöntem

Bu yöntemde laktik asit üreten bakteriler, kabuklu kabukların demineralizasyonu için kullanılır. Deproteinizasyon için, bakterilerden gelen proteazlar proteinleri ortadan kaldırır. Biyolojik arıtma, kabuklu biyoatıklarının *Pseudomonas aeruginosa K-187*, *Serratia marcescens FS-3*, *Bacillus subtilis* (Jo vd., 2008) gibi farklı laktik veya laktik olmayan bakteri türleri tarafından fermentasyonu ile sağlanır. Karides kabuğu atıklarının fermentasyonu sırasıyla %97,1 ve %92.8 deproteinizasyon ve %95 ve %92 demineralizasyon ile sonuçlanmıştır (Hamed vd., 2016).

Kimyasal Yöntem

Farklı kaynaklardan elde edilen kabuklar yıkanır, kurutulur ve ezilerek veya toz hale getirilerek boyutları küçültülür. Geleneksel kimyasal yöntemler demineralizasyon, deproteinizasyon ve renk giderme olmak üzere 3 adımdan oluşur. İlk adım, mineral bileşenleri (kalsiyum karbonat ve kalsiyum fosfat) uzaklaştırmak için toz hammaddenin

tercih edilen reaktif olan HCl ile asidik işlenmesidir. Demineralize edilmiş kabukların proteinden arındırılması için alkali ile muamele edilir. Renksiz ürün isteniyorsa renk açma adımı eklenir. Karotenoidler gibi pigmentleri uzaklaştırmak için aseton veya organik bir çözücü karışımı kullanılır (Hamed vd., 2016) .

Kitosan Eldesi

Kitinden kitosan eldesi kimyasal yöntem ve biyolojik yöntem olmak üzere iki tipte kategorize edilebilir (Kou vd., 2021).

Kimyasal Yöntem

Kitin demineralizasyonu, deproteinizasyonu ve diskolorasyonundan sonra elde edilen ham maddeye deasetilasyon (kitin %40 - %50 (a/a) ısıtılmış alkali solüsyonu, örneğin NaOH solüsyonu kullanılarak kitosan'a dönüştürülmesi) işlemi uygulanır (Hamed vd., 2016; Kou vd., 2021). Demineralizasyon, deproteinizasyondan önce uygulanırsa CaCO₃'ü çözümlenerek kabuk malzemesinde daha fazla yüzey alanı oluşturabilir ve daha sonraki deproteinizasyon reaksiyonunu hızlandırabilir (Kou vd., 2021).

Alkali işlemler asetil gruplarını hidrolize eder ve N-asetil-D-glukozamin birimlerini serbest NH₂ grupları ile D-glukozamin birimlerine dönüştürür. Reaksiyon sıcaklığına, süresine ve alkali çözeltisinin konsantrasyonuna bağlı olarak farklı deasetilasyon derecelerine sahip kitosanlar üretilir (Hamed vd., 2016) .

Alkali arıtmanın çevre kirliliğine neden olması, önemli miktarda enerji gerektirmesi ve düşük kaliteli kitosan üretmesi sebebiyle çeşitli dezavantajlara sahiptir (Hamed vd., 2016) . Kısa işlem süresi, nihai ürünün yüksek %DD'si, endüstriyel ölçekte kullanılması ve organik tuzların tamamen giderilmesi gibi avantajları vardır (El Knidri vd., 2018).

Biyolojik Yöntem

Kabuklu yan ürünlerinden kitosan elde etmek için kullanılan biyolojik yöntemler enzimatik yöntemler ve fermantasyon yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır (Kou vd., 2021).

Enzimatik Yöntem

Enzimatik yöntemler, kimyasal yöntemlerle aynı demineralizasyon mekanizmasını paylaşmakla birlikte bu işlemde, 25-59 °C civarında daha düşük sıcaklıklarda yapılan deproteinizasyon ve deasetilasyon reaksiyonlarının yerini enzimlerle yapılan alkali ve yüksek reaksiyon sıcaklıkları alır (Kou vd., 2021).

Enzimatik deproteinizasyon için çeşitli proteinazlar geliştirilmiştir ve bu enzimler genellikle mikroplardan veya balık bağırsaklarından örneğin sardalya (*Sardinella aurita*) ve gri tetik balığının (*Balistes capriscus*) bağırsağından elde edilen ekstraktlardır. Benzer şekilde, *Bacillus licheniformis*'ten elde edilen Alcalase gibi deasetilazlar balık bağırsaklarından veya mikroplardan da ekstrakte edilebilir. Genetiği değiştirilmiş mikroorganizmaların deproteinizasyon ve deasetilasyon reaksiyonları için başka bir enzim kaynağı olduğu bildirilmiştir (Kou vd., 2021).

Enzimatik yöntem, deproteinizasyon ve deasetilasyon için kullanılan enzimlerin kimyasal yöntemlerde kullanılan bazlardan çok daha pahalı olması, deproteinizasyon esnasında kabuklardaki proteinlerin son kalan %10'unu elimine edemediği için kimyasal yöntemlerden daha az etkili olması ve daha düşük DD değerine sahip kitosanların elde edilmesi gibi kimyasal yönteme göre çeşitli dezavantajlara sahiptir (Kou vd., 2021).

Enzimlerin pahalı olması sorununu çözmek için alternatif olarak fermantasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Mikroplar hızla çoğalabilirken optimize edilmiş reaksiyon koşulları altında reaktörlere enzim salgılamaya devam ederek yüksek enzim maliyetini düşürmektedirler (Kou vd., 2021).

Fermantasyon Yöntemi

Fermantasyon yöntemleri, çalışmalarda kullanılan mikrobiyal suşların demineralizasyon reaksiyonu için asit olarak laktik asit veya diğer organik asitleri salgılamasına bağlı olarak, laktik asit fermantasyon yöntemleri ve laktik asit olmayan fermantasyon yöntemleri olmak üzere iki alt kategoriye ayrılabilir (Kou vd., 2021).

Laktik asit uygulamasında, demineralizasyon aşamında bakteriler tarafından üretilen laktik asit uygulanır, deproteinizasyon fermantasyon ortamına salgılanan proteazlar tarafından, dekolorizasyon aseton veya organik çözücüler ve deasetilasyon aşamasında bakteriler tarafından üretilen kitin deasetilaz kullanılır. Nihai ürünün yüksek kalitesi, çevre

açısından güvenli olması ve uzaklaştırılan minerallerin ve proteinlerin insan ve hayvan besinleri olarak kullanılması gibi avantajlara sahiptir. İşlem süresinin uzun olması ve laboratuvar ölçekli çalışmalarla sınırlı olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (El Knidri vd., 2018).

Kitin ve kitosan üretimi için *Bacillus subtilis* kullanılarak jaggery et suyunda karides (*Metapenaeopsis dobsoni*) kabuğunun fermantasyonu, üretilen asit seviyesinin yanı sıra *B.subtilis*'in proteolitik aktivitesinin kabuk demineralizasyonuna ve deproteinizasyona izin verdiğini göstermiştir. Fermantasyondan sonra karides kabuğundan proteinin yaklaşık %84'ü ve minerallerin %72'si çıkarılmıştır (Arbia vd., 2013).

1.4.5. Kitin ve Kitosanın Gıda Endüstrisinde Kullanım Alanları

Kitosan, çözünürlük, biyoyumluluk, biyobozunurluk, toksik ve alerjik olmama, antioksidan, antifungal, anti-trombojenik, antikanser ve antimikrobiyal etki, anti-kolesterik ajan, film oluşturma ve nemlendirme özellikleri sayesinde insan yaşamının ve sağlığının neredeyse tüm alanlarında çok tercih edilen bir biyopolimerdir (Pillai vd., 2009; Zargar vd., 2015; Mujtaba vd., 2019).

Kitin ve kitosan atık su arıtımında (metal iyonlarının uzaklaştırılmasında, boyar maddelerde ve arıtma proseslerinde membran olarak), gıda endüstrisi (anti-kolesterol ve yağ bağlayıcı, diyet lifi, ambalaj malzemesi, koruyucu ve gıda katkı maddesi), tarım (tohum ve gübre kaplama, kontrollü zirai ilaç salınımı), kağıt hamuru ve kağıt endüstrisi (yüzey işleme, yapışkanlı kağıt), kozmetik (vücut kremleri, losyonlar vb.), doku mühendisliğinde, yara iyileşmesinde, ilaç dağıtımı ve gen aktarımı için eksipiyanlar olarak birçok uygulama alanına sahiptir (Zargar vd., 2015).

Kitosanın gıda kalitesi üzerindeki etkileri gıda matrisine bağlı olarak değişmekle birlikte, lipit içeren gıdalarda doğal bir antioksidan, sosların hazırlanmasında koyulaştırıcı ve stabilizör, meyve sularında asitlik düzenleyici ve berraklaştırıcı, süzölmüş meyve suyunda enzimatik esmerleşmeyi kontrol edici, mayonez hazırlamada emülsifikasyon artırıcı, et ürünlerinde renk stabilizasyon maddesi, sosiste sertleştirici, meyve ve sebzelerde iç atmosferi değiştiren ve fungistatik özelliği olan koruyucu film, ekmekte nişasta retrogradasyonunu geciktirici ve mikrobiyel büyümeyi engelleyici, nem bariyeri özelliklerinden dolayı yumurtada koruyucu bariyer olarak görev almaktadır (No vd., 2007); Klinkesorn, 2013; Abd El-Hack vd., 2020).

Kitosan, Kore'de 1995'ten Japonya'da 1983'ten beri gıda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Çin'de kitosan, 2007'den beri et ürünlerinde bir gıda kalınlaştırıcı olarak onaylanmıştır (Li ve Xia, 2011; Klinkesorn, 2013).

Kitin ve Kitosanın Yenilebilir Film Endüstrisinde Uygulamaları

Modern gıda teknolojisinin sağlık eğilimi göz önüne alındığında, ambalaj malzemesi olarak biyo bazlı aktif filmlerin kullanımı çok önemlidir. Kitosan bazlı yenilebilir filmler biyolojik olarak parçalanabilir ve ambalajdaki ürünle birlikte tüketilebilir. Ayrıca, içindeki gıdanın görünümünü ve kalitesini koruyan bir kabuk oluşturan iyi mekanik özelliklere sahip şeffaf filmler oluştururlar (El-Aidie, 2018).

Kitosanın geleneksel çevre dostu olmayan petrol bazlı malzemelerin yerini alması için, düşük maliyetle büyük ölçekli üretimiyle ilişkili teknik engellerin iyileştirilmesi gerekmektedir (Souza vd., 2020).

Kitosan, ambalaj materyali olarak kullanılan diğer biyomolekül bazlı aktif filmlerle karşılaştırılmış ve bildirilen sonuçlar, kitosanın antibakteriyel aktivitesi ve bivalent mineral şelatlama yeteneği nedeniyle daha fazla avantaja sahip olduğunu göstermiştir (Aider, 2010).

Son ürünün duyu özellikleri üzerinde istenmeyen değişikliklerin olma olasılığı kitosanın film ve kaplama olarak kullanımını sınırlayan ana faktördür. Bununla birlikte, kitosan filmlerinin su buharını yüksek oranda geçirgen olması, nem transferinin etkin bir şekilde kontrol edilmesi gerektiği çoğu gıda için kullanımını sınırlamaktadır. Bu nedenle, kitosan filmlerin mekanik özelliklerini geliştirmek için nötr lipidler, yağ asitleri mumları ve kil ilavesiyle hidrofobikliği artırma, çapraz bağlama ajanlarının eklenmesi, ışınlama ve ultrasonik işlemlerin uygulanması gibi çeşitli stratejiler kullanılmıştır. Kitosan bazlı filmlerin fonksiyonel özellikleri, onları diğer hidrokolloidlerle (kitosan/pektin, kitosan/jelatin, kitosan/nişasta gibi) birleştirerek geliştirilebilir (Elsabee ve Abdou, 2013).

Hidrofilik yapıları nedeniyle doğal polimerler sentetik polimerlere kıyasla daha düşük mekanik mukavemete ve yüksek nem bariyerine sahiptir. Kitosan bazlı biyolojik olarak parçalanabilen ambalaj filmlerinde bu sorunlarını iyileştirmek için son ürünün esnekliğini artıran gliserol gibi plastikleştiricilerin eklenmesi denenmiştir (Elsabee ve Abdou, 2013).

İki bileşen arasında ara özelliklere sahip filmler üretmek için Poli-kaprolakton (PCL), poli bütilen süksinat (PBS), poli laktik asit (PLA), poli bütilen tereftalat adipat (PBTA) ve

poli bütülen süksinat) (PBSA) gibi diğer biyolojik olarak parçalanabilen alifatik polyesterlerin eklenmesi araştırılmıştır. Bariyer ve mekanik özellikler gibi son kullanım özelliklerini geliştirmek için kitosana katmanlı silikat nanoparçacıklarının (örn. sodyum montmorillonit) eklenmiştir (Elsabee ve Abdou, 2013).

1.5. Yumurta

İdeal amino asit bileşimi, yüksek besin değeri ve bileşenlerinin önemli biyolojik çeşitliliğinden dolayı mükemmel bir yapıya sahip olan yumurta her yaşta insan için eşsiz, dengeli bir besin kaynağıdır (Mine, 2002).

Yumurta yaklaşık %9,5'ini yumurta kabuğu, %63'ünü yumurta akı ve %27,5'ini yumurta sarısının oluşturduğu 3 bölümden meydana gelmektedir. Sarısı bir albümen tabakası ile çevrilidir ve bu yapı sert yumurta kabuğu ile kaplıdır (Yamamoto vd., 1996). Ana bileşenler; su (%75), proteinler (%12) ve lipitler (%12) ile karbonhidratlar ve minerallerdir (%2,3) (Kovacs-Nolan vd., 2005).

Yumurta sarısı proteinleri içeren berrak sarı bir sıvıda (plazma) süspansiyon halinde partiküller içeren karmaşık bir sistemdir (Huopalahti vd., 2007). Yumurta akının %90'ı su ve %10'u proteinden oluşmaktadır. Yumurta kabuğunu ise hava ve su geçişini sınırlayan gözenekli yapısı kalsiyum karbonat kristalleri oluşturmaktadır (Zaheer, 2015).

Yumurtadaki proteinlerin büyük bir kısmı yumurta sarısı ve yumurta beyazında, kalanı ise yumurta kabuğu ve kabuk zarında bulunmaktadır. Lipidlerin neredeyse hepsi yumurta sarısında, lipoproteinler şeklinde bulunmaktadır. Karbonhidratlar, proteinlere ve lipidlere bağlı olarak hem serbest hem de konjuge formlarda yumurtanın bütün kısımlarında bulunabilmektedir (Kovacs-Nolan vd., 2005).

Yumurta yaklaşık 70 mg omega-3 (n-3) yağ asidini, yağda çözünen vitaminleri (A, D, E ve K) ve suda çözünen B vitaminleri; tiamin (B1), riboflavin (B2), pantotenik asit (B5), piridoksin (B6), biotin (B7), folat (B9), kobalamin (B12) ve kolini ve serbest radikalleri azaltan bazı antioksidanları içermektedir. Aynı zamanda tavuk yumurtası, memeli immünoglobulin "IgG"den daha üstün olan "IgY" gibi iyi bir antikor kaynağıdır (Zaheer, 2015).

Tablo 1.

Yumurta bileşenlerinin içeriği

| | Bütün Yumurta (%) | Yumurta Akı (%) | Yumurta Sarısı (%) |
|--------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| Kuru Madde | 30,3 | 12,8 | 55,0 |
| Protein | 13,9 | 11,0 | 17,0 |
| Lipid | 14,4 | 0,05 | 35,7 |
| Kül | 1,0 | 0,7 | 1,2 |
| Karbonhidrat | 1,2 | 1,0 | 1,1 |

1.5.1. Yumurtanın Kimyasal Özellikleri

Protein

Yumurta proteinleri, gıda sektöründe mükemmel köpürme, emülsifiye etme ve jelleştirme özelliklerinden dolayı kekler, mayonez ve formüle edilmiş et ürünleri de dahil olmak üzere çok çeşitli ürünlerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Mine, 2002).

Yumurta proteinleri, yaklaşık 6.5 g/yumurta, insan sağlığı için gerekli olan histidin; izolösin; lösin; lizin; metionin; fenilalanin; treonin; triptofan; valin amino asitlerinin kaynağıdır. Protein kalitesi 9 temel amino asit için gereksinimleri karşılama yeteneğine dayanmaktadır (Ghosh, 2016). Yumurta beyazındaki lizozim, ovotransferrin ve avidin gibi proteinler sayısız biyolojik aktiviteye sahiptirler (Zaheer, 2015).

LDL, tavuk yumurta sarısının önemli bir bileşenidir ve yumurta sarısının emülsifiye edici özelliklerinde ana faktör olarak kabul edilmektedir (Mine, 2002).

Gıda işleme esnasında yapılan işleme bağlı olarak protein yapısında meydana gelebilecek olan modifikasyonlar nedeniyle yumurta proteinlerinin fonksiyonel özellikleri değişebilmektedir. Yumurta yapısında bulunan ovotransferrin gibi ısıya duyarlı proteinlerden dolayı pastörizasyon dahil ısı işlemler protein denatürasyonunu ve agregasyonunu kolayca indükleyebilir, bu da önemli ölçüde viskozitenin artmasına, çözünür

proteinlerin kaybına, renk değişimlerine ve işlevsellik kayıplarına neden olabilmektedir. Bu nedenle farklı türdeki yumurta ürünleri (örneğin sıvı, donmuş, suyu alınmış ürünler veya kabuklu yumurtalar) üzerinde çeşitli yeni termal olmayan veya düşük termal tekniklerin kullanımı rapor edilmiştir (Liu vd., 2019)



Tablo 2.

Yumurta akı proteinlerinin bileşimi ve bazı fizikokimyasal özellikleri (Omana vd., 2010)

| Protein | Albümin | pI | Moleküler Ağırlık (kDa) | Td (°C) | Özellik |
|------------------|-------------|------------|-------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Ovalbumin | 54,0 | 4,5 | 45000 | 71,5 | Fosfolipoprotein |
| Ovatransferrin | 12,0 – 13,6 | 6,1 – 6,6 | 76000-80000 | 57,3 | Metalik iyonları bağlar |
| Ovomukoid | 11,0 | 3,9 – 4,3 | 28000 | Tespit Edilemedi | Tripsini inhibe eder. |
| Ovomusin | 3,5 | 4,5 – 5,0 | 110000 | Tespit Edilemedi | Glikoprotein; viskoz |
| Lizozim | 3,4 – 3,5 | 10,7 | 14300-14600 | 81,5 | Bazı bakterilerin lizisine sebep olur |
| Ovoflavoprotein | 0,8 | 4,0 – 4,1 | 32000-35000 | 69-72 | Riboflavini bağlar |
| Ovomakroglobulin | 0,5 | 4,5 – 4,7 | 760000-900000 | 69-72 | Glikoprotein |
| Ovoinhibitör | 1,5 | 5,1 – 5,2 | 44000-49000 | 69-72 | Tripsin ve kimotripsini inhibe eder. |
| Ovoglikoprotein | 1,0 | 3,9 | 24000-24400 | 69-72 | Glikoprotein |
| Avidin | 0,5 | 9,5 – 10,0 | 55000-68300 | Tespit Edilemedi | Biotini bağlar. |

Lipit

Lipit içeriği yaklaşık %30 olan tavuk yumurtası sarısı uygun ve zengin bir lipit kaynağıdır. Lipiddeki toplam yağ asitlerinin sırasıyla yaklaşık %3 ve %2'sini n-6 ve n-3 serisinin uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri oluşturmaktadır. Piyasada n-6 serisinin uzun zincirli çoklu doymamış yağ asidi içeriği bu kadar yüksek olan başka bir lipid bulunmamaktadır. Bu nedenle yumurta sarısı lipitleri prematüre bebekler için bebek maması üretiminde yağ asitlerinin önemli bir kaynağıdır (Nielsen, 1998).

Yumurta sarısının yağ içeriği yaklaşık %31.8 ila %35.5'tir; yani, tüm yumurta sarısının yaklaşık üçte birine karşılık gelmektedir. Albümen, yaklaşık %15'i fosfolipid olan %0.02'ye kadar lipid içermektedir. Kuru kütlede yaklaşık %70'i lipitlerden oluşmaktadır (Sikorski ve Kolakowska, 2010).

Özellikle omega 3 yağ asitleri (w3) insanlarda beyin fonksiyonları için gerekli bir besin maddesi olarak kabul edilmektedir. Eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA), ana omega 3 yağ asitleridir (Anton vd., 2006).

Fosfatidilkolin, polar olmayan kısım olarak omega 3 yağ asitleri ve polar kısım olarak kolin içeren amfifilik bir lipiddir. Kolin, beyin gelişimi, karaciğer fonksiyonu ve kanserin önlenmesinde önemli bir besindir. Kolin, temel bir besin maddesi olarak ticari bebek formülasyonlarında kullanılmaktadır (Anton vd., 2006).

Vitamin ve Mineraller

Yumurta başta A, D, E, K ve B1, B2, B9, B12 vitaminleri olmak üzere mükemmel bir vitamin kaynağıdır. A,D,E,K vitaminleri yağda çözünür ve yumurta sarısında bulunur. B1 (tiamin) ve B12 (siyanobalamin) vitaminleri suda çözünür ve albümin içinde bulunur. B2 (riboflavin) ve B9 (folat) suda çözünür ve yumurta sarısı ve yumurta akında eşit şekilde bulunur. Yumurta sarısı iyi bir demir ve fosfor kaynağıdır (Anton vd., 2006).

Yumurta sarısında en fazla bulunan mineral fosfor olmakla birlikte toplamda %1 civarında mineral madde içermektedir. Toplam fosforun %61'den daha fazlası ise fosfolipid halinde bulunmaktadır (Anar, 2016).

Mineraller, enzimlerin katalitik özelliklerinin bir fonksiyonu olarak kabuk oluşumu sırasında kalsiyum kristallerinin sentezinde görev almaktadır (Park ve Sohn, 2018).

Tablo 3.

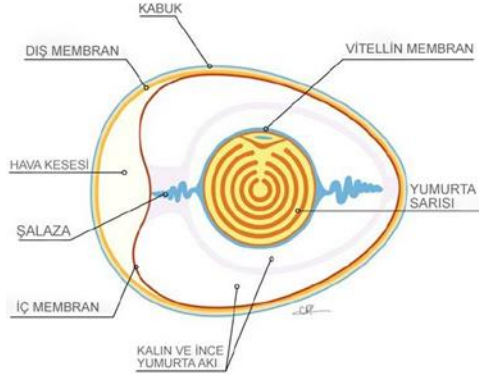
Yumurtanın vitamin ve mineral içeriği (Bertechini ve Mazzuco, 2013)

| Besin Ögesi | Yumurta Akı | Yumurta Sarısı |
|-----------------|-------------|----------------|
| Kalsiyum | 2,3 mg | 21,9 mg |
| Magnezyum | 3,6 mg | 0,85 mg |
| Demir | 0,03 mg | 0,4 mg |
| Fosfor | 5 mg | 66,3 mg |
| Potasyum | 53,8 mg | 18,5 mg |
| Sodyum | 54,8 mg | 8,2 mg |
| Çinko | 0,01 mg | 0,4 mg |
| Bakır | 0,008 mg | 0,013 mg |
| Mangan | 0,004 mg | 0,009 mg |
| Selenyum | 6,6 µg | 9,5 µg |
| Tiamin | 0,01 mg | 0,03 mg |
| Riboflavin | 0,145 mg | 0,09 mg |
| Niasin | 0,035 mg | 0,004 mg |
| Pantotenik Asit | 0,63 mg | 0,51 mg |
| B6 | 0,03 µg | 0,331 µg |
| Vitamin A | 0 IU | 245 IU |
| Vitamin E | 0 mg | 0,684 mg |
| Vitamin D | 0 IU | 18,3 IU |
| Vitamin K | 0 IU | 0,119 IU |

1.5.2. Yumurtanın Morfolojik Yapısı

Bir tavuk yumurtası kabuk, yumurta akı ve yumurta sarısı olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Sarısı bir albümin tabakası ile çevrilidir ve bu yapı sert bir yumurta kabuğu ile kaplıdır. Bir tavuk yumurtasının ağırlığı ve üç parçanın ağırlık dağılımı, tavukların türüne ve yaşlarına bağlı olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Örneğin beyaz leghorn yumurtalarının ağırlığı 50 ila 63 g arasındadır ve kabuk, ak ve yumurta

sarısının ağırlık dağılımları sırasıyla %9-11, %60-63 ve %28-29 aralığındadır (Yamamoto vd., 1996).



Şekil 12. Yumurtanın morfolojik yapısı (Hincke vd., 2012)

Yumurta kabuğu

Yumurta kabuğu, sırasıyla ortalama 5 µm, 200 µm ve 110 µm kalınlıkta dikey kristal tabaka, çit tabakası ve meme yumruları tabakasından oluşmaktadır. %95 inorganik madde, %3.3 protein ve %1.6 nem içermektedir. Yumurta kabuğu, ince bir kütikül filmi, bir kalsiyum karbonat tabakası ve iki kabuk zarından oluşmaktadır (Yamamoto vd., 1996).

Tablo 4.

Yumurta kabuğu parçacıklarının kimyasal bileşimi (Shah vd., 2018)

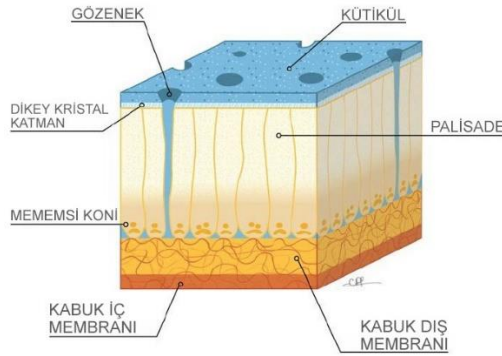
| Bileşim | Miktarı (%) |
|---|-------------|
| Kalsiyum karbonat | 98,2 |
| Magnezyum | ≈0,9 |
| Fosfor | ≈0,9 |
| Karbon, çinko, manganez, demir ve bakır | <0,1 |

Yumurta kabuğunun oluşumu için gereklidirler ve ayrıca hava boşluğunu oluşturmak üzere ayrıldıkları yumurtanın sivri kutbu dışında kabuk temeli de sağlarlar. Yumurta kabuğu zarları yaklaşık bir saat boyunca salgılanır ve birleştirilir, sonuçta iç içe geçmiş liflerin ağ yapısı kabaca %10 kolajen, %70-75 diğer proteinler ve yumurta akını çevreleyen morfolojik olarak farklı iç ve dış tabakalar halinde organize edilen lizinden türetilen çapraz bağlar içeren

glikoproteinlerden oluşur. Bu zarların her biri, yarı geçirgen bir zar oluşturacak şekilde düzenlenmiş protein liflerinden oluşur ve iki zarın toplam kalınlığı yaklaşık olarak 100 µm olarak bulunmuştur. İç zar kireçlenmemiş halde kalırken, dış kabuk zarının lifleri ayrı yerlerde mineralize olurken yumurta kabuğunun tabanına dahil olur. Dış kabuk zarının dış yüzeyindeki özel çekirdeklenme bölgeleri Ca tuzlarını çeker ve böylece yumurta kanalının boru şeklindeki kabuk bezi olarak adlandırılan bölgesinde meme tabakasının oluşumunu başlatır (Ketta ve Tůmová, 2016).

Kabuğun yüzeyinde gaz alışverişi için huni şeklinde küçük delikler bulunmaktadır. Gözenek kanalları, dışa doğru yönlendirilmiş, kabuğun palisade katmanları arasında dağınık bir şekilde yer almaktadır. Gözenek kanalının çapı 10 ila 30 µm arasında değişmektedir. Bir yumurtanın kabuk yüzeyinde yaklaşık 10.000 gözenek kanalı bulunmaktadır. Gözenek kanalı hava ve nemin geçmesine izin veren ancak sıvılara izin vermeyen yapıdadır (Yamamoto vd., 1996).

Yumurta kabuğu kalitesi, yumurta kabuğu ağırlığı, özgül ağırlık, kalınlık, deformasyon veya dayanıklılık gibi birçok gösterge ile karakterize edilir (Vlčková vd., 2018).



Şekil 13. Tavuk yumurta kabuğunun enine kesit görünümü (Hincke vd., 2012)

Kütikül

Yumurta'yı nemden ve mikroorganizmaların istilasından koruyan kütikül yumurtanın en dış tabakasını oluşturmaktadır ve yaklaşık yaklaşık 10 –30 µm kalınlığındadır. Kütikül gözenek kanallarını kaplar ancak gaz alışverişine izin vermektedir. Yumurtanın zayıf asit solüsyonlarında veya metal şelatör içeren solüsyonlarda bekletilmesiyle veya su ile yıkanmasıyla kütikül kolayca kabuktan uzaklaştırılabilir. Yıkama suyunda kullanılan kimyasalların türlerine bağlı olarak, yumurta kabuğu yüzeylerinde farklı mikroyapısal

değişiklikler meydana gelmektedir ve yumurta kabuğu yüzeylerinin daha fazla hasar görmesi daha fazla bakteri penetrasyonuna olanak sağlamaktadır (Mine, 2008).

Kütikül protein, az miktarda karbonhidrat ve lipidlerden oluşmaktadır. Kütikülün karbonhidratları galaktoz, mannoz, fruktoz ve heksozamindir. Lipidler söz konusu olduğunda, Suyama ve meslektaşları, nötr lipidlerin polar lipidlere oranının 6:1, yumurta sarısına oranının ise 2:1 olduğunu bildirmiştir (Yamamoto vd., 1996).

Kabuk Zarı

Kabuk zarı %70 organik madde, %10 inorganik madde ve %20 nemden oluşmaktadır. Ana organik bileşen, az miktarda lipid ve karbonhidrat içeren proteindir (Yamamoto vd., 1996). Dış membran yaklaşık 0.05 mm kalınlığındadır. Yumurta kabuğunun içini kaplar ve yumurta kabuğuna sıkı bir şekilde yapışmış halde bulunur. Kalınlığı yaklaşık olarak 0.015 mm olan iç membran ise yumurta akını çevreler. Yumurta membranları glukoprotein yapısında olan keratin liflerinden oluşmaktadır (Anar, 2016).

Yumurta kabuğunun iç ve dış zarları birbirine dolanmış ipler veya rastgele örülmüş ağlar şeklinde bulunmaktadır. Bu yapı istilacı mikroorganizmaları ağda yakalayarak engellemesini sağlamaktadır (Yamamoto vd., 1996).

Kabuk zarının katmanlı yapısı, çok sayıda ağ örgüsü olan ince, çözünmeyen lifli bir protein tabakasından yapılmıştır. Kabuk zarı kütikilin iki katı kadar sistin içermektedir (Yamamoto vd., 1996).

Suyama vd. kabuk zarının lipid içeriğinin %1,35 olduğunu ve nötr lipidlerin kompleks lipidlere oranının 86:14 olduğunu bildirmiştir. Kompleks lipidlerin ana bileşenleri sfingomiyelin (%63) ve fosfatidilkolindir (%12) (Yamamoto vd., 1996).

Yumurta Akı (Albümin)

Albümen veya yumurta akı kabuk zarının yanındaki dış ince beyaz, viskoz veya dış kalın beyaz katman, iç ince beyaz ve chalazifer veya iç kalın katman olmak üzere 4 farklı katmandan oluşmaktadır (Mine, 2008). Kalın albümen, dış ve iç ince albümen arasında sıkıştırılır (Yamamoto vd., 1996). The contents of each layer are about 23.3%, 57.3%, 16.8%, and 2.7%, respectively. Ancak bu oranlar tavuğun cinsine, çevresel koşullara, yumurtanın boyutuna ve üretim hızına bağlı olarak değişebilmektedir (Mine, 2008).

Temel kimyasal bileşimi su (yaklaşık %88), protein (yaklaşık %11) ve karbonhidrat ve mineralleri (her biri yaklaşık %1) içermektedir. Yumurta beyazının eşsiz değeri, esas olarak glikoprotein kompleksleri şeklinde çok sayıda polipeptit grubu içeren spesifik bir kolloid sistemi oluşturan protein fraksiyonu ile bağlantılıdır (Lesnierowski ve Stangierski, 2018).

Yumurta akı proteinleri, ana protein olan ovalbümini, ardından ovotransferrini ve ovomukoidi içermektedir. Diğer yumurta akı proteinleri ise albüminin viskozitesinden sorumlu olan ovomusin, lizozim, avidin, sistatin, ovo-inhibitör ve ovomakroglobulin (ovostatın)dir (Kovacs-Nolan vd., 2005).

Yumurta akından elde edilen lizozim, N-asetilmuramik asit ile Gram-pozitif bakteri hücre duvarlarının yapısal bileşeni olan bakteriyel peptidoglikanın N-asetilglukozamin arasındaki β -(1-4) bağlantısının hidrolizini katalize etmektedir (Anton vd., 2006).

Lizozim, *Bacillus stearothermophilus*, *Clostridium thermosaccharolyticum* ve *Clostridium tyrobutyricum* gibi mezofilik ve termofilik spor oluşturan bakterilere karşı yüksek aktivite göstermekte ve gıda koruyucusu olarak kullanılmaktadır . Aynı zamanda lizozim peynirlerin olgunlaşması için gerekli starter ve sekonder kültürlerde inhibisyon olmaması nedeniyle peynirde kontaminasyonu önlemek için ve soğutulmuş gıdalarda patojenik bakterilerin büyümesini de engellemek için kullanılmaktadır (Anton vd., 2006).

Ovotransferrin, bakterileri büyümeleri için gerekli olan demirden yoksun bırakarak inhibe etmektedir (Anton vd., 2006).

Albümen kalitesi, gıda güvenliğinin bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Genotip, yaş, vücut büyüklüğü ve cins tavuk, gıda bileşenleri ve su tüketimi, çevresel koşullar ve mevcut hastalık dahil olmak üzere çeşitli faktörler albüminin başlangıç kalitesini etkiler (Nematina ve Abdanan Mehdizadeh, 2018).

Kalın ve İnce Albüminler

Taze yumurtalarda kalın albümen, yumurta sarısını yumurtanın ortasında tutarak içteki ince akı ve şalaz tabakayı kaplamaktadır. Kalın albümen, kabuk zarı ile doğrudan temas halindedir (Mine, 2008).

Kalın albümin viskozitesi, içerdiği yüksek miktarda ovomusin nedeniyle ince albümine göre çok daha yüksektir (Yamamoto vd., 1996). Ovomusin, yüksek moleküler ağırlıkla karakterize bir glikoproteindir ve yumurta akı proteinlerinin yaklaşık %3,5'ini

oluşturur. Yumurta akı incelmesinin ovomusin veya ovomusin kompleksinin ayrışması ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Shan vd., 2020).

Şalaza

Chalaziferous tabaka jelatinli bir tabakadır ve doğrudan tüm yumurta sarısını kaplar. Yumurtanın uzun ekseninde, şalaza tabakası, sarı zarının her iki yanında bükülür ve şalaza kordonu adı verilen kalın, ip benzeri bir yapı oluşturur. Bu kordon, yumurtanın keskin ucunda saat yönünde, karşı ucunda ise saat yönünün tersine bükülür. Şalaza kordonu kalın albümen tabakasının her iki yanında uzanır; böylece yumurta sarısının, yumurtanın merkezinde asılı kalması sağlanmaktadır (Yamamoto vd., 1996; Mine, 2008).

Yumurta Sarısı

Yumurta sarısı, protein çözeltisi içinde süspanse edilmiş ve bir vitellin zar ile çevrelenmiş çeşitli partiküller içeren karmaşık bir sistemdir. Partiküller, yumurta sarısı küreleri, serbest yüzen granüller, düşük yoğunluklu lipoprotein globüller ve miyelinden oluşmaktadır (Yamamoto vd., 1996; Mine, 2008).

Vitellin membranın gücü tavuk yumurtasının tazeliği için kalite faktörlerinden biridir. Yapılan çalışmalar vitellin membranın gücünün Haugh birimi (0,5646), yumurta sarısı indeksi (0,5489) ve yumurta sarısının viskozitesi (0,298) ile pozitif, albümin pH'ı (-0,5723) ve yumurta sarısı pH (-0,6384) ile negatif korelasyon gösterdiğini ortaya koymuştur (Zhou vd., 2020).

Yumurta sarısı, mükemmel bir emülsifiye edici ajan olarak kullanılmaktadır (Mine, 2002).

Yumurta sarısı, taze bütün tavuk yumurtasının ağırlığının yaklaşık %36'sını oluşturmaktadır (Huopalahti vd., 2007).

Taze yumurta sarısının kuru maddesi, yumurta tavuğunun yaşına ve muhafaza süresine göre %50 ile %52 arasında değişmektedir (Huopalahti vd., 2007). Ana bileşenler lipidlerdir (kuru maddenin yaklaşık %62,5'i) ve lipid/protein oranı yaklaşık 2:1'dir (Anton, 2007).

Tablo 5.

Yumurta Sarısı Bileşimi (Anton, 2007)

| | Taze Yumurta Sarısı |
|--------------|----------------------------|
| Su | 51,1 |
| Lipid | 3,6 |
| Protein | 16,0 |
| Karbonhidrat | 0,6 |
| Mineral | 1,7 |

Yumurta sarısının karbonhidrat içeriği %1 civarındadır. Proteinlere bağlı olan oligosakkaridler (mannoz ve glikosaminden ibaret) karbonhidratların %0,7'sini oluşturmaktadır. Serbest karbonhidratlar ise %0,3 oranında ve glukoz formunda bulunmaktadır (Anar, 2016).

Yumurta sarısı psödoplastik Newton olmayan bir sıvıdır ve oldukça karmaşık bir emülsifiye protein-lipid kompleksleri sistemidir (Lesnierowski ve Stangierski, 2018).

Yumurta sarısı lipidleri; %62 trigliserit, %33 fosfolipit ve %5'ten az kolesterolden oluşmaktadır (Huopalahti vd., 2007).

Doğal biyosümfaktan olan fosfolipidler hücre ve doku oluşturmak için önemli materyallerdir. Fosfolipitler canlı mikroorganizmalarda biyolojik membranlar yoluyla akış ve taşıma süreçlerinde rol oynamaktadır. Böylece, çevreleyen ortam ile sitoplazma arasında ve ayrıca sitoplazma ile hücre bölmeleri arasında aracı görevi görmektedirler (Yamamoto vd., 1996).

Kolesterol, yumurta sarısında bulunan steroldür. Kısmen tavuk yeminden ve kısmen de lipoproteinlerin işlenmesi sırasında karaciğerdeki sentezden kaynaklanır. Serbest (%85-90) veya esterlenmemiş (%10-15) formdaki toplam lipidlerin yaklaşık %5'ini temsil eder. Serbest kolesterol, LDL'nin yapısına katılır. Kolesterol esterleri LDL'nin lipid çekirdeğinde bulunur ve %35 oleik asit, %33 palmitik asit, %12 linoleik asit ve %11 stearik asit içerir (Kuksis 1992) (Huopalahti vd., 2007).

Proteinler, serbest proteinler veya apoproteinler (lipoprotein düzeneklerine dahil) olarak bulunmaktadır. Lipidler ve proteinler arasındaki etkileşimler, sarının temel bileşeni

olan lipoproteinlerin (düşük ve yüksek yoğunluklu) oluşumuyla sonuçlanmaktadır (Huopalahti vd., 2007).

Standart bir tavuk yemine dayalı lipidlerin yağ asidi bileşiminde, yaklaşık %30-35'i doymuş yağ asitlerinden (SFA), %40-45'i tekli doymamış yağ asitlerinden (MUFA) ve %20-25'i çoklu doymamış yağ asitlerinden (PUFA) oluşmaktadır. Ana yağ asitleri oleik asit (C18:1, %40-45), palmitik asit (C16:0, %20-25) ve linoleik asittir (C18:2, %15-20; Kuksis 1992). Bununla birlikte, bu bileşim, özellikle tavuk tarafından alınan yağ asitlerinin doğasına göre güçlü varyasyonlara tabidir (Huopalahti vd., 2007).

Tavuğun tükettiği yemin içeriğine bağlı olarak yumurta sarısının rengi açık sarı ile koyu turuncu arasında değişmektedir (Anar, 2016). Bir kalite kriteri olan renk ekonomik açıdan önem arz etmektedir. Karotenoidler, tavuk yumurtası sarısının doğal pigmentleridir (Huopalahti vd., 2007). Karoten pigmentinin yoğunluğuna bağlı olarak sarının rengi değişmektedir. Karotenli yem açısında zengin rasyonla beslenen tavuklarda yumurta sarısının rengi daha koyu olmaktadır (Anar, 2016).

Tablo 6.

Yumurta sarısının karoten kompozisyonu (Anar, 2016)

| Pigment | Miktar (%) |
|-------------------|-------------|
| Karoten | |
| a-Carotene | İz miktarda |
| b-Caratone | 0,03 |
| Xanthophil | |
| Cryptoxanthin | 0,03 |
| Lutein | 0,1 |
| Zeaxanthin | 0,2 |

Yumurta sarısında %1 civarında mineral madde bulunmaktadır. Yumurta sarısında en fazla bulunan mineral fosfordur ve toplam fosforun %61'den fazlası ise fosfolipid halinde bulunmaktadır (Anar, 2016).

Tablo 7.

Yumurta sarısında bulunan mineral madde miktarları (Anar, 2016)

| Minarel Madde | Bulunma Miktarı (mg) |
|----------------------|-----------------------------|
| Kalsiyum | 23,0 |
| Klor | 27,1 |
| Bakır | 0,004 |
| İyot | 0,022 |
| Demir | 0,59 |
| Magnezyum | 1,0 |
| Mangan | 0,012 |
| Fosfor | 81,0 |
| Potasyum | 16,0 |
| Sodyum | 7,0 |
| Sülfür | 25,0 |
| Çinko | 0,52 |

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kitosanın, kitosan bazlı yenilebilir kaplamanın mekanik özellikleri ve bariyer özelliği üzerindeki etkileri üzerine sistemik araştırmalar bildirilmiştir.

Nanoteknoloji, çok çeşitli uygulamalarla birçok yeni malzeme oluşturabilir. Nanopartiküllerin ilginç ve bazen beklenmedik özellikleri, büyük ölçüde, malzemenin büyük yüzey alanına, genellikle stabilitede bir artış ve malzemenin küçük hacminin yaptığı katkılara hakim olan geliştirilmiş işlevsellik eşlik etmesinden kaynaklanmaktadır.

Kaplanmamış ve soya proteini izolat kaplı yumurta ile karşılaştırıldığında, iç yumurta kalitesi, Haugh ünitesi, yumurta sarısı indeksi, hava boşluğu veya yumurta kabuğu kuvveti artışı ve yumurta kabuklarındaki mikroorganizma sayısındaki azalma, albümin pH'sında azalma ile iyileşmiştir. Daha yüksek temas açısı, kaplamaların hidrofobikliğini belirtir. %0,2 montmorillonit, %0,5 montmorillonit ve %0,8 montmorillonit ile su buharı geçirgenlik değerleri soya proteini izolatu kaplamalarına kıyasla sırasıyla 21,14, 57,78 ve 69,13 azaldığı bildirilmiştir. SPI/MMT ile kaplanan yumurtalar, 25°C'de 6 haftalık depolama süresince daha düşük kilo kaybı, daha yüksek HU, daha yüksek YI, daha düşük hava alanı, düşük albümin pH, daha yüksek yumurta kabuğu kuvveti, daha az mikroorganizma sayısı, daha büyük CA ve daha az WVP'ye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca raf ömrünün uzatılmasında olumlu etkisi olduğunu gösterdi. SPI-0,2 MMT kaplamalı, AA kalitesini 4 hafta korurken, kaplanmamış yumurta için sadece 2 hafta korundu (Xu L vd., 2017).

Tavuk filetoları başlangıçta farklı kitosan konsantrasyonlarına (%1,0 %1,5 ve %2,0) daldırılarak kaplanmış ve ardından kaplanmış numunelerin raf ömrü 15 gün boyunca buzdolabında (4 ± 1 °C) incelenmiştir. Mevcut çalışma, Tavuk filetoları üzerindeki kitosan kaplaması, mikrobiyolojik kalite ve soğutulmuş depolama sırasında duyuşal niteliklerin geliştirilmesi (Eldaly vd., 2018).

Kitosan (%1,15 ve 1,25) kitosan ve kitosan nanopartikülleri ile işlenen meyve daha sonra ortam sıcaklığında (25 ± 1 °C) saklanmıştır. Muzun raf ömrü, nişasta içeriği, ağırlık kaybı, posa / soyma oranı, toplam çözünür katı, muz kabuğunun yüzey morfolojisi ve duyuşal değerlendirme analiz edildi. Kitosanın etkisi üzerine moleküler analiz de yapılmıştır. Sonuçlar, kitosan nanopartikülleri ve kitosan uygulamasının muz meyvelerinin raf ömrünü uzatabileceğini ve kalitesini koruyabileceğini göstermiştir (Lustriane vd., 2018).

Düşük maliyet nedeniyle geniş kullanılabilirlik kitosan ve kaplama prosesinin operasyonel fizibilitesi verimli olduğu kabul edilir ve yumurtaları muhafazasında pratik yolu olabilir. Verimliliği etkileyen faktörler kitosan kaplama, örneğin moleküler ağırlık, plastikleştirici türleri, kitosan kaynakları ve çapraz bağlama ajanları geniş çapta araştırılmıştır. Kitosanın doğal ile kombinasyon kaplamaları antimikrobiyal ajanlar, pullulan, yağ ve montmorillonite de uygulanmıştır. Kaplama solüsyonları hazırlamak için üç farklı moleküler ağırlıklı (MA)kitosan kullanılarak; yüksek (HMA, 1100 KDa), orta (MMw, 746KDa) ve düşük (LMw, 470 KDa) LMw MA kitosan ile kaplama, ağırlık kaybı önlemede MMw ve HMw kitosanlara göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir (Bhale vd., 2003).

Organik asitlerle (asetik- (C-AA), laktik- (C-LA) ve propiyonik (C-PA)) üretilen üç kitosan esaslı kaplama, taze yumurta kalitesinin raf ömrü iyileştirmeleri açısından değerlendirilmiştir. Tüm kitosan kaplı yumurtalar, kaplanmamış yumurtalardan daha yüksek iç kalite göstermiştir. Kaplamalar, kontrol numunesine kıyasla (%4,96) ağırlık kaybını önemli ölçüde muhafaza ettiği, kaplanmış yumurtalarda daha düşük ağırlık kaybı (C-PA %3,45, C-LA %3,53) gözlenmiştir. Laktik ve propiyonik asitler içeren yumurta kabuğu kitosan kaplaması, asetik asitle kaplanmış yumurtalardan daha yüksek Haugh birimi ve yumurta sarısı indeksini korumuştur. Kaplanmamış (kontrol) yumurtalar, 1 haftalık depolamadan sonra "A" sınıfından "B" ye değişirken, laktik ve propiyonik asitler içeren kitosan bazlı kaplama, yumurtaları 4 hafta süreyle "A" sınıfı olarak muhafaza ettiği gözlenmiştir. Haugh ünitesi, C-LA ve C-PA'nın yumurtaları, kontrolden en az 3 hafta ve C-AA'dan 1 hafta daha fazla "A" kalitesinde etkin bir şekilde muhafaza ettiğini göstermiştir (Caner ve Cansiz 2007).

Taze yumurta kalitesinin (Ağırlık kaybı, pH, Haugh ünitesi, yumurta sarısı indeksi ve renkleri) raf ömrü iyileştirmeleri ve raf ömrü üzerindeki peynir altı suyu protein izolatı (WPI) kaplamalarının üç farklı konsantrasyonunun (%6, 12 ve 18) etkileri oda sıcaklığında değerlendirilmiştir. Tüm kaplanmış yumurtalar, kaplanmamış yumurtalardan daha düşük ağırlık kaybı göstermiştir. WPI kaplı yumurtalarda daha az ağırlık kaybı gözlenmiştir. Haugh birimleri (HU), kaplanmış yumurtaların 3 haftalık saklama süresi boyunca "A" sınıfında kaldığını, kaplanmamış (kontrol) ise 1 haftalık depolamadan sonra "A" sınıfından "B" ye değiştiğini belirtti. Tüm WPI kaplı yumurtaların HU ve yumurta sarısı indeksi (YI) değerleri, kontrol den önemli ölçüde daha yüksektir. Kaplanmış yumurtalar arasında, HU'da önemli farklar yoktur, ancak %12 ve 18 WPI kaplı, WPI %6 kaplı ve kontrol den daha yüksek YI'ye sahipti (Caner 2005).

Bununla birlikte, kaplama malzemeleri yoğun bir şekilde çalışılmış olmasına rağmen, kitosan kaplama tabakası ve yumurtaların korunmasına konsantrasyon etkileri şimdiye kadar dikkatli bir şekilde araştırılmamıştır.

Suresh vd. (2015) yumurtaları sırasıyla bir kez ve üç kez kitosan daldırma ile kaplamayı tekrarlamıştır. Kaplama üç kez kaplamalı yumurta kabuğu üzerindeki katman, tek seferlik kaplamadan 20 m daha kalın olduğu, ancak ağırlık kaybı, Haugh birimi ve yumurtaların albümin indeksinde önemli bir fark bulunmadı, bu iki grup arasında Kitosan kaplamaların koruma etkileri esas olarak bariyer özelliklerine ve antimikrobiyal aktivitelerine bağlı olduğu belirtmiştir. Bu nedenle, yumurta kalitesinin kaplamanın yapısal değişikliklerine oldukça duyarlı olduğunu göstermiştir. Ancak daha kalın kaplamalar hasarlara karşı daha dayanıklıdır, dolayısıyla yumurtalar üzerinde tüm depolama boyunca daha iyi koruma etkileri sergiler.

Yukarıdaki bulgular, yumurtaların raf ömrünü daha da uzatmamız için farklı konsantrasyonların bariyer özelliklerini iyileştireceği ve depolama sırasında yapısal kararlılık sağlayacağı beklenmektedir.

Sığır eti, zengin besin kaynağı, nem ve bakteri büyümesi için uygun pH'sı nedeniyle bozulmaya eğilimlidir. Kitosan, tek başına veya biberiye özütü veya karnozin ile kombinasyon halinde, taze sığır köftelerinin rengini, lipit stabilitesini ve duyu özelliklerini önemli ölçüde etkilemiştir ve 4 ± 1 ° C'de 15 günlük boyunca depolama sırasında en iyi antioksidan korumayı sağlamıştır (Mokhtar vd., 2014).

Kitosan'ın (%1 a/a) aerobik, vakum ve karbon monoksit ile modifiye edilmiş atmosfer paketleme koşulları altında depolanan kıyma köftelerinin iç kızarıklığını artırdığı ve ayrıca ürünün erken kahverengileşmesini azalttığı bildirilmiştir (Suman vd., 2011).

Kitosan kaplamalar, yemeye hazır rosto sığır etinin yüzeyindeki *L. monocytogenes*'i kontrol etmek için kullanılabilir (Beverly vd., 2008).

> 100 mg / kg seviyelerindeki kitosan 4 ° C'de 8 gün saklanan pişirmeye hazır köftelerin (kıyma ve kuzu etinden hazırlanmış) raf ömrünü uzatmış ve mikrobiyolojik kalitesini (toplam aerobik mezofilik bakteri, toplam koliformlar, *Pseudomonas spp.* ve maya ve küf sayısı) iyileştirmiştir (Aldemir ve Bostan, 2009).

Kitosan (5 mg / g, *Mucor rouxii* UCP 064'ten elde edilmiştir), 4 ° C'de saklanan sığır eti ezmesinde *L. monocytogenes* sayısını 7'den 3 log kob/ g'ye düşürmüştür (Bento vd., 2011).

Kitosan (%0,05-0,5) sosislerinin (%90 sığır eti ve %10 kuyruk yağından yapılmış) mikrobiyolojik ve duyusal kalitesini olumlu yönde etkilemiştir (Gökmen ve Gürbüz, 2011).

%0,5 kitosana (MW 150 kDa; %1 asetik asit içinde) daldırma, soğutulmuş depolama sırasında Hanwoo (KoreanCattle) sığır etinde önemli ölçüde daha düşük toplam bakteri sayımı sağlamıştır (Kim vd., 2004).

Kıymada %1 kitosan ve oksijen tutucu kullanımı mikrobiyal popülasyonu 0.4-2.0 log kob / g azalttı, daha az miktarda TBARS üretti ve 10 gün süreyle 4 ° C'de saklama sırasında raf ömrünü 5-6 gün uzattı (Chounou vd., 2013).

Bostan ve Isin Mahan, (2011) et sosislerinin (sığır ve tavuktan hazırlanmış) %0.25-1.0 kitosan çözeltisine batırıldığında %0.25 kitosan konsantrasyonunun aerobik mezofilik bakteri sayısını ve psikrotrofik sayımı yeterince azalttığını, ancak laktik asit bakterileri ve maya-küf sayısı için sırasıyla daha yüksek konsantrasyona (%0,5 ve %1,0) ihtiyaç duyulduğunu gözlemlediler.

Tavuk karkasları çok çeşitli mikrobiyota barındırır ve bu nedenle kitosan, etin fiziko-kimyasal, duyusal özelliklerinin ve mikrobiyolojik güvenliğinin iyileştirilmesi için kullanılabilir (Kachanechai vd., 2008).

Tütsüleme ile birlikte kitosan kaplama, pH'ı önemli ölçüde etkilemiştir ve oda sıcaklığındaki saklama koşullarında tavuk köftelerinin raf ömrünü 9 güne kadar uzatmıştır (Biswas vd., 2014).

Piliç etinin bozulabilir yapısı nedeniyle hem ürünün raf ömrünü hem de tüketicilerin güvenliğini artırmak için koruyucu olarak kitosan eklenerek çeşitli bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Kitosan uygulamasının (1 g / 100 ml), aerobik olarak 4 ° C'de 14 gün saklanan tavuk göğsü filetolarında *L. monocytogenes* sayısını 2.8 log kob / g azalttığı bildirilmiştir (Khanjari vd., 2013).

Tavuk filetolarının tek başına kitosana (1.5% a / h) veya kitosan ile birlikte kekik yağına (%0,25 h / a) daldırılması işlemi tavuk filetolarının raf ömrünü, 4 ° C'de modifiye atmosfer koşullarında saklama sırasında duyusal özellikleri etkilemeden > 15 gün uzatmıştır (Petrou et al., 2012). Kitosan (1 g / 100 ml) veya kitosan + kekik esansiyel yağı (%1) ile işlenmiş tavuk göğsü filetoları, aerobik koşullar altında 4 ° C'de 14 günlük saklama süresi boyunca <7 log kob / g olarak toplam canlı sayımı göstermiştir (Khanjari vd., 2013).

Tek başına kitosan, *L. monocytogenes*'in büyümesini etkili bir şekilde bastırmıştır, ancak kekik esansiyel yağı ile birlikte, ızgaraya hazır tavuk etindeki hem bozulmayı hem de patojenik bakterilerin sayısını azaltabilir (Shekarforoush vd., 2015).

%1 kitosan ve %0,05 öjenolün kombine uygulaması %15 sakatat içeren tavuk köftesi, köfte ve nuggetların oksidatif, mikrobiyolojik ve duyusal kalitesi üzerinde olumlu etkiye sahiptir ve bu ürünler 4 ± 1 ° C altında aerobik koşullarda 20 güne kadar saklanabilir (Biswas vd., 2012).

Kitosan daldırma (1 g / 100 ml) ve modifiye atmosfer paketleme (%70 CO₂ ve %30 N₂), toplam canlı sayımları, laktik asit bakterilerini, psödomonaslari ve enterobacteriaceae'yi düşürdü ve tavuk göğüs filetolarının raf ömrünü soğutma sıcaklığında 14 güne kadar uzattı (Latou vd., 2014).

Ayrıca hindi göğsü etinin kitosan bazlı etilen kopolimer film ile paketlenmesi, 4 ° C'de 10 gün sonra 1.7 log₁₀ birim ve 15 gün sonra 1.2 log₁₀ *L. monocytogenes* azalması ile sonuçlanmıştır (Joerger vd., 2009). Tek başına veya biberiye yağı (%0,25 h / a) ile kombinasyon halinde kitosan (%1,5 a/h), 2 ° C'de saklama sırasında duyusal özellikleri etkilemeden, vakumla paketlenmiş hindi etinin raf ömrünü sırasıyla 7-8 gün ve > 11 gün uzatmıştır. (Vasilatos ve Savvaiddis, 2013).

Balık ve deniz ürünleri en çabuk bozulan gıda ürünlerini oluşturur ve bu ürünlerin kalitesinin izlenmesi ve kontrolü balık endüstrisinin temel hedefleridir. Kitosanın balık eti ürünlerinin fiziko-kimyasal özellikleri üzerindeki etkisi söz konusu olduğunda, balık filetolarının kitosan nano parçacıkları ile kaplanması -18 ° C'de dondurulmuş saklama sırasında yağ alımını %16,42'den %4,56'ya düşürdüğü ve nem içeriğini 34.61'den %52,7'ye arttırdığı belgelenmiştir (Osheba vd., 2013).

Saeed F. vd., (2017) farklı yerel çiftliklerden temin edilen kahverengi ve beyaz yumurtaları, kitosan ve şellak ile kaplamış ve gece boyunca oda sıcaklığında kurumaya bırakmışlardır. 4 hafta boyunca oda sıcaklığında (25 ± 2 ° C) ve ortalama %60 bağıl nemde saklanmıştır. Şellak ve kitosan uygulanmasından sonra, haugh birimi, yumurta sarısı indeksi, yumurta sarısı rengi, albümin pH'ı ve kabuk rengi gibi kalite özellikleri gözlenmiştir. Yenilebilir kaplamalar, kalite özelliklerini koruyarak, oda sıcaklığında saklandığında yumurtaların raf ömrünü etkin bir şekilde uzatmıştır. Kitosan ve şellak kaplamalar, yumurtalarda ağırlık kaybını en aza indirmiş ve yumurtaların yumurta sarısı ve yumurta sarısı kalitesini, kaplanmamış yumurtalarda gözlenenenden en az 3 hafta daha uzun süre korumuştur.

Jiang Y., vd (2018) Polivinil alkol, sodyum aljinat ve kitosan bazlı kompozit çift tabakalı film geliştirmiş ve kaplamanın depolama sırasında tuzlanmış ördek yumurtalarının iç kalite değişiklikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Sonuçlar, iki tabakalı filmin genel

özelliklerinin, depolama kararlılığı dahil tek tabakalı filmlerden daha iyi olduğunu göstermiştir. Kaplamalar, su kaybı, yağ sızıntısı ve kumlanma gibi kalite bozulmalarını önemli ölçüde azaltmıştır. Çift tabakalı kaplama, yumurta sarısı pH'nın ve toplam bakteri sayımındaki artışın önlenmesinde tek tabakalı kaplamalara göre daha etkilidir. Kontrol tuzlu ördek yumurtalarının raf ömrü 45 günden az iken iki katmanlı kaplama tuzlu ördek yumurtalarının raf ömrünü 25 ° C'de ve %50 bağıl nemde 60 günden fazla uzatabilmektedir.

Vandyousefi ve Bhargava (2017) zamanla yumurta kabuğu gözeneklerinden karbondioksit ve nem buharlaşması nedeniyle yumurtaların iç kalitesi bozulmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada yumurtaların iç kalitesini ve raf ömrünü artırmak için 3:97, 6:94, 9:91, 12:88 oranlarında hazırlanan tarçın yağı (CO)- kitosan (CH) emülsiyonları ile yumurtalar kaplanmıştır. Daha sonra sırasıyla 25 ± 2 ° C'de ve 4 ° C'de 5 ve 9 haftalık saklama boyunca değerlendirilmiştir. Test sonuçları, kaplanmamış yumurtaların derecesinin 4 haftalık depolamadan sonra AA'dan C'ye düştüğünü ortaya çıkarmıştır. Yumurtaların 9:91 ve 12:88 oranlarında CO: CH emülsiyonları ile kaplanması, oda sıcaklığında 2 hafta süreyle AA derecesini ve 4 hafta saklama için A derecesini korumuştur. CO: CH 9:91 ve 12:88 kaplı yumurtalar 4 ° C'de 9 haftalık depolamadan sonra AA derecesini korumuştur. Bu çalışma, 9:91 ve 12:88 oranlarına sahip CO: CH kaplamaların yumurtaların iç kalitesini koruyabildiğini ve diğer işlemlere kıyasla raf ömrünü uzatabildiğini göstermiştir. Ancak sıcaklıktan bağımsız olarak saklama süresi boyunca yumurtaların iç kalitesini ve derecesini koruma özelliği nedeniyle 12:88 oranında CO: CH emülsiyonu önerilmektedir.

Ağırlık kaybı yüzdesi, Haugh birimi, pH, yumurta sarısı indeksi ve hava hücresi yüksekliğinden elde edilen veriler, tarçın yağı ve kitosanın birleşik emülsiyonunun, saklama sırasında, saklama sıcaklığından bağımsız olarak, yumurtaların iç kalitesini kitosanın kendisinden daha fazla koruyabildiğini göstermiştir. Bu nedenle tarçın yağı, kitosanın yumurtalar için bir kaplama malzemesi olarak etkinliğini artırabilir.

Kitosan, yumurta kabuğundan nemin ve gazın kaçmasını önleyen ve böylece yumurtanın hem dış hem de iç kalitesini koruyan güçlü bir film oluşturma ve bariyer özelliklerine sahiptir (Bhale vd., 2003). Bhale vd., (2003) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, yumurtaların üç tip kitosanla kaplanması, yani yüksek (HMw, 1100 KDa), orta (MMw, 746 KDa) ve düşük (LMw, 470 KDa), ağırlık kaybı, Haugh birimi, yumurta sarısı indeksi ve duyuusal kabul edilebilirliği etkilemeden yumurtaların raf ömründe 25 ° C'de 3 hafta önemli bir uzama sağlamıştır.

Kitosan konsantrasyonu hamsilerin mikrobiyel yük üzerine etkinliği AgustiniTW ve Sedjati S. (2007) belirlemiştir.

Mineral yağ ve kitosan çözelti oranı 25:75 olan kaplamanın iç kaliteyi koruduğu, raf ömrünü uzattığı ve yumurtaların ağırlık kaybını en aza indirdiği (< %2) görülmüştür (Torrico vd., 2011). %1 kitosanın gama ışını ışınlamasıyla (2,0 kGy'ye kadar) kombinasyonunun yumurta kabuğunun güvenliğini artırabildiği, ancak ışınlamanın arttığı ve kitosanın oda sıcaklığında 14 günlük saklama süresi boyunca yumurta sarısında lipid oksidasyonunu azalttığı kanıtlanmıştır (De Liu vd., 2009).

Jin vd., (2013) kabuk yumurtalarının dekontaminasyonu ve çapraz kontaminasyonunun önlenmesi için kitosan uygulamıştır. %0,1, 0,5 ve 1,0 laurik arjinat (arginate) ester içeren kitosanın *Salmonella*'yı sırasıyla 1.7, 2.5 ve 5.2 log kob / cm² oranında başarılı bir şekilde azalttığını bildirmişlerdir. Ayrıca bu uygulamalar 7 veya 4 ° C'de 12 haftalık saklama süresi boyunca kabuklu yumurtaların ağırlık kaybını önemli ölçüde azaltmıştır.

Kitosan, *Acinetobacter baumannii*, *Alcaligenes sp.*, *Carnobacterium sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Serratia marcescens* ve *Staphylococcus warneri*, *S. enterica serovar Typhimurium*, *E. Coli* ve *L. Monocytogenes* gibi yumurta kaynaklı bakterilere karşı geniş bir antimikrobiyal aktivite göstermektedir (Leleu vd., 2011). Yumurtaların α-kitosan (282 kDa) ile kaplanması, gıda kaynaklı salmonellozun başlıca nedeni olan *Salmonella Enteritidis*'in kontaminasyonuna karşı güçlü bir bariyer sağlayabilmektedir (Kim vd., 2007). %2 kitosan kaplamanın, *S. Enteritidis*'in trans-kabuk penetrasyonundan kaynaklanan yumurta içeriğinin kontaminasyonunu azaltabileceği gözlenmiştir (Leleu vd., 2011).

Yumurtaların kitosanla kaplanması ve kuru buzla depolanması, *Salmonella typhimurium* sayısını önemli ölçüde azaltmıştır ve Haugh birimi, 23 ° C'de 14 günlük saklama süresi boyunca köpürme, stabilite, viskozite ve diğer fonksiyonel özellikleri etkilemeden azalmıştır (Jo vd., 2011).

Haşlanmış katı yumurtaların kitosan-lizozim ile kaplanması, pH ve renk değişikliklerini stabilize etmiştir ve *L. monocytogenes* ve *S. enterica*'nın büyümesini ve çoğalmasını, ayrıca toplam plaka sayısını, koliformları, mayaları ve soyulmuş yumurtalardaki küfleri 6 haftalık depolama süresi boyunca inhibe etti (Kim vd., 2008).

Kitosan, yumurta içeren mayonezin 25°C'de saklanması sırasında *Serratia liquefaciens* ve *Zygosaccharomyces bailii* büyümesini engellemiştir. (Oh vd., 2001).

Peynir altı suyu proteini izolatu, sodyum montmorillonit nanoparçacıkları (MMT-Na) ve sodyum metabisüfit (SMB) ile yapılan protein bazlı kaplamanın 8 haftalık depolama boyunca yumurtanın kalitesine olan etkisi değerlendirilmiştir. Kaplanmış yumurtalar, 5 haftaya kadar depolama için mükemmel kalite (AA ve A sınıfı) ve yüksek köpük stabilitesi (>%75) sergilemiştir (de Araújo Soares vd., 2021).

Victor Gomes Lauriano Souza vd., (2019), kitosan film formu dispersiyonlarını, MMT ve farklı seviyelerde biberiye esansiyel yağı (%0,5, %1 ve %2 h/h) ile birleştirerek taze kanatlı etinin birincil ambalajı olarak etkinliğini değerlendirmiştir. Filmlerin üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilerek homojen ince esnek filmler elde edilmiştir. İyi oksijen bariyeri özellikleri ve biberiye esansiyel yağından gelen fenolik bileşiklerin varlığı ile birlikte geliştirilen biyanokompozitler, gıdaların kendi ömrünü uzatmak ve et ürünlerinin gıda kalitesini iyileştirmek için iyi bir araç görevi görmüştür.

Victor Gomes Lauriano Souza vd., (2019), zencefil esans yağı ile aktive edilen kitosan/montmorillonitin biyanokompozit filmleri üretilmiş ve fiziksel ve morfolojik özellikleri açısından karakterize edilmiştir. Genel olarak, zencefil esans yağının dahil edilmesi, daha düşük bariyer özelliklerine sahip daha az dirençli ve daha fazla plastik filmlerle sonuçlanmıştır. Ancak, MMT'nin dahil edilmesi bu etkiyi dengelemiştir.

Cui vd., (2021), yaptıkları çalışmada Sinnamealdehit yüklü kitosan ve asitleştirilmiş modifiye montmorillonit kullanımıyla çözücü uçucu hale getirilerek kontrollü salımlı bir antibakteriyel gıda ambalaj filmi hazırlamayı amaçladı. Asit-MMT-Sinnamealdehit ilavesi *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* üzerinde önemli bir inhibitör etki göstermiştir.

SaraBeigzadeh Ghelejlü vd., (2016), üç farklı sodyum montmorillonit (kitosan bazında %1, 3 ve %5 a/a) ve *Silybum marianum* L. ekstraktı (%0,5, 1 ve %1,5 v/v) içeren kitosan/nanokil nanokompozit aktif filmler hazırlamıştır. MMT ilavesiyle filmlerin yüzey pürüzlülüğünde bir artış gözlenmiştir. Filmlerin su buharı geçirgenliğinin ve çözünürlüğünün MMT ve *Silybum marianum* L. ekstraktı eklenmesiyle önemli ölçüde azaltılmıştır. ($p < 0.05$).

Dan Xu vd., (2018), taze mandalina meyveleri üzerine kitosan ve kitosan/montmorillonit kaplamaları uygulamıştır. Hazırlanan %1,5 (w/v) kitosan solüsyonuna belirli miktarda MMT (kitosan ağırlığına göre %0,5, %1 ve %2) eklenerek üç farklı CS/MMT kompozit kaplama solüsyonu hazırlanmıştır. Kitosan (CS) kaplama, meyvelerin çürüme oranını sadece depolamanın ilk 5 gününde engellemiş ardından hızlı bir artış yaşanmıştır. Özellikle, %1 (a/a) MMT (CS/MMT-1) içeren CS/MMT kaplama ile

kaplanmış meyveler, depolamanın tüm evrelerinde diğer gruplara göre daha düşük çürüme hızı ve ağırlık kaybı, daha yüksek toplam çözünür katı içeriği (TSS) ve titre edilebilir asitlik (TA) sunmuştur.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Yumurta

Mevcut çalışma için Lohmann Beyaz kabuklu yıkanmamış yumurtalar A.B Gıda San.Tic.A.Ş. (Bandırma, Türkiye) tarafından temin edilmiştir.

3.1.2. Kitosan

Deasetilasyon derecesi %90 ve molekül ağırlığı $1,8 \times 10^5$ g/mol olan kitosan, Dungeness Environmental'dan (Washington, ABD) temin edilmiştir. Asetik asit (≥ 99 saflıkta) ve gliserol Sigma Aldrich ABD'den temin edilmiştir.

3.1.3. MMT

Organik olarak modifiye edilmiş montmorillonit-MMT nanokiller Southern Clay Products'dan (Gonzales, Texas, ABD) temin edilmiştir.

3.2. Metot

3.2.1. Kaplama Materyalinin Hazırlanması

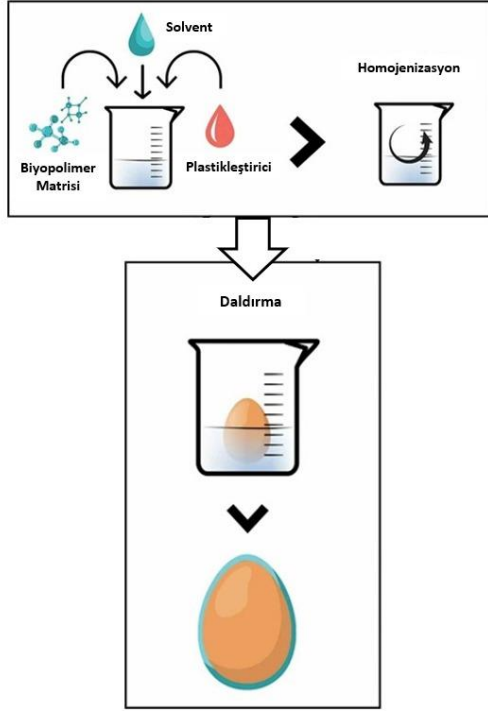
Kitosan ve Kitosan-MMTK10 filmlerin hazırlanmasında yaklaşık olarak %90 deasetilasyon derecesinde kitosan, asetik asit (Merck, Almanya), 2 mm ortalama partikül boyutlu (partiküllerin %20'si < 100 nm) MMTK10 nanokili ve distile su kullanılmıştır.

Kitosan düşük molekül ağırlıklı toz halinde 1 gr kitosan 100 mL %1, 5, 3 ve 9 (a / h) içinde çözülmüş ve asetik asit ilave edilmiştir. Daha sonra 55°C 'de 3 saat manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır.

Kitosan nanopartikülleri (MMTK10 nanokil %1) ilavesi ve karıştırıcı kullanılarak homojen olana kadar karıştırılmıştır.

3.2.2. Yumurtaların Kaplanması

Taze yumurtalar beşli gruplar halinde kaplama solüsyonlarına 1 dakika batırılmış, bu işlem bir kez daha tekrarlandıktan sonra yumurtalar kurutulmuştur. Kaplamadan sonra, tüm yumurtalar viollere yerleştirilmiş ve oda sıcaklığında depolama boyunca depolanmıştır. Testler sıfır, 1., 2., 3. ve 4. haftalarda tekrarlanmıştır.



Şekil 14. Yumurtalara kaplama uygulamak için deneysel yöntem

3.2.3. Yapılan Analizler

Haugh birimi, yolk indeksi, albumin pH'sı, yolk pH'sı analizleri depolama süresince 1., 2., 3. ve 4. haftalarda; mineral madde analizleri ise depolamanın 4. haftasında; 4. haftanın sonunda kabuk, albumin (yumurta akı) ve yolk (yumurta sarısı) renk analizleri ve tüketici testleri; viskozite ve kabuk kırılma direnci analizleri ise depolamanın 5. haftasında yapılmıştır.

Haugh Birimi Analizleri

Katı albuminin, yumurta sarısı etrafından yaklaşık 1 cm uzaklığındaki 5 noktadan, yerden yüksekliği mikrometre (AMES S-6428, Waltham, Mass, ABD) ile ölçölmüştür. 5 noktanın ortalaması alınarak, formölasyona yerleştirilip, haugh birimi hesaplanmıştır (Cansız 2006).

$$\text{Haugh Birimi} = 100 \times \lg (H - 1,7 G^{0,37} + 7,6)$$

H = Katı albuminin yerden yüksekliği (mm)

G = Yumurta ağırlığı (g)

Yolk İndeksi Analizleri

Yumurta sarısının, yüksekliği mikrometre (AMES S-6428, Waltham, Mass, ABD) ve genişliği bir dijital kumpas (CD-20B, Mitutoyo, Japonya) ile ölçölüp, aşğıdaki formölasyona yerleştirmesi ile hesaplanmıştır (Cansız 2006).

$$\text{Yolk İndeksi: } \frac{h}{d}$$

h= Yumurta sarısı yüksekliği (mm)

d= Yumurta sarısı çapı (mm)

pH Analizleri

Yumurtalar kırıldıktan sonra, sarı ve albümin kısımları daha ileri test için birbirinden ayrılmıştır. Sarı ve albümin kısımları pH metresi (IQ150, IQ Scientific Instruments, San Diego, CA, ABD) ile bir cam çubukla karıştırılmış ve ölçölmüştür.

Yumurta Kabuk Mukavemet Analizi

Yumurta kabuklarının kırılmaya karşı mekaniksel dirençleri (kg/f), Texture Analyzer (TA-XT2 Plus, Texture Technologies Cor., Scarsdale, NY, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir yumurta bir platform üzerine yerleştirilerek 3 mm çapındaki prob ile baskı modunda 5 mm/s hızda ve 30 kg basınçta yumurtaların altta (geniş uçta) ve üstünde (küçük uç) ayrı ayrı yumurta kabukları delinmiştir (Caner ve Yuceer, 2014). Bir yumurta kabuğunu delmek için gereken kuvvet (kgf olarak) kaydedilmiş ve yumurta kabuğunun kabuk gücü olarak ifade edilmiştir.

Kuru Madde Analizleri

Kabuklu yumurtanın el ile kırılması sonrasında ak ve sarı yumurta numunesinin sıcaklığı $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ' ye ayarlandıktan sonra Atago Pal-1 dijital refraktometre ile (Atago Co. Ltd, Tokyo, Japonya) ölçümler ilk olarak saf su ile 0 ayarı yapıldıktan sonra yumurta akı ve sarısında kuru madde (briks) olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir örnek dört paralelli olarak analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar briks olarak ifade edilmiştir (Caner ve Yuceer, 2015).

Albümin toplam kuru madde miktarı albüminin sıvı konsantrasyonunun ölçümü olup, yumurta tazeliğinin bir göstergesidir. Albüminin sıvılaşması; proteaz enzimlerinden, yükselen pH değerlerindeki hidroksil iyonları veya tiol tipi indirgen ajanların neden olduğu depolimerizasyondan ve ovomusin-lisozim kompleksinin interaksiyonundan meydana gelebilmektedir. Albüminin içerdiği su, yumurta sarısına ve yumurta sarısındaki bazı besinsel bileşenler de albümine geçmektedir. Albümin toplam kuru madde miktarı depolama periyodu içerisinde albümin içerisinde yumurta sarısının karışması nedeniyle artmaktadır (Torrice, vd., 2011).

Renk Analizleri

Yumurta örneklerinin kabuk, ak (albümin) ve sarısında L^* , b^* ve a^* renk parametre ölçümleri Minolta CR-400 Kolorimetre (Konica Minolta Sensing, Osaka, Japonya) ile tespit edilmiştir. Analizde renk ölçümleri örneğin 4 farklı noktasından 10 adet okuma alınmıştır.

Minolta kalorimetresinde parlaklık-beyazlık gösteren ifade 'L' ile belirtilirken, +a kırmızılık, -a yeşillik, +b sarılık ve -b mavilik gösteren değeri ifade etmektedir (Aday ve Caner, 2011).

Relatif Köpük Oluşturma Kapasitesi Analizleri

Kabuklu yumurtanın el ile kırılması sonrasında ak ve bütün yumurta örneklerinin (20°C) nispi köpük kapasitesi (RWC) Li-Chan, vd. (1995) tarafından tanımlanan metodun üzerinde bazı değişiklikler yapılarak uygulanmıştır. Buna göre yumurta köpüğü, oda sıcaklığında (25°C) 75 ml yumurta alınarak Hobart N50 mikser (Hobart Foster Scveinavia A/S, Aalborg, Danimarka) kullanılarak 90 saniye boyunca 2. devirde daha sonra ise 90 saniye boyunca 3. devirde çırpılmasıyla elde edilmiştir. Oluşan köpük 500 ml'lik mezür içerisine alınmış, ml olarak miktarı okunmuş ve aşağıdaki hesaplama yapılmıştır (Yuceer ve Caner, 2014). Analiz 3 paraleli olarak gerçekleştirilmiş ve ortalamaları alınmıştır. Bütün yumurtada yapılan RWC analizinde değer aralığı %550 – 700 kabul edilir.

$$RWC = \frac{\text{oluşan köpük} \times 100}{75} \text{ ile hesaplanmıştır.}$$

Köpük Stabilitesi Analizleri

Köpük stabilitesi Lechevalier, vd. (2007)'e göre köpük 1 saat dinlendirildikten sonra süzülerek sıvı kısmın bir mezürde toplanmasıyla yüzde olarak belirlenmiştir. Relatif köpük oluşturma kapasitesinde 500 ml'lik mezüre alınan yumurta köpüğü 1 saat bekletilmiştir. 1 saat sonunda dibe çöken sıvının miktarı belirlenmiş ve aşağıdaki formül ile hesabı yapılmıştır. Mililitre cinsinden hacim bu özelliğin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır (Caner ve Yuceer, 2015).

$$S = [1 - \text{Dibe çöken miktar} / 75 \times \text{yumurtanın yoğunluğu} \times 100]$$

İstatistiksel Analizler

Bu araştırma sonunda tespit edilecek kalite kriterlerine, söz konusu faktörlerin etkilerinin araştırılmasında varyans analizi tekniğinden yararlanılmıştır. Hesaplamalar, SAS (SAS Institute, Cary, NC, ABD) istatistiksel paket programlarından yararlanılarak yapılmıştır (Caner, 2009).

Numunelerin analizleri sonucunda oluşan sayısal veriler çeşitli yardımcı programlar (MS Excel, SPSS vb.) kullanılarak istatistiki datalar oluşturulmuştur. Bu datalar sayesinde deneysel sonuçların karşılaştırılması ve yorumlanması gerçekleştirilmiştir.



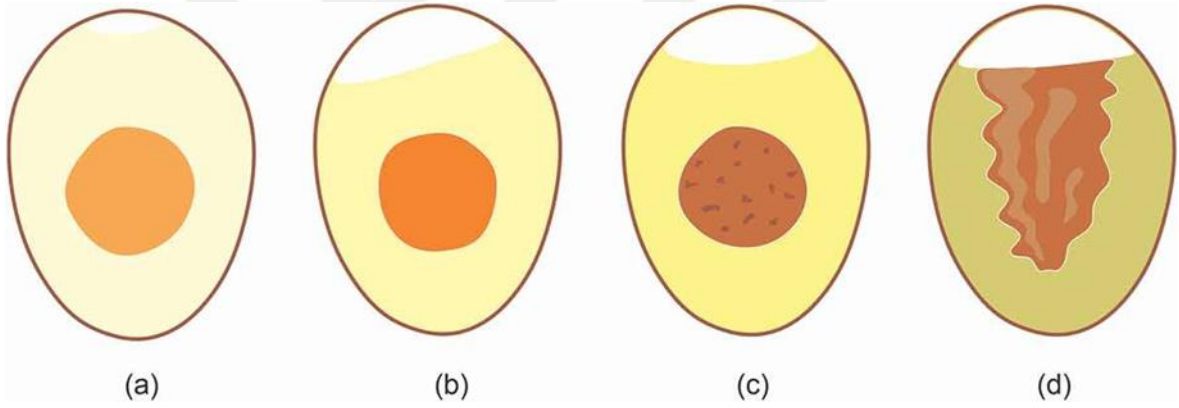
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Depolama Boyunca Fiziko-Kimyasal Değişimler

4.1.1. Ağırlık Kaybı

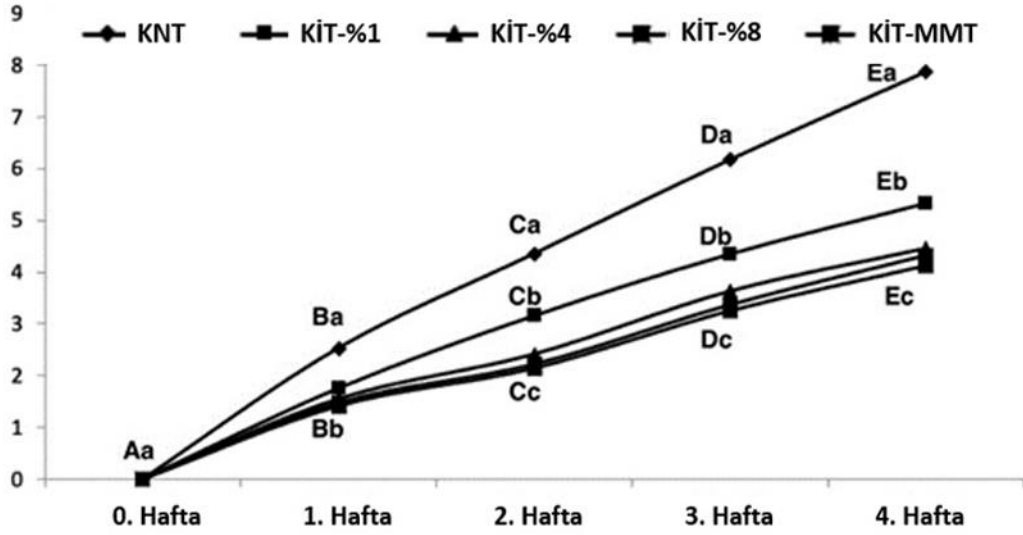
Karbondioksit ve nemin kabuktan hareketi, yumurta akı ve sarısındaki kalite değişikliklerinden ve yumurtaların ağırlık kaybından sorumludur (Suresh vd., 2015). Yumurtaların ağırlık kaybı hızı yumurta kalitesinin önemli bir göstergesidir (Xu vd., 2018).



Şekil 15. Depolama sırasında yumurta kalite kaybı süreci. (a) Taze yumurta (küçük hava boşluğu, ortalanmış sarısı), (b) biraz eski yumurta (daha büyük hava boşluğu), (c) eski yumurta (merkezi olmayan ve lekeli sarı) ve (d) tüketim için uygun olmayan yumurta (kırık sarısı ve hoş olmayan koku)

Kitosan kaplı grupların ağırlık kaybı oranı, depolama sırasında kaplanmamış gruplardan önemli ölçüde düşük çıkmıştır ($p < 0,05$). Kitosan-%8 (%4.11) kitosan-MMT (%4.33) ve kitosan-%1 (%5.52)'den önemli ölçüde daha düşük ağırlık kaybına sahipti. Kaplamasız kontrol grupları (%7.86) en yüksek ağırlık kaybını yaşamıştır. Kitosan-%8 ve kitosan-MMT kaplı yumurtalar, kitosan-%4 kaplı numunelere kıyasla önemli ölçüde daha düşük ağırlık kayıpları sergilemiştir. Bu sonuçlar, iç kalite özelliklerini kontrol etmede ve yumurtanın depolanmasını uzatmada bir avantaj sağlama açısından tek başına kitosan ile

karşılaştırıldığında daha iyi sızdırmazlık sunan, özellikle MMT ile yapılan önceki kaplama deneyleri ile uyumludur (Xu vd.,2017; de Araújo Soares vd.,, 2021).



Şekil 16. Kitosan ve montmorillonit kombinasyonlarının 4 haftalık depolama süresince yumurtaların kilo kaybı üzerine etkisi

A-E Farklı büyük harflere sahip ortalamalar önemli ölçüde farklıdır ($p < 0,05$)

a-c Farklı küçük harflere sahip ortalamalar önemli ölçüde farklıdır ($p < 0,05$)

Pires vd. (2021), yumurtaları, gliserol (GLY), sorbitol (SOR) ve propilen glikol (PRO) ile karıştırılmış %8'lik çözeltide peynir altı suyu proteini konsantresi (WPC) ile kaplamıştır. 42 gün sonra, kaplanmamış yumurtalar, WPC+GLY (%3,8), WPC+SOR (%3,3) ve WPC+PRO (%3,9) ile karşılaştırıldığında daha fazla ağırlık kaybı (%5,4) göstermiştir. WPC + SOR ve WPC + PRO ile kaplanmış yumurtalarda daha yavaş ağırlık kaybı gözlenmiştir.

Xu vd. (2017), soy protein izolat (SPI) ve MMT ile kaplama çalışmalarında, 6 haftalık depolamadan sonra, SPI-%0,2 MMT, SPI-%0,5 MMT ve SPI-%0,8 MMT ile kaplanmış yumurtalarda sırasıyla %7,13, %8,56 ve %8,91 ağırlık kaybı gözlenirken, kaplanmamış ve SPI kaplı yumurtalarda sırasıyla %14,19 ve %10,45 ağırlık kaybı tespit edilmiştir. SPI-MMT kaplamanın, kısa süreli depolama (6 hafta) boyunca yumurta ağırlığının korunmasında daha etkili olduğu bildirilmiştir.

4.1.2. Haugh Birimi Analiz Değerleri

Haugh birimi (HB), yumurta ağırlığı ve albümin yüksekliği ile ilgili olup, ak kalitesinin bir ölçüsüdür. HB değeri yükseldikçe yumurtaların ak kalitesi de yükselmektedir (Torrice, 2010). Hem kaplanmamış hem de kitosan ve MMT ile kaplı yumurtalarda depolama süresinin artmasıyla haugh birim değeri azalmıştır. Ancak depolama süresince kaplanmamış yumurtalar, kitosan ve MMT ile kaplanan yumurtalardan daha düşük haugh birimi değerleri vermiştir. Depolama sırasında azalan Haugh birim değeri, artan clusterin ve ovoinhibitör konsantrasyonunun yanı sıra ovalbümin yapısının bozulmasının neden olduğu albümin incelmesinin bir sonucudur. Bu protein değişiklikleri esas olarak yoğun proteinin proteolizine veya depolama sırasında su ve CO₂ kayıplarından etkilenen albümin pH'sının artışına bağlanmıştır (Xu vd., 2018). Kaplama materyallerinin HB değerleri üzerine etkisi, kabuk gözeneklerini kapatarak CO₂ kaybını azaltması, pH'nın yükselmesini engellemesi ve böylece ovomusin-lizozim kompleksinin zarar görmemesi ile albümin yapısının korunması şeklinde açıklanabilir. Kontrol grubu yumurtaların 2. haftada vermiş olduğu HU değerlerini, kitosan ve MMT ile kaplanmış olan yumurtalar 4. haftada vermiştir (Çizelge 4.1.). Bu sonuçlar, kitosan ve MMT ile kaplamanın depolama boyunca yumurta tazeliğini koruduğunun bir göstergesi olup, Bhale vd., (2003), Jo vd., (2011), Kim vd., (2009), Yuceer ve Caner, (2014), Suresh vd., (2015) ve Yuceer ve Caner (2020) çalışmaları ile uyumlu olarak depolama süresinin artmasına bağlı olarak kaplanmamış yumurtaların Haugh birimi değerleri kitosan kaplı olanlara göre daha fazla azalmıştır.

Tablo 8.

Dört haftalık depolama sırasında kitosan ve montmorillonit kombinasyonlarının Haugh Birimi (HU) üzerindeki etkisi

| U* | 0.Hafta | 1.Hafta | 2.Hafta | 3.Hafta |
|-------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Knt | 82,4(AA)±2,5 ^{Aa} | 70,4(A)±1,5 ^{Ba} | 59,3(B)±0,9 ^{Ca} | 51,7(B)±2,2 ^{Da} |
| CH-1% | 82,1(AA)±3,4 ^{Aa} | 76,5(AA)±0,6 ^{Bb} | 68,5(A)±1,0 ^{Cb} | 63,7(A)±0,9 ^{Db} |
| CH-4% | 82,2(AA)±2,2 ^{Aa} | 78,7(AA)±1,8 ^{Bbc} | 69,5(A)±0,7 ^{Cbc} | 64,5(A)±1,5 ^{Dbc} |
| CH-8% | 82,4(AA)±2,3 ^{Aa} | 81,1(AA)±1,8 ^{Bbc} | 72,2(AA)±1,4 ^{Cc} | 65,7(A)±1,6 ^{Dbc} |
| MMT | 82,3(AA)±2,5 ^{Aa} | 79,4(Aa)±1,1 ^{Bbc} | 72,1(AA)±1,7 ^{Cc} | 66,3(A)±1,8 ^{Dbc} |

a-c Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0.05$).

A-E Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0.05$).

*U: Uygulamalar, %1 CH: %1 Kitosan uygulanması, %4 CH: %4 Kitosan uygulanması, %8 CH: %8 Kitosan uygulanması, MMT: mmt uygulanması

Torrico vd. (2011), kaplama materyali olarak mineral yağın (MO) ve MO'nun 4 emülsiyonunun (farklı emülgatör tipleri ile hazırlanmış) ve kitosan solüsyonunun sabit bir MO:CH=25:75 oranında kullanılmasının yumurtaların iç kalitesinin korunmasındaki etkilerini 25 °C 'de 5 hafta ve 4 °C 'de 20 hafta boyunca değerlendirilmiştir. Genel olarak, Haugh birimi artan depolama süreleri ile önemli ölçüde azalmıştır; bununla birlikte, bu azalma MO ve 4 MO:CH emülsiyonları ile kaplanmış yumurtalar için kaplanmamış yumurtalara göre çok daha yavaş ilerlemiştir. Kaplanmamış yumurtaların Haugh birimi, 1 hafta sonra 75.62'den 57.01'e ve 25 °C 'de 2 hafta depolamadan sonra 39.34'e düşmüştür. 5 haftalık depolamadan sonra MO ve 4 MO:CH emülsiyonları ile kaplanmış yumurtaların Haugh birimi (37.02 ila 42.70), 2 haftalık depolamadan sonra kaplanmamış yumurtaların haugh birimine (39.34) benzer sonuçlar vermiştir. Haugh birimine dayalı olarak, MO veya emülsiyonlarla (emülgatör türlerinden bağımsız olarak) kaplamanın, kaplanmış yumurtaların ak kalitesini 25°C 'de kaplanmamış yumurtalara kıyasla en az 3 hafta daha koruyabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 17. Albümin kalitesi kaybı. (a) Taze yumurta (b) bayat yumurta

Kim vd. (2007), yaptığı çalışmada genel olarak, Haugh birimi artan depolama süresi boyunca azalmıştır. 1 haftalık depolamadan sonra, kaplanmamış yumurtaların Haugh birimi 91.73 başlangıç değerinden 51.07'ye düşmüştür. 4 haftalık depolamadan sonra kitosan (282 kDa) ile kaplanmış yumurtaların Haugh birimi (58.19), 1 haftalık depolamadan sonra kaplanmamış yumurtalardan biraz daha yüksek çıkmıştır. 4 haftalık depolamadan sonra,

daha düşük moleküler ağırlıklı (282 ve 440 kDa) a-kitosanların, yumurtaların ak kalitesini korumada, daha yüksek moleküler ağırlıklı (746 ve 1110 kDa) ve β -kitosan'dan daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

4.1.3. Yolk İndeks Değerleri

Yumurta sarısının küresel yapısı, sarı yüksekliği ve genişliği ölçülerek sarı indeksi (YI) olarak ifade edilmektedir. Albümininden suyun difüzyon olması nedeniyle sarının sıvılaşması ve vitellin zarın zayıflamasından etkilenen bu değer tazeliğin bir göstergesidir (Bhale vd., 2003). Taze, yüksek kaliteli yumurtaların YI'sı yaklaşık 0,45 iken taze olmayan bir yumurtanın YI'sı daha düşük olacaktır. Bu nedenle, YI ne kadar yüksek olursa, yumurta sarısının kalitesi de o kadar iyi olmaktadır. Depolama süresinin YI üzerinde önemli bir etkisi vardır (Xu ve ark., 2017).

Tüm yumurta örneklerinde YI değerlerinin depolama sürecince düşüş göstermiştir ancak kontrol grubu kaplanmamış yumurtaların sarı indeks değerleri kaplanmışlardan daha düşüktür. Kitosanla kaplanmış olan yumurtalarda yolk indeks değeri 4.hafta 0,346 ile 0,364 arasında, MMT ile kaplama 0,355 iken bu değerler kaplanmamış yumurtanın 2. Haftada vermiş olduğu yolk indeks değerinden daha yüksektir.

Tablo 9.

Dört haftalık depolama sırasında kitosan ve montmorillonit kombinasyonlarının Sarı İndeksi (YI) üzerindeki etkisi

| U* | 0.Hafta | 1.Hafta | 2.Hafta | 3.Hafta |
|-------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Knt | 0,43±0,02 ^{Aa} | 0,36±0,01 ^{Ba} | 0,32±0,01 ^{Ca} | 0,27±0,01 ^{Da} |
| CH-1% | 0,43±0,03 ^{Aa} | 0,39±0,01 ^{Bb} | 0,37±0,02 ^{Cb} | 0,34±0,01 ^{C^{Db}} |
| CH-4% | 0,43±0,02 ^{Aa} | 0,42±0,01 ^{Bc} | 0,38±0,01 ^{Cb} | 0,37±0,01 ^{C^{Dc}} |
| CH-8% | 0,43±0,03 ^{Aa} | 0,42±0,01 ^{Bc} | 0,41±0,01 ^{Cc} | 0,39±0,01 ^{C^{Dc}} |
| MMT | 0,43±0,02 ^{Aa} | 0,42±0,01 ^{Bc} | 0,40±0,01 ^{Cbc} | 0,38±0,01 ^{C^{Dc}} |

a-c Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (p < 0.05).

A-E Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (p < 0.05).

*U: Uygulamalar, %1 CH: %1 Kitosan uygulanması, %4 CH: %4 Kitosan uygulanması, %8 CH: %8 Kitosan uygulanması, MMT: mmt uygulanması

Yang vd. (2019), kitosan ve kitosan- siringik asit (%0,25, %0,5, %0,75, %1,5) bazlı kompozit filmlerin fiziksel mekaniği ve yapısal özelliklerini incelemiştir. Her grubun yumurta sarısı indeksi, düşüş eğilimi göstermiştir. Kaplama uygulanmayan grubun YI 0.26'dan 0.11'e düşmüştür. SA ilave miktarı 15 günde %0,25 ve %1 iken YI indeksi yavaş yavaş 0.13'e, ardından %0,5'e düşmüştür. Sonuç olarak %0,25 ve %0,5'inin iyi bir koruma etkisine sahip olduğu bulunmuştur.

Kim vd. (2007), 4 farklı moleküler ağırlığına sahip α -kitosanlar (Mw=282, 440, 746 ve 1110 kDa) ve β -kitosan (Mw=577 kDa)'dan hazırlanan kaplama malzemelerinin yumurtanın kalitesini korumadaki etkinliğini değerlendirmiştir. 4 haftalık depolamadan sonra 282 kDa kitosan kaplı yumurtaların yumurta sarısı indeksi 0,34, 1 haftalık depolamadan sonra kaplanmamış yumurtalardan 0,37 biraz daha düşük, ancak 2 haftalık depolamadan sonra 0,41 ile kaplanmamış yumurtalardan 0,29 daha yüksek bulunmuştur.

Zhuang vd. (2018), dış katman olarak Polivinil alkol-kitosan film ve iç katman olarak sodyum aljinat film ile çift katmanlı filmler hazırlamıştır. 15. günde kontrol grubu için yumurta sarısı indeksi %42,8 azalırken, çift katmanlı kaplama grubu için değer %33,8 azalma gözlenmiştir.

4.1.4. Albumin pH Değerleri

Yeni yumurtlanan tavuk yumurtasının başlangıçta albümin pH'ı 7,6 ila 8,5 arasındadır (Suresh vd., 2015). Yumurta taze iken %0,5 karbondioksit içerir, ancak bu değer depolama sırasında azalmaktadır. Karbondioksit kaybı, albüminin incelmeye ve albümin pH değerinin 9,4–9,5'e yükselmesine neden olmaktadır (Kim vd., 2009). Oda sıcaklığında depolama esnasında albümin pH'sı sürekli olarak artmaktadır. Ancak bu değer, kitosan ve MMT kaplama materyalleri ile azaltılmıştır (Çizelge 4.3.). Kitosan ve MMT ile kaplanmış olan yumurtaların albumin pH'sı, kontrol grubunun albumin pH'sından düşük çıkmıştır. Kontrol grubu yumurtalarda, 4. haftada albumin pH'sı 9,60 değerini verirken; %1 kitosan ile kaplananlar için pH 9,04; %4 kitosan ile kaplananlar için 9,04; %8 kitosan ile kaplananlar için pH 8,95 ve %1 MMT ile kaplananlar için 8,94 olarak saptanmıştır.

Tablo 10.

Kitosan ve MMT kaplamaların 4 haftalık depolama süresi boyunca yumurtanın albümin pH değeri üzerine etkisi

| U* | 0.Hafta | 1.Hafta | 2.Hafta | 3.Hafta | 4.Hafta |
|-------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Knt | 8,68±0,01 ^{Aa} | 9,28±0,02 ^{Ba} | 9,43±0,03 ^{Ca} | 9,52±0,02 ^{Da} | 9,60±0,02 ^{Ea} |
| CH-1% | 8,63±0,02 ^{Ab} | 8,78±0,03 ^{Bb} | 8,83±0,06 ^{Cb} | 8,87±0,02 ^{CDb} | 9,04±0,04 ^{Db} |
| CH-4% | 8,62±0,03 ^{Ab} | 8,75±0,03 ^{Bb} | 8,79±0,02 ^{Cb} | 8,86±0,02 ^{CDb} | 8,95±0,02 ^{Dc} |
| CH-8% | 8,60±0,04 ^{Ab} | 8,72±0,07 ^{Bb} | 8,77±0,03 ^{Cb} | 8,80±0,01 ^{CDc} | 8,89±0,02 ^{Dd} |
| MMT | 8,60±0,03 ^{Ab} | 8,73±0,03 ^{Bb} | 8,78±0,02 ^{BCb} | 8,84±0,01 ^{Cb} | 8,92±0,04 ^{Ccd} |

a-c Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (p < 0.05).

A-E Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (p < 0.05).

*U: Uygulamalar, %1 CH: %1 Kitosan uygulanması, %4 CH: %4 Kitosan uygulanması, %8 CH: %8 Kitosan uygulanması, MMT: mmt uygulanması

Wardy vd. (2011), soya fasulyesi yağı (SO) ve kitosan-soya fasulyesi yağı (CH:SO=40:60) emülsiyonunun etkilerini, sırasıyla 25 °C ve 4 °C'de 7 ve 15 haftalık depolama sırasında değerlendirmiştir. CH:SO kaplı yumurtaların ak tazeliği, 25 °C'de 4 ila 7 hafta ve 4 °C'de 15 hafta sonra, taze yumurtalara yakın 7.6-8.5'lik bir albümin pH değeri ile SO kaplı yumurtalardan önemli ölçüde daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

4.1.5. Yumurta Sarısı pH Değerleri

Yeni yumurtlanan yumurtalarda, yumurta sarısının pH'ı genel olarak 6.0'a yakındır; ancak depolama sırasında kademeli olarak artarak 6,4 ila 6,9'a ulaşır (Suresh vd., 2015).

Depolama boyunca yumurta sarılarının pH değerleri hem kaplanmış hem de kontrol örneklerinde artmıştır. Ancak kitosan ve MMT ile kaplanan yumurtaların sarısının pH'sı kontrol grubunun pH'sından daha düşük çıkmıştır. Kontrol grubu yumurtalarda, 4.haftada sarısının pH'sı 6,41 değerine sahipken; %1 kitosan ile kaplananlar için pH 6,28; %4 kitosan

ile kaplananlar için 6,26, %8 kitosan ile kaplananlar için 6,24 ve %1 MMT ile kaplananlarda ise 6,25 olarak saptanmıştır.

Tablo 11.

Kitosan ve MMT kaplamaların 4 haftalık depolama süresi boyunca yumurta sarısının pH değeri üzerine etkisi

| U* | 0.Hafta | 1.Hafta | 2.Hafta | 3.Hafta | 4.Hafta |
|-------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Knt | 6,06±0,02 ^{Aa} | 6,11±0,02 ^{Ba} | 6,25±0,02 ^{Ca} | 6,30±0,04 ^{Da} | 6,41±0,02 ^{Ea} |
| CH-1% | 6,05±0,03 ^{Aa} | 6,09±0,01 ^{Aa} | 6,13±0,01 ^{ABb} | 6,22±0,02 ^{Bb} | 6,29±0,02 ^{Cb} |
| CH-4% | 6,05±0,01 ^{Aa} | 6,08±0,02 ^{Aa} | 6,10±0,03 ^{ABb} | 6,18±0,01 ^{Bc} | 6,25±0,01 ^{Cc} |
| CH-8% | 6,04±0,01 ^{Aa} | 6,07±0,03 ^{Aa} | 6,09±0,02 ^{ABb} | 6,17±0,02 ^{Bc} | 6,24±0,01 ^{Cc} |
| MMT | 6,05±0,01 ^{Aa} | 6,08±0,02 ^{Ab} | 6,10±0,02 ^{ABb} | 6,19±0,02 ^{Bc} | 6,25±0,02 ^{Cc} |

a-c Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0.05$).

A-E Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0.05$).

*U: Uygulamalar, %1 CH: %1 Kitosan uygulanması, %4 CH: %4 Kitosan uygulanması, %8 CH: %8 Kitosan uygulanması, MMT: mmt uygulanması

Ezazi vd. (2021), kitosan (%0-3 a/h) ve propolis (%0-70 a/h) miktarlarının etkinliğini, 27 °C 'de 14 günlük depolamada kaplanmış yumurtanın fiziko-kimyasal özellikleri üzerinde değerlendirilmiştir. Sonuçlar, kaplanmış örneklerin yumurta sarısının pH değerinin 5,42'den 5,93'e değiştiğini göstermiştir.

4.1.6. Toplam Kuru Madde Değerleri

Yumurta akının %84-89'u sudur ve kalan kuru maddenin %90'ı proteinden oluşmaktadır (Heldman, 2011). Depolama sırasında yumurta sarısının yumurta beyazına karışması nedeniyle toplam kuru maddede artış yaşanmaktadır. Depolama sırasında toplam katı maddeki artış, sarının sıvılaşması ve yavaş yavaş beyaza geçmesi ile ilişkilendirilmektedir (Torrice vd., 2011).

Yumurta bayatladıkça, yumurta sarısının vitellin zarlarının zayıflaması nedeniyle yolk indeks değeri düşer ve yumurta beyazından suyun ozmotik difüzyonunun neden olduğu sarının sıvılaşmasıyla toplam katıda bir azalma meydana gelmektedir (Torricco vd., 2011).

Suyun buharlaşması, toplam katı maddenin azalmasının temel nedenidir (Jones, 2007). Jones (2007) ve Yüceer ve Caner (2014) ile uyumlu olarak depolama sonunda sarının toplam kuru madde değeri %49.4'ten %44.87'ye ve %46.75'e düşmüştür.

Tablo 12.

Kitosan ve MMT kaplamaların 4 haftalık depolama süresi boyunca yumurtanın albümin kuru madde değeri üzerine etkisi

| U* | 0.Hafta | 1.Hafta | 2.Hafta | 3.Hafta | 4.Hafta |
|-------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| Knt | 12,6±0,4 ^{Aa} | 13,3±0,2 ^{Ba} | 14,2±0,1 ^{BCa} | 15,6±0,3 ^{Da} | 16,4±0,4 ^{Ea} |
| CH-1% | 12,6±0,3 ^{Aa} | 12,9±0,1 ^{Bb} | 13,7±0,4 ^{Cb} | 14,9±0,1 ^{Cb} | 15,8±0,4 ^{Db} |
| CH-4% | 12,6±0,2 ^{Aa} | 12,8±0,3 ^{Bb} | 13,5±0,1 ^{Cb} | 14,6±0,2 ^{Cb} | 15,7±0,6 ^{Db} |
| CH-8% | 12,6±0,3 ^{Aa} | 12,6±0,2 ^{Bb} | 13,4±0,1 ^{Cb} | 14,4±0,1 ^{Cb} | 15,5±0,6 ^{Db} |
| MMT | 12,7±0,2 ^{Aa} | 12,7±0,2 ^{Bb} | 13,5±0,1 ^{Cb} | 14,6±0,1 ^{Cb} | 15,6±0,1 ^{Db} |

a-c Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (p < 0.05).

A-E Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (p < 0.05).

*U: Uygulamalar, %1 CH: %1 Kitosan uygulanması, %4 CH: %4 Kitosan uygulanması, %8 CH: %8 Kitosan uygulanması, MMT: mmt uygulanması

Tablo 13.

Kitosan ve MMT kaplamaların 4 haftalık depolama süresi boyunca yumurta sarısı toplam kuru madde değeri üzerine etkisi

| U* | 0.Hafta | 1.Hafta | 2.Hafta | 3.Hafta | 4.Hafta |
|-------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| Knt | 49,4±0,4 ^{Aa} | 47,7±0,5 ^{Ba} | 46,6±0,3 ^{Ca} | 45,9 ±0,6 ^{CDa} | 44,8±0,3 ^{Da} |
| CH-1% | 49,3±0,5 ^{Aa} | 48,4±0,3 ^{Bb} | 48,0±0,6 ^{Cb} | 47,4±0,4 ^{CDb} | 46,3±0,3 ^{Db} |
| CH-4% | 49,4±0,3 ^{Aa} | 48,8±0,4 ^{Bb} | 48,1±0,3 ^{Cb} | 47,6±0,3 ^{Cb} | 46,5±0,5 ^{Db} |
| CH-8% | 49,4±0,3 ^{Aa} | 48,9±0,3 ^{Bb} | 48,3±0,3 ^{Cb} | 47,8±0,3 ^{Cb} | 46,7±0,5 ^{Db} |
| MMT | 49,4±0,2 ^{Aa} | 48,7±0,2 ^{Bb} | 48,2±0,3 ^{Cb} | 47,7±0,4 ^{Cb} | 46,6±0,4 ^{Cb} |

a-c Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (p < 0.05).

A-E Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (p < 0.05).

*U: Uygulamalar, %1 CH: %1 Kitosan uygulanması, %4 CH: %4 Kitosan uygulanması, %8 CH: %8 Kitosan uygulanması, MMT: mmt uygulanması

4.1.7. Relatif Köpük Kapasitesi Değerleri

Yumurta akı sadece çeşitli besin bileşenleri içermekle kalmaz, aynı zamanda köpürme, emülsifiye etme, jelleşme gibi çoklu fonksiyonel özelliklere de sahiptir. Köpürme özelliklerinden dolayı kekler, ekmek ve dondurma gibi birçok gıda ürünüde yaygın olarak kullanılmaktadır (Chen vd., 2019).

Bu gıda ürünlerinin yapıları ve dokuları için köpükler ve kabarcıklar oldukça önemli bir rol oynamaktadır (Liu vd., 2009). Köpük, havanın dağılmış faz olduğu, ince bir denatüre protein tabakasının ise yüzey fazını oluşturduğu iki fazlı bir sistemdir. Yumurta beyazının proteinleri çırpılarak mekanik olarak denatüre edilir. Protein molekülleri hidrofilik ve hidrofobik grupları içerir. Çırpma sırasında hidrofobik grupların yüzeyde durması nedeniyle stereometrik değişiklikler meydana gelir, yüzey enerjisi ve yüzey gerilimi azalır ve bu etkiler köpüğün oluşumunu ve stabilitesini etkiler. Yumurta akı köpüğünün oluşumunu ve stabilitesini etkileyen faktörler: tavuk yaşı, yumurta yaşı, saklama koşulları, çırpma hızı ve süresi, sıcaklık, pastörizasyon, pH, kuru madde, yumurta sarısı veya lipidlerin varlığı, tuz, şeker, stabilizatörler ve yüzey aktif bileşikler, metal iyonları ve proteolitik enzimlerdir (Bovšková ve Míková, 2011). Kullanımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olan köpüğün stabilitesi, filmlerden ve köpük kabarcıklarını ayıran kanallardan sıvı drenajı, filmin yırtılması nedeniyle bitişik kabarcıkların birleşmesi ve lamel boyunca basınç farkı nedeniyle daha büyük kabarcıklara yayılan gazın neden olduğu irileşme süreci olmak üzere zamana bağlı üç temel mekanizmanın kombinasyonu ile gelişmektedir (Faezian vd., 2019).

Gıda işleme sırasında, yumurta akı proteini havayı kapsülleyebilir ve tutabilir ve böylece köpük hacmini artırabilir. Bu nedenle yumurta akı proteininin köpürme kabiliyetinin artırılması, yumurta proteini bazlı gıda ürünlerinin kalitesinin iyileştirilmesi için önemlidir (Duan vd., 2018). Köpürme kabiliyeti, hava-su arayüzünün yüzey geriliminin azalma hızı ile ilgilidir (Liu vd., 2009).

Halihazırda, köpük yapılı sıvı-gaz sistemleri ilgi görmektedir. Yeni ürünlerin geliştirilmesi için veya gıda endüstrisinde hammadde olarak kullanılırlar. En sık kullanılan köpürtücü ajanlardan biri ise yumurta akı proteini olan ovalbumindir (Żmudziński vd., 2014).

Tablo 14.

Kitosan ve MMT kaplamaların 4 haftalık depolama süresi boyunca yumurtanın relatif köpük kapasitesi üzerine etkisi

| U* | 0.Hafta | 1.Hafta | 2.Hafta | 3.Hafta | 4.Hafta |
|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Knt | 925±25 ^{Aa} | 865±21 ^{Ba} | 715±21 ^{Ca} | 630±23 ^{Da} | 510±14 ^{Ea} |
| CH-1% | 922±29 ^{Aa} | 890±16 ^{Bb} | 860±14 ^{Bb} | 816±20 ^{Cb} | 790±13 ^{Cb} |
| CH-4% | 925±34 ^{Aa} | 900±14 ^{Abb} | 865±16 ^{BCb} | 833±15 ^{Cb} | 810±12 ^{Dbc} |
| CH-8% | 922±33 ^{Aa} | 910±13 ^{Abb} | 905±15 ^{BCb} | 845±12 ^{Cc} | 825±10 ^{Dc} |
| MMT | 920±27 ^{Aa} | 905±21 ^{Abb} | 897±13 ^{BCb} | 840±11 ^{Cbc} | 822±11 ^{Dc} |

a-c Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (p < 0.05).

A-E Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (p < 0.05).

*U: Uygulamalar, %1 CH: %1 Kitosan uygulanması, %4 CH: %4 Kitosan uygulanması, %8 CH: %8 Kitosan uygulanması, MMT: mmt uygulanması

Depolama süresi boyunca RWC' de bir düşüş gerçekleşmiştir. 4 haftanın sonunda kaplanmamış yumurtanın RWC değeri 510, %1 kitosan (790), %4 kitosan (810), %8 kitosan (817,5) ve %1 MMT (815) dir.

4.1.8. Köpük Stabilitesi Değerleri

Köpük, gazın (hava) dağılmış faz olduğu ve bir sıvının (su) sürekli fazı oluşturduğu iki fazlı bir sistem olarak tanımlanabilmektedir (Baniel vd., 1997). Köpük oluşumu kek, ekmek, dondurma ve şekerleme ürünleri de dahil olmak üzere birçok gıda ile ilişkilendirilen bir dizi benzersiz dokuyu sağlayabilir. Tüm bu uygulamalarda, protein köpüğünün önce

istenen düzeyde hava fazı hacmi (köpürebilirlik) elde etmesi ve ardından karıştırma, kesme ve ısıtma dahil olmak üzere çeşitli işlemlere tabi tutulduğunda stabiliteyi koruması gerekmektedir (Foegeding vd., 2006).

Gıda köpükleri, nispeten düşük konsantrasyonlarda mevcut olabilen spesifik protein bileşenlerinin yüzey aktivitesine ve film oluşturma özelliklerine bağlıdır. Proteinler, arayüzlerde açılarak ve daha sonra hava hücreleri etrafında yapışkan filmler oluşturmak üzere birleşerek köpükleri stabilize etmektedirler (Baniel vd., 1997). Köpürme için önemleri açısından yumurta beyazı proteinleri globulinler, ovalbümin, ovotransferrin, lizozim, ovomukoid ve ovomusin şeklinde sıralanmaktadır (Campbell vd., 2003). Globulinler köpük oluşumunu kolaylaştırırken, ovomusin-lizozim kompleks köpüğe stabilite verir. Ovalbümin hem de konalbumin ise ısıyla ilişkilidir. Konalbumin, lizozim, ovomusin ve ovomukoid tek başına çok az köpürme yeteneğine sahiptir veya hiç yoktur, ancak lizozim ve globulin arasındaki etkileşim köpük oluşumu için önemlidir (Alleoni ve Antunes, 2004).

Köpük stabilitesi, köpük hücrelerini ayıran iç filmlerin ömrüne bağlıdır. İç duvarın her kopma olayı, komşu hücrelerin birleşmesini, çevreleyen hücrelerin karşılık gelen düzenlemesinin eşlik ettiği anlamına gelir; bu, her bir hücrenin sabit hacmi ile yeni (kopmadan sonra) koşullar altında en yakın hücre düzeneğinin serbest yüzey alanının en aza indirgenmesine neden olur. (Nekrasov vd., 2002).

Depolama süresi boyunca köpük stabilitesinde bir düşüş gerçekleşmiştir. 4 haftanın sonunda kaplanmamış yumurtanın köpük stabilitesi değeri (8), %1 kitosan (16), %4 kitosan (19), %8 kitosan (20) ve %1 MMT (20) dir.

Tablo 15.

Kitosan ve MMT kaplamaların 4 haftalık depolama süresi boyunca yumurtanın köpük stabilitesi üzerine etkisi

| U* | 0.Hafta | 1.Hafta | 2.Hafta | 3.Hafta | 4.Hafta |
|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Knt | 925±25 ^{Aa} | 865±21 ^{Ba} | 715±21 ^{Ca} | 630±23 ^{Da} | 510±14 ^{Ea} |
| CH-1% | 922±29 ^{Aa} | 890±16 ^{Bb} | 860±14 ^{Bb} | 816±20 ^{Cb} | 790±13 ^{Cb} |
| CH-4% | 925±34 ^{Aa} | 900±14 ^{Abb} | 865±16 ^{BCb} | 833±15 ^{Cb} | 810±12 ^{Dbc} |
| CH-8% | 922±33 ^{Aa} | 910±13 ^{Abb} | 905±15 ^{BCb} | 845±12 ^{Cc} | 825±10 ^{Dc} |
| MMT | 920±27 ^{Aa} | 905±21 ^{Abb} | 897±13 ^{BCb} | 840±11 ^{Cbc} | 822±11 ^{Dc} |

^{a-c} Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (p < 0.05).

^{A-E} Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (p < 0.05).

*U: Uygulamalar, %1 CH: %1 Kitosan uygulanması, %4 CH: %4 Kitosan uygulanması, %8 CH: %8 Kitosan uygulanması, MMT: mmt uygulanması

4.1.9. Yumurta Kabuğu Kırılma Mukavemeti Değerleri

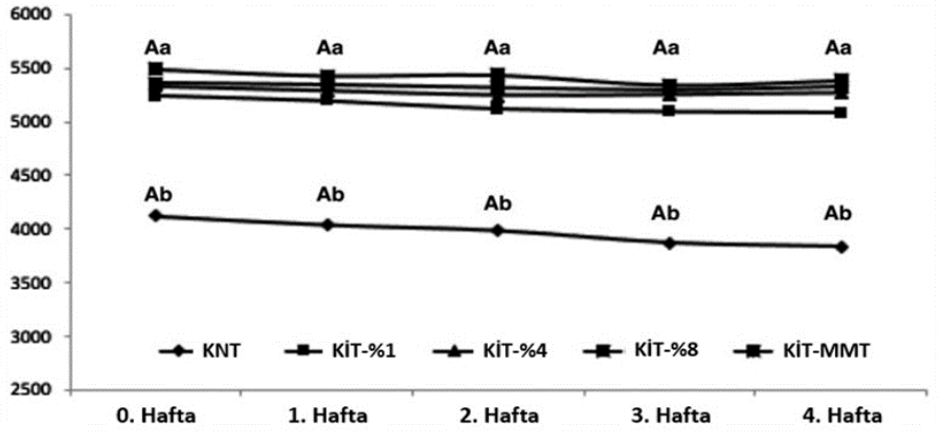
Kabuk, yumurtanın içeriğini mekanik hasardan korur ve ayrıca gözenekler yoluyla kütle transferini kontrol eder. Kabuk kalitesi, perakende pazarda en önemli faktörlerden biridir, kabuk mümkün olduğunca güçlü olmalıdır. Kabuk mukavemetindeki herhangi bir gelişme, kırılma nedeniyle yumurta kaybının önemli ölçüde en aza indirilmesiyle sonuçlanır. Biyolojik kaplamaların kullanılması, kabuk kalitesinin iyileştirilmesi için bir alternatif olabilir (Caner ve Yüceer, 2015; Sharaf Eddin vd., 2019). Kaplamalar, kabukta var olan çatlakları veya delikleri etkili bir şekilde kapatabilir ve kütle transferini en aza indirebilir.

Bu çalışmada, kitosan kaplamalar kabuk delinme mukavemetini artırarak Caner ve Cansız'a (2008) benzer sonuçlar göstermiştir. Özellikle kitosan %8 ve %4, %1 ve kaplanmamış olanlara kıyasla en başarılı konsantrasyonlardır.

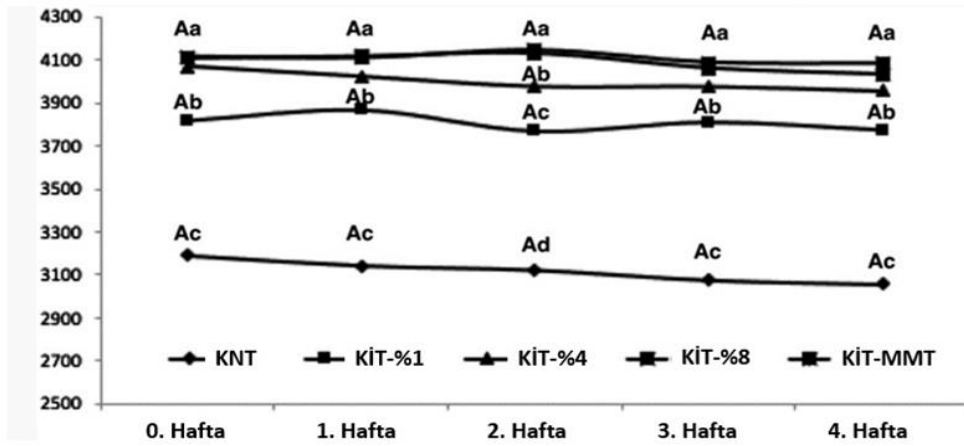
Xie vd., (2002), soya proteini kaplı WPI veya buğday proteini kaplı karboksi metil selülozun da kontrol olanlara kıyasla delinme mukavemetini arttırdığını yayınlamıştır.

Pires vd., (2019), pirinç proteini artı propolis (% 5 veya %10) ile kaplanmış yumurta kabuklarının direncinde herhangi bir gelişme göstermedi.

Ezazi vd., (2021), düşük miktarda propolis ve kitosan miktarındaki artışın kaplanmış yumurta kabuklarının mukavemetini artırdığını ortaya koymuştur. Kaplanmış yumurtaların (21.97 N) mukavemeti için maksimum değer, orta miktarda kitosan (%1,5 a/h) ile elde edilmiştir. Sağlanan kaplamada ek çatlak ve delikler bulunmazken, kontrol numunesinde bariz çatlaklar görülebilir.



Şekil 18. 4 haftalık depolama süresince kitosan ve montmorillonit kombinasyonlarının yumurtanın üst ucunun yumurta kabuğu delinme mukavemeti üzerine etkisi



Şekil 19. 4 haftalık depolama süresince kitosan ve montmorillonit kombinasyonlarının yumurtanın alt ucunun yumurta kabuğu delinme mukavemeti üzerine etkisi

^{a-c} Farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0.05$).

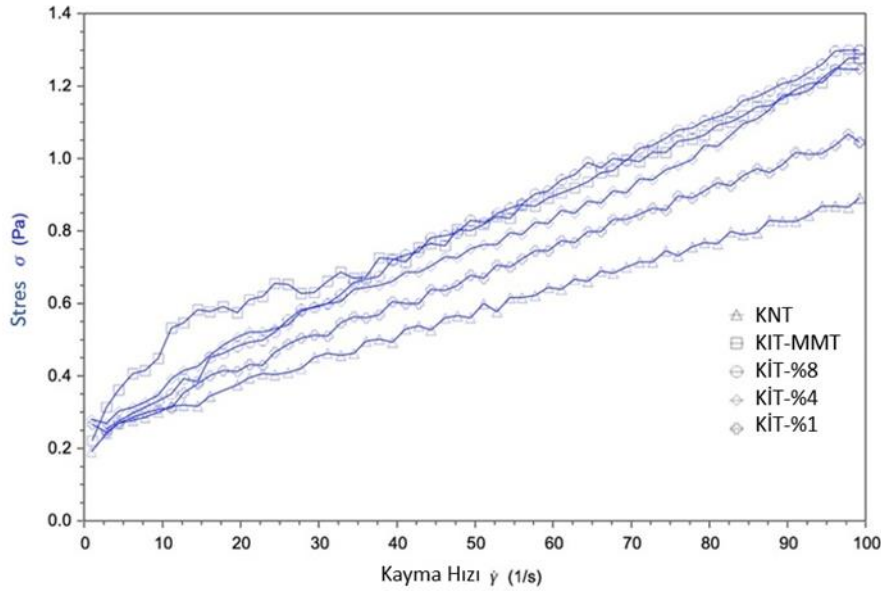
^{A-E} Farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0.05$).

4.1.10. Reolojik Özellikler

Reoloji, gıdanın strese ve zorlanma kuvvetlerine tepkisini anlamak için değerli bir araçtır ve gıda yapısı ve farklı bileşenler arasındaki etkileşim hakkında faydalı bilgiler sunar (Alamprese vd., 2012).

Yumurta akının viskozitesi, yumurta akının incelmeye etki eden lizozim-ovomüsin kompleksine bağlıdır (Yüceer ve Caner, 2014). Depolama süresi ve koşulları yumurtanın iç kalitesini etkiler, su ve karbondioksit kaybını artırır, yumurtanın pH'ında artışa neden olur ve çeşitli fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik deuteriasyona neden olur. (Singhet vd., 2014; Feddernet vd., 2017).

Kaplanmamış yumurta numuneleri, protein çözünürlüğünde bir kayıp ve viskozitede azalma ile sonuçlanan 9.6 pH gösterdi. Viskozite ve kesme hızı arasındaki ilişki, protein etkileşimlerine bir bağlantıyı yansıtabilir (Tian vd., 2021).



Şekil 20. Kitosan ve montmorillonit kombinasyonlarının 4. haftada yumurta akının reolojik davranışı üzerine etkisi

BEŞİNCİ BÖLÜM BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında üç farklı kitosan konsantrasyonu (%1, %4 ve %8) ve biyo-nanokompozit (montmorillonit) ile kombine edilmiş kitosan (%1) ile kaplama işlemi uygulanmıştır. Elde edilen bu kaplama materyallerinin 4 haftalık depolama (24°C) boyunca taze yumurtanın ağırlık kaybı, Haugh birimi, yumurta sarısı indeksi, pH, toplam kuru madde, relatif köpük kapasitesi, köpük stabilitesi, kabuk kırılma mukavemeti ve reolojik özellikler üzerine etkisi belirlenmiştir.

Yapılan analizler doğrultusunda, kitosan-%8 ve kitosan-MMT ile kaplama hem kaplanmamış yumurtalara hem de kitosan-%4 kaplamaya kıyasla önemli ölçüde ağırlık kaybını azaltmıştır. Kaplamalar, iç kalitenin korunmasında etkilidir ve kabuk üzerindeki gözenekleri kapatarak kütle aktarımının azaltılması yoluyla kayıpları azaltır. Kaplanmış kabuklu yumurtaların kütle transfer özellikleri, yumurta yüzeyindeki gözeneklerin kapatılmasıyla doğrudan ilişkilidir. Haugh birimi değerleri 4 haftanın sonunda 37,3 ile 60,5 arasında değiştiği belirlenmiştir. %8'lik kitosan ve MMT uygulamasının en yüksek haugh birimi değerlerini verdiği tespit edilmiştir. Yolk indeks değerleri 4 haftanın sonunda 0.24 ile 0,36 arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek yolk indeks değerini %8'lik kitosan ve MMT kaplamanın verdiği tespit edilmiştir. Çalışma, albümin pH'ının, tazeliğin iç niteliğini belirlemek için kullanılan doğru şekilde uygulanabilir bir gösterge olduğunu doğrulamaktadır. Albümin pH değeri 8,92 ile 9,60 arasında değişiklik göstermiştir. En düşük pH değerini %8'lik kitosan kaplama sağlamıştır. Yumurta sarısı pH değerleri 6,25 ile 6,41 arasında değişiklik göstermiştir. En düşük yumurta sarısı pH değerinin %8'lik kitosan kaplamanın verdiği tespit edilmiştir. Relatif köpük kapasitesi değeri 510 ile 822 arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek relatif köpük kapasitesi %8'lik kitosan ile elde edilmiştir. 4 haftalık depolama boyunca bütün yumurta numunelerinin köpük stabilitesi değerinde bir azalma yaşanmıştır. 4. Haftada bu değer 8.0 ile 20 arasında değişim göstermiştir. En yüksek köpük stabilitesi değerini MMT ve %8'lik kitosan kaplama vermiştir. Kitosan kaplamalar kabuk delinme mukavemetini arttırmıştır. Kitosan kaplamalar, özellikle %8 konsantrasyon ve Kitosan-MMT kaplama, kabuk delinme mukavemetini artırması nedeniyle en verimli kaplamalar olarak bulunmuştur. Depolama sırasında albüminin sıvılaşmasına bağlı olarak azalan kitosan konsantrasyonları ile viskozite akış eğrisi bir düşüş göstermiştir. Bu çalışma,

kitosan kaplamaların kullanımını vurgulamaktadır. Kontorele kıyasla kaliteyi 2-3 hafta daha uzun süre koruyabilmektedir.

Sonuçlar, kitosan ve kitosan – MMT kaplamaların kabuklu yumurtanın raf ömrünü artırmak için kullanılabilirliği ortaya koymuştur. Çeşitli kitosan konsantrasyonlarının, yumurtanın fonksiyonel özelliklerini korumak için ekonomik ve çevresel olarak uygun bir alternatif olabileceğini göstermiştir.



KAYNAKÇA

- A Eldaly, E., Mahmoud, F. A., & Abobakr, H. M. (2018). Preservative effect of chitosan coating on shelf life and sensory properties of chicken fillets during chilled storage. *Journal of Nutrition and Food Security*, 3(3), 139-148.
- Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Shafi, M. E., Zabermawi, N. M., Arif, M., Batiha, G. E., F.Khafaga, A., Abd El-Hakim, Y.M & Al-Sagheer, A. A. (2020). Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan and its derivatives and their applications: A review. *International journal of biological macromolecules*, 164, 2726-2744.
- Abdulkarim, A., Isa, M. T., Abdulsalam, S., Muhammad, A. J., & Ameh, A. O. (2013). Extraction and characterisation of chitin and chitosan from mussel shell. *Extraction*, 3(2), 108-114.
- Abdulkarim, A., Isa, M. T., Abdulsalam, S., Muhammad, A. J., & Ameh, A. O. (2013). Extraction and characterisation of chitin and chitosan from mussel shell. *Extraction*, 3(2), 108-114.
- Adeyeye, O. A., Sadiku, E. R., Babu Reddy, A., Ndamase, A. S., Makgatho, G., Sellamuthu, P. S., ... & Jamiru, T. (2019). The use of biopolymers in food packaging. In *Green Biopolymers and their Nanocomposites* (pp. 137-158). Springer, Singapore.
- Agarwal, S. (2021). Major factors affecting the characteristics of starch based biopolymer films. *European Polymer Journal*, 160, 110788.
- Agulló, E., Rodríguez, M. S., Ramos, V., & Albertengo, L. (2003). Present and future role of chitin and chitosan in food. *Macromolecular bioscience*, 3(10), 521-530.
- Aider, M. (2010). Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry. *LWT-food science and technology*, 43(6), 837-842.
- Alamprese, C., Casiraghi, E., & Rossi, M. (2012). Mechanical and rheological properties of fresh egg pasta as affected by shell egg production factors. *International journal of food science & technology*, 47(12), 2503-2509.

- Aldemir, T., & Bostan, K. (2009). Effects of chitosan on the microbiological quality of ready to cook meatball. *İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 35(2), 13-21.
- Alfei, S., Marengo, B., & Zuccari, G. (2020). Nanotechnology application in food packaging: A plethora of opportunities versus pending risks assessment and public concerns. *Food Research International*, 137, 109664.
- Alleoni, A. C. C., & Antunes, A. J. (2004). Albumen foam stability and s-ovalbumin contents in eggs coated with whey protein concentrate. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 6(2), 105-110.
- Anar, Ş. (2016). *Yumurta ve Yumurta Ürünleri*. Dora Yayıncılık.
- Andrade, R. D., Skurtys, O., & Osorio, F. A. (2012). Atomizing spray systems for application of edible coatings. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(3), 323-337.
- Anton, M. (2007). Composition and structure of hen egg yolk. In *Bioactive egg compounds* (pp. 1-6). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Anton, M., Nau, F., & Nys, Y. (2006). Bioactive egg components and their potential uses. *World's Poultry Science Journal*, 62(3), 429-438.
- Aranaz, I., Mengibar, M., Harris, R., Paños, I., Miralles, B., Acosta, N., Gemma, G & Heras, Á. (2009). Functional characterization of chitin and chitosan. *Current chemical biology*, 3(2), 203-230.
- Arbia, W., Arbia, L., Adour, L., & Amrane, A. (2013). Chitin extraction from crustacean shells using biological methods—a review. *Food Technology and Biotechnology*, 51(1), 12-25.
- Azevedo, V. M., Dias, M. V., Borges, S. V., Costa, A. L. R., Silva, E. K., Medeiros, É. A. A., & Nilda de Fátima, F. S. (2015). Development of whey protein isolate bio-nanocomposites: Effect of montmorillonite and citric acid on structural, thermal, morphological and mechanical properties. *Food Hydrocolloids*, 48, 179-188.
- Bangar, S. P., Purewal, S. S., Trif, M., Maqsood, S., Kumar, M., Manjunatha, V., & Rusu, A. V. (2021). Functionality and applicability of starch-based films: An eco-friendly approach. *Foods*, 10(9), 2181.

- Baniel, A., Fains, A., & Popineau, Y. (1997). Foaming properties of egg albumen with a bubbling apparatus compared with whipping. *Journal of Food Science*, 62(2), 377-381.
- Bayraktar, S. Ö. S. Y. H. Kanatli Hayvan Yetiştiriciliğinde Değişimler Ve Yeni Arayışlar. *Türkiye Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-2*, 838.
- Bento, R. A., Stamford, T. L. M., Stamford, T. C. M., De Andrade, S. A. C., & De Souza, E. L. (2011). Sensory evaluation and inhibition of *Listeria monocytogenes* in bovine pâté added of chitosan from *Mucor rouxii*. *LWT-Food Science and Technology*, 44(2), 588-591.
- Bertechini, A. G., & Mazzuco, H. (2013). The table egg: a review. *Ciência e agrotecnologia*, 37(2), 115-122.
- Beverly, R. L., Janes, M. E., Prinyawiwatkula, W., & No, H. K. (2008). Edible chitosan films on ready-to-eat roast beef for the control of *Listeria monocytogenes*. *Food microbiology*, 25(3), 534-537.
- Bhale, S., No, H. K., Prinyawiwatkul, W., Farr, A. J., Nadarajah, K., & Meyers, S. P. (2003). Chitosan coating improves shelf life of eggs. *Journal of food science*, 68(7), 2378-2383.
- Biddeci, G., Cavallaro, G., Di Blasi, F., Lazzara, G., Massaro, M., Milioto, S., Parisi, F., Riela, S., & Spinelli, G. (2016). Halloysite nanotubes loaded with peppermint essential oil as filler for functional biopolymer film. *Carbohydrate polymers*, 152, 548-557.
- Biswas, A. K., Chatli, M. K., Sahoo, J., & Singh, J. (2012). Storage stability of chicken meat patties, balls and nuggets incorporated with eugenol and chitosan at refrigeration temperature (4±1 C) under aerobic packaging condition. *Indian Journal of Poultry Science*, 47(3), 348-356.
- Bostan, K., & Mahan, F. I. (2011). Microbiological Quality and Shelf-life of Sausage Treated with Chitosan. *İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 37(2), 117-126.
- Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. *International food research journal*, 15(3), 237-248.

- Brasil, I. M., Gomes, C., Puerta-Gomez, A., Castell-Perez, M. E., & Moreira, R. G. (2012). Polysaccharide-based multilayered antimicrobial edible coating enhances quality of fresh-cut papaya. *LWT-Food Science and Technology*, 47(1), 39-45.
- Burrell, M. M. (2003). Starch: the need for improved quality or quantity—an overview. *Journal of Experimental Botany*, 54(382), 451-456.
- Campbell, L., Raikos, V., & Euston, S. R. (2003). Modification of functional properties of egg-white proteins. *Food/Nahrung*, 47(6), 369-376.
- Caner, C. (2005). Whey protein isolate coating and concentration effects on egg shelf life. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(13), 2143-2148.
- Caner, C. (2011). Sorption phenomena in packaged foods: factors affecting sorption processes in package-product systems. *Packaging Technology and Science*, 24(5), 259-270.
- Caner, C., & Cansiz, O. (2007). Effectiveness of chitosan-based coating in improving shelf-life of eggs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(2), 227-232.
- Caner, C., & Cansiz, Ö. (2008). Chitosan coating minimises eggshell breakage and improves egg quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(1), 56-61
- CANSIZ Ö., 2006. Farklı Organik Asitlerle Üretilen Kitosan Kaplama Materyalinin Yumurta Raf Ömrü ve Kabuk Mukavemetini Geliştirmede Etkinliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.
- Casariago, A. B. W. S., Souza, B. W. S., Cerqueira, M. A., Teixeira, J. A., Cruz, L., Díaz, R., & Vicente, A. A. (2009). Chitosan/clay films' properties as affected by biopolymer and clay micro/nanoparticles' concentrations. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1895-1902.
- Chen, Y., Sheng, L., Gouda, M., & Ma, M. (2019). Studies on foaming and physicochemical properties of egg white during cold storage. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 582, 123916.
- Chivrac, F., Pollet, E., & Averous, L. (2009). Progress in nano-biocomposites based on polysaccharides and nanoclays. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 67(1), 1-17.

- Chounou, N., Chouliara, E., Mexis, S. F., Stavros, K., Georgantelis, D., & Kontominas, M. G. (2013). Shelf life extension of ground meat stored at 4 C using chitosan and an oxygen absorber. *International journal of food science & technology*, 48(1), 89-95.
- Çiçekgil, Z., & Yazıcı, E. (2016). Türkiye’de tavuk yumurtası mevcut durumu ve üretim öngörüsü. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 26-34.
- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., & Tang, M. C. (2009). Form and functionality of starch. *Food hydrocolloids*, 23(6), 1527-1534.
- Cui, R., Yan, J., Cao, J., Qin, Y., Yuan, M., & Li, L. (2021). Release properties of cinnamaldehyde loaded by montmorillonite in chitosan-based antibacterial food packaging. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(8), 3670-3681.
- Cutter, C. N. (2006). Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods. *Meat science*, 74(1), 131-142.
- da Silva Pires, P. G., Bavaresco, C., Wirth, M. L., & Moraes, P. O. (2022). Egg coatings: trends and future opportunities for new coatings development. *World's Poultry Science Journal*, 1-13.
- David, G., Gontard, N., & Angellier-Coussy, H. (2019). Mitigating the impact of cellulose particles on the performance of biopolyester-based composites by gas-phase esterification. *Polymers*, 11(2), 200.
- de Araújo Soares, R., Borges, S. V., Dias, M. V., Piccoli, R. H., Fassani, E. J., & da Silva, E. M. C. (2021). Impact of whey protein isolate/sodium montmorillonite/sodium metabisulfite coating on the shelf life of fresh eggs during storage. *LWT*, 139, 110611.
- De Liu, X., Jang, A., Kim, D. H., Lee, B. D., Lee, M., & Jo, C. (2009). Effect of combination of chitosan coating and irradiation on physicochemical and functional properties of chicken egg during room-temperature storage. *Radiation Physics and Chemistry*, 78(7-8), 589-591.
- de Oliveira, A. D., & Beatrice, C. A. G. (2018). Polymer nanocomposites with different types of nanofiller. *Nanocomposites-recent evolutions*, 103-104.

- De Silva, R. T., Mantilaka, M. M. M. G. P. G., Ratnayake, S. P., Amaratunga, G. A. J., & de Silva, K. N. (2017). Nano-MgO reinforced chitosan nanocomposites for high performance packaging applications with improved mechanical, thermal and barrier properties. *Carbohydrate polymers*, 157, 739-747.
- Debeaufort, F., & Voilley, A. (2009). Lipid-based edible films and coatings. In *Edible films and coatings for food applications* (pp. 135-168). Springer, New York, NY.
- del Mar Orta, M., Martín, J., Santos, J. L., Aparicio, I., Medina-Carrasco, S., & Alonso, E. (2020). Biopolymer-clay nanocomposites as novel and ecofriendly adsorbents for environmental remediation. *Applied Clay Science*, 198, 105838.
- Devi, N., & Dutta, J. (2019). Development and in vitro characterization of chitosan/starch/halloysite nanotubes ternary nanocomposite films. *International journal of biological macromolecules*, 127, 222-231.
- Dhaka, R., & Upadhyay, A. (2018). Edible films and coatings: a brief overview. *The Pharma Innovation Journal*, 7(7), 331-333.
- Dhumal, C. V., & Sarkar, P. (2018). Composite edible films and coatings from food-grade biopolymers. *Journal of food science and technology*, 55(11), 4369-4383.
- Duan, X., Li, M., Shao, J., Chen, H., Xu, X., Jin, Z., & Liu, X. (2018). Effect of oxidative modification on structural and foaming properties of egg white protein. *Food Hydrocolloids*, 75, 223-228.
- Echeverría, I., Eisenberg, P., & Mauri, A. N. (2014). Nanocomposites films based on soy proteins and montmorillonite processed by casting. *Journal of Membrane Science*, 449, 15-26.
- Eddin, A. S., Ibrahim, S. A., & Tahergorabi, R. (2019). Egg quality and safety with an overview of edible coating application for egg preservation. *Food chemistry*, 296, 29-39.
- El Knidri, H., Belaabed, R., Addaou, A., Laajeb, A., & Lahsini, A. (2018). Extraction, chemical modification and characterization of chitin and chitosan. *International journal of biological macromolecules*, 120, 1181-1189.

- El-Aidie, S. A. A. M. (2018). A review on chitosan: Ecofriendly multiple potential applications in the food industry. *International Journal of Advancement in Life Sciences Research*, 1-14.
- Elashmawi, I. S., Hakeem, N. A., Marei, L. K., & Hanna, F. F. (2010). Structure and performance of ZnO/PVC nanocomposites. *Physica B: Condensed Matter*, 405(19), 4163-4169.
- Elsabee, M. Z., & Abdou, E. S. (2013). Chitosan based edible films and coatings: A review. *Materials Science and Engineering: C*, 33(4), 1819-1841.
- Ezazi, A., Javadi, A., Jafarizadeh-Malmiri, H., & Mirzaei, H. (2021). Development of a chitosan-propolis extract edible coating formulation based on physico-chemical attributes of hens' eggs: Optimization and characteristics edible coating of egg using chitosan and propolis. *Food Bioscience*, 40, 100894.
- Faezian, A., Yeganehzad, S., & Tighchi, H. A. (2019). A simplified model to describe drainage of egg white powder foam containing additives. *Chemical Engineering Science*, 195, 631-641.
- 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.
- Farahnaky, A., Dadfar, S. M. M., & Shahbazi, M. (2014). Physical and mechanical properties of gelatin–clay nanocomposite. *Journal of Food Engineering*, 122, 78-83.
- Feddern, V., Prá, M. C. D., Mores, R., Nicoloso, R. D. S., Coldebella, A., & Abreu, P. G. D. (2017). Egg quality assessment at different storage conditions, seasons and laying hen strains. *Ciência e Agrotecnologia*, 41, 322-333.
- Flaker, C. H., Lourenço, R. V., Bittante, A. M., & Sobral, P. J. (2015). Gelatin-based nanocomposite films: A study on montmorillonite dispersion methods and concentration. *Journal of Food Engineering*, 167, 65-70.
- Foegeding, E. A., Luck, P. J., & Davis, J. P. (2006). Factors determining the physical properties of protein foams. *Food hydrocolloids*, 20(2-3), 284-292.

- Francis, F. J. (1995). Quality as influenced by color. *Food quality and preference*, 6(3), 149-155.
- Frey, C. (2014). Fluid bed coating-based microencapsulation. In *Microencapsulation in the Food Industry* (pp. 65-79). Academic Press.
- Galus, S., Arik Kibar, E. A., Gniewosz, M., & Kraśniewska, K. (2020). Novel materials in the preparation of edible films and coatings—A review. *Coatings*, 10(7), 674.
- Geueke, B., Groh, K., & Muncke, J. (2018). Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials. *Journal of Cleaner Production*, 193, 491-505.
- Ghanbarzadeh, B., Oleyaei, S. A., & Almasi, H. (2015). Nanostructured materials utilized in biopolymer-based plastics for food packaging applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(12), 1699-1723.
- Ghelejlju, S. B., Esmaili, M., & Almasi, H. (2016). Characterization of chitosan–nanoclay bionanocomposite active films containing milk thistle extract. *International journal of biological macromolecules*, 86, 613-621.
- Ghosh, S. (2016). Protein quality in the first thousand days of life. *Food and Nutrition Bulletin*, 37(1_suppl), S14-S21.
- Gökmen, M., & Gürbüz, Ü. (2011). Use of chitosan in Turkish sausage (sucuk) production and effects on quality. *Kafkas Univ Vet Fak Derg*, 17(Suppl A), S67-S71.
- Grčević, M., Gajčević-Kralik, Z., Kralik, G., & Ivanković, S. (2011). Chicken Egg As Functional Food. *Krmiva: Časopis o hranidbi životinja, proizvodnji i tehnologiji krme*, 53(2), 93-100.
- Grujic, R., Vukic, M., & Gojkovic, V. (2017). Application of biopolymers in the food industry. In *Advances in applications of industrial biomaterials* (pp. 103-119). Springer, Cham.
- Hamed, I., Özogul, F., & Regenstein, J. M. (2016). Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): A review. *Trends in food science & technology*, 48, 40-50.

- Hammann, F., & Schmid, M. (2014). Determination and quantification of molecular interactions in protein films: A review. *Materials*, 7(12), 7975-7996.
- Hassan, B., Chatha, S. A. S., Hussain, A. I., Zia, K. M., & Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International journal of biological macromolecules*, 109, 1095-1107.
- Hauzoukim, Swain S., & Mohanty, B. (2020). Functionality of protein-Based edible coating. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(4), 1432-1440.
- Heldman, D. R. (2011). *Food preservation process design*. Academic Press.
- Hincke, M. T., Nys, Y., Gautron, J., Mann, K., Rodriguez-Navarro, A. B., & McKee, M. D. (2012). The eggshell: structure, composition and mineralization. *Front Biosci*, 17(1), 1266-1280.
- Hossain, M. S., & Iqbal, A. (2014). Production and characterization of chitosan from shrimp waste. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 12(1), 153-160.
- Hu, Z., & Gänzle, M. G. (2019). Challenges and opportunities related to the use of chitosan as a food preservative. *Journal of Applied Microbiology*, 126(5), 1318-1331.
- Huopalahti, R., Anton, M., López-Fandiño, R., & Schade, R. (Eds.). (2007). *Bioactive egg compounds* (pp. 33-42). Berlin: Springer.
- Jagadeesh, P., Puttegowda, M., Mavinkere Rangappa, S., & Siengchin, S. (2021). Influence of nanofillers on biodegradable composites: A comprehensive review. *Polymer Composites*, 42(11), 5691-5711.
- Jamróz, E., & Kopel, P. (2020). Polysaccharide and protein films with antimicrobial/antioxidant activity in the food industry: a review. *Polymers*, 12(6), 1289.
- Jamróz, E., Kulawik, P., & Kopel, P. (2019). The effect of nanofillers on the functional properties of biopolymer-based films: A review. *Polymers*, 11(4), 675.
- Jiang, Y., Zhuang, C., Zhong, Y., Zhao, Y., Deng, Y., Gao, H., Chen, H., & Mu, H. (2018). Effect of bilayer coating composed of polyvinyl alcohol, chitosan, and sodium alginate on salted duck eggs. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 868-878.

- Jin, T. Z., Gurtler, J. B., & Li, S. Q. (2013). Development of antimicrobial coatings for improving the microbiological safety and quality of shell eggs. *Journal of food protection*, 76(5), 779-785.
- Jo, C., Ahn, D. U., Liu, X. D., Kim, K. H., & Nam, K. C. (2011). Effects of chitosan coating and storage with dry ice on the freshness and quality of eggs. *Poultry science*, 90(2), 467-472.
- Jo, G. H., Jung, W. J., Kuk, J. H., Oh, K. T., Kim, Y. J., & Park, R. D. (2008). Screening of protease-producing *Serratia marcescens* FS-3 and its application to deproteinization of crab shell waste for chitin extraction. *Carbohydrate Polymers*, 74(3), 504-508.
- Joerger, R. D., Sabesan, S., Visioli, D., Urian, D., & Joerger, M. C. (2009). Antimicrobial activity of chitosan attached to ethylene copolymer films. *Packaging Technology and Science: An International Journal*, 22(3), 125-138.
- Jones, D. R. (2007). Egg functionality and quality during long-term storage.
- Ju, J., Xie, Y., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., & Yao, W. (2019). Application of edible coating with essential oil in food preservation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(15), 2467-2480.
- Kachanechai, T., Jantawat, P., & Pichyangkura, R. (2008). The influence of chitosan on physico-chemical properties of chicken salt-soluble protein gel. *Food hydrocolloids*, 22(1), 74-83.
- Ketta, M., & Tůmová, E. (2016). Eggshell structure, measurements, and quality-affecting factors in laying hens: a review. *Czech Journal of Animal Science*, 61(7), 299-309.
- Khanafari, A., Marandi, R. E. Z. A., & SANATI, S. (2008). Recovery of chitin and chitosan from shrimp waste by chemical and microbial methods.
- Khanjari, A., Karabagias, I. K., & Kontominas, M. G. (2013). Combined effect of N, O-carboxymethyl chitosan and oregano essential oil to extend shelf life and control *Listeria monocytogenes* in raw chicken meat fillets. *LWT-Food Science and Technology*, 53(1), 94-99.
- Khare, A. K., Biswas, A. K., & Sahoo, J. (2014). Comparison study of chitosan, EDTA, eugenol and peppermint oil for antioxidant and antimicrobial potentials in chicken

noodles and their effect on colour and oxidative stability at ambient temperature storage. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 286-293.

- Kim, K. W., Daeschel, M., & Zhao, Y. (2008). Edible coatings for enhancing microbial safety and extending shelf life of hard-boiled eggs. *Journal of food science*, 73(5), M227-M235.
- Kim, S. H., No, H. K., & Prinyawiwatkul, W. (2007). Effect of molecular weight, type of chitosan, and chitosan solution pH on the shelf-life and quality of coated eggs. *Journal of food science*, 72(1), S044-S048.
- Kim, S. H., No, H. K., & Prinyawiwatkul, W. (2008). Plasticizer types and coating methods affect quality and shelf life of eggs coated with chitosan. *Journal of food science*, 73(3), S111-S117.
- Kim, S. H., Youn, D. K., No, H. K., Choi, S. W., & Prinyawiwatkul, W. (2009). Effects of chitosan coating and storage position on quality and shelf life of eggs. *International journal of food science & technology*, 44(7), 1351-1359.
- Klinkesorn, U. (2013). The role of chitosan in emulsion formation and stabilization. *Food Reviews International*, 29(4), 371-393.
- Kotal, M., & Bhowmick, A. K. (2015). Polymer nanocomposites from modified clays: Recent advances and challenges. *Progress in Polymer Science*, 51, 127-187.
- Kou, S. G., Peters, L. M., & Mucalo, M. R. (2021). Chitosan: A review of sources and preparation methods. *International Journal of Biological Macromolecules*, 169, 85-94.
- Kovacs-Nolan, J., Phillips, M., & Mine, Y. (2005). Advances in the value of eggs and egg components for human health. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(22), 8421-8431.
- Kumar, M. N. R. (2000). A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and functional polymers*, 46(1), 1-27.
- Kumar, N., Kaur, P., & Bhatia, S. (2017). Advances in bio-nanocomposite materials for food packaging: a review. *Nutrition & Food Science.*,

- Kumirska, J., Weinhold, M. X., Czerwicka, M., Kaczyński, Z., Bychowska, A., Brzozowski, K., Thöming, J., & Stepnowski, P. (2011). Influence of the chemical structure and physicochemical properties of chitin-and chitosan-based materials on their biomedical activity. *Biomedical Engineering, Trends in Materials Science*, 25-64.
- Kurita, K. (2006). Chitin and chitosan: functional biopolymers from marine crustaceans. *Marine biotechnology*, 8(3), 203-226.
- Lacroix, M., & Vu, K. D. (2014). Edible coating and film materials: proteins. In *Innovations in food packaging* (pp. 277-304). Academic Press.
- Latou, E., Mexis, S. F., Badeka, A. V., Kontakos, S., & Kontominas, M. G. (2014). Combined effect of chitosan and modified atmosphere packaging for shelf life extension of chicken breast fillets. *LWT-Food science and Technology*, 55(1), 263-268.
- Lee, J. E., & Kim, K. M. (2010). Characteristics of soy protein isolate-montmorillonite composite films. *Journal of Applied Polymer Science*, 118(4), 2257-2263.
- Lee, J. H., Song, N. B., Jo, W. S., & Song, K. B. (2014). Effects of nano-clay type and content on the physical properties of sesame seed meal protein composite films. *International journal of food science & technology*, 49(8), 1869-1875.
- Lee, M. H., Cho, E. J., Choi, E. S., & Sohn, S. H. (2016). The effect of storage period and temperature on egg quality in commercial eggs. *Korean Journal of Poultry Science*, 43(1), 31-38.
- Leleu, S., Herman, L., Heyndrickx, M., De Reu, K., Michiels, C. W., De Baerdemaeker, J., & Messens, W. (2011). Effects on Salmonella shell contamination and trans-shell penetration of coating hens' eggs with chitosan. *International journal of food microbiology*, 145(1), 43-48.
- Lesniewski, G., & Stangierski, J. (2018). What's new in chicken egg research and technology for human health promotion?-A review. *Trends in food science & technology*, 71, 46-51.
- Li, Q., Ren, T., Perkins, P., Hu, X., & Wang, X. (2021). Applications of halloysite nanotubes in food packaging for improving film performance and food preservation. *Food Control*, 124, 107876.

- Li, X., & Xia, W. (2011). Effects of concentration, degree of deacetylation and molecular weight on emulsifying properties of chitosan. *International journal of biological macromolecules*, 48(5), 768-772.
- Liu, X. D., Han, R. X., Yun, H., Jung, K. C., Jin, D. I., Lee, B. D., Min, T.S. & Jo, C. (2009). Effect of irradiation on foaming properties of egg white proteins. *Poultry Science*, 88(11), 2435-2441.
- Liu, X., Song, R., Zhang, W., Qi, C., Zhang, S., & Li, J. (2017). Development of eco-friendly soy protein isolate films with high mechanical properties through HNTs, PVA, and PTGE synergism effect. *Scientific reports*, 7(1), 1-9.
- Liu, Y. F., Oey, I., Bremer, P., Carne, A., & Silcock, P. (2019). Modifying the functional properties of egg proteins using novel processing techniques: A review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 18(4), 986-1002.
- Liu, Y., Ahmed, S., Sameen, D. E., Wang, Y., Lu, R., Dai, J., ... & Qin, W. (2021). A review of cellulose and its derivatives in biopolymer-based for food packaging application. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 532-546.
- Lizárraga-Laborín, L. L., Quiroz-Castillo, J. M., Encinas-Encinas, J. C., Castillo-Ortega, M. M., Burruel-Ibarra, S. E., Romero-García, J., ... & Rodríguez-Félix, D. E. (2018). Accelerated weathering study of extruded polyethylene/poly (lactic acid)/chitosan films. *Polymer Degradation and Stability*, 155, 43-51.
- Luangapai, F., Peanparkdee, M., & Iwamoto, S. (2019). Biopolymer films for food industries: Properties, applications, and future aspects based on chitosan. *Reviews in Agricultural Science*, 7, 59-67.
- Luecha, J., Sozer, N., & Kokini, J. L. (2010). Synthesis and properties of corn zein/montmorillonite nanocomposite films. *Journal of materials science*, 45(13), 3529-3537.
- Lupínková, S., Kaimlová, M., Kormunda, M., & Kolská, Z. (2021). Chitosan-capped sulfur microparticles grafted on UV-treated PET surface. *Surface and Interface Analysis*, 53(1), 108-117.

- Lustriane, C., Dwivany, F. M., Suendo, V., & Reza, M. (2018). Effect of chitosan and chitosan-nanoparticles on post harvest quality of banana fruits. *Journal of Plant Biotechnology*, 45(1), 36-44.
- Majid, I., Nayik, G. A., Dar, S. M., & Nanda, V. (2018). Novel food packaging technologies: Innovations and future prospective. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(4), 454-462.
- Mangaraj, S., Yadav, A., Bal, L. M., Dash, S. K., & Mahanti, N. K. (2019). Application of biodegradable polymers in food packaging industry: a comprehensive review. *Journal of Packaging Technology and Research*, 3(1), 77-96.
- Marei, N. H., Abd El-Samie, E., Salah, T., Saad, G. R., & Elwahy, A. H. (2016). Isolation and characterization of chitosan from different local insects in Egypt. *International journal of biological macromolecules*, 82, 871-877.
- Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food packaging—roles, materials, and environmental issues. *Journal of food science*, 72(3), R39-R55.
- Menezes, J., & Athmaselvi, K. A. (2016). Polysaccharide based edible coating on sapota fruit. *International agrophysics*, 30(4).
- Mertens, K., Bamelis, F., Kemps, B., Kamers, B., Verhoelst, E., De Ketelaere, B., ... & De Baerdemaeker, J. (2006). Monitoring of eggshell breakage and eggshell strength in different production chains of consumption eggs. *Poultry Science*, 85(9), 1670-1677.
- Mine, Y. (2002). Recent advances in egg protein functionality in the food system. *World's poultry science journal*, 58(1), 31-39.
- Mine, Y. (Ed.). (2008). *Egg bioscience and biotechnology*. John Wiley & Sons.
- 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.
- Mohanty, F., & Swain, S. K. (2017). Bionanocomposites for food packaging applications. In *Nanotechnology applications in food* (pp. 363-379). Academic Press.

- Mokhtar, S. M., Youssef, K. M., & Morsy, N. E. (2014). The effects of natural antioxidants on colour, lipid stability and sensory evaluation of fresh beef patties stored at 4 C. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 20(3), 282-292.
- Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Torri, G., & Crini, G. (2019). Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry. *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 1667-1692.
- Mujtaba, M., Morsi, R. E., Kerch, G., Elsabee, M. Z., Kaya, M., Labidi, J., & Khawar, K. M. (2019). Current advancements in chitosan-based film production for food technology; A review. *International journal of biological macromolecules*, 121, 889-904.
- Nau, F., Nys, Y., Yamakawa, Y., & Rehault-Godbert, S. (2010). Nutritional value of the hen egg for humans. *INRA Productions Animales*, 23(2), 225-236.
- Nekrasov, A. G., Krotov, V. V., & Rusanov, A. I. (2002). Optical method of studying foam structural stability. *Colloid Journal*, 64(6), 778-780.
- Nematinia, E., & Abdanan Mehdizadeh, S. (2018). Assessment of egg freshness by prediction of Haugh unit and albumen pH using an artificial neural network. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 1449-1459.
- Nessa, F., Masum, S. M., Asaduzzaman, M., Roy, S. K., Hossain, M. M., & Jahan, M. S. (2010). A process for the preparation of chitin and chitosan from prawn shell waste. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 45(4), 323-330.
- Nielsen, H. (1998). Hen age and fatty acid composition of egg yolk lipid. *British Poultry Science*, 39(1), 53-56.
- Nimalaratne, C., & Wu, J. (2015). Hen egg as an antioxidant food commodity: A review. *Nutrients*, 7(10), 8274-8293.
- No, H. K., Meyers, S. P., Prinyawiwatkul, W., & Xu, Z. (2007). Applications of chitosan for improvement of quality and shelf life of foods: a review. *Journal of food science*, 72(5), R87-R100.
- OECD. Erişim: 18 Haziran 2022. <https://www.oecd.org/>

- Ogawa, K., Yui, T., & Okuyama, K. (2004). Three D structures of chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 34(1-2), 1-8.
- Oh, H. I., Kim, Y. J., Chang, E. J., & Kim, J. Y. (2001). Antimicrobial characteristics of chitosans against food spoilage microorganisms in liquid media and mayonnaise. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 65(11), 2378-2383.
- Okonkwo, J. C., Chiamaka, O., Okonkwo, I. F., & Marire, B. N. (2021). Effect of Storage Method and Storage Duration on Chicken Egg Quality.
- Oliveira, A. V., da Silva, A. P. M., Barros, M. O., de sa M. Souza Filho, M., Rosa, M. F., & Azeredo, H. M. (2018). Nanocomposite films from mango kernel or corn starch with starch nanocrystals. *Starch-Stärke*, 70(11-12), 1800028.
- Omana, D. A., Wang, J., & Wu, J. (2010). Co-extraction of egg white proteins using ion-exchange chromatography from ovomucin-removed egg whites. *Journal of Chromatography B*, 878(21), 1771-1776.
- Orsuwan, A., & Sothornvit, R. (2017). Development and characterization of banana flour film incorporated with montmorillonite and banana starch nanoparticles. *Carbohydrate polymers*, 174, 235-242.
- Osheba, A., Sorour, M., & Abdou, E. S. (2013). Effect of chitosan nanoparticles as active coating on chemical quality and oil uptake of fish fingers. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 2(1), 1-14.
- Othman, S. H. (2014). Bio-nanocomposite materials for food packaging applications: types of biopolymer and nano-sized filler. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 296-303.
- Ozcalik, O., & Tihminlioglu, F. (2013). Barrier properties of corn zein nanocomposite coated polypropylene films for food packaging applications. *Journal of Food Engineering*, 114(4), 505-513.
- Pal, K., Bharti, D., Sarkar, P., Anis, A., Kim, D., Chałas, R., Maksymiuk, P., Stachurski, P., & Jarzębki, M. (2021). Selected applications of chitosan composites. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(20), 10968.

- Park, H. J. (1999). Development of advanced edible coatings for fruits. *Trends in food science & technology*, 10(8), 254-260.
- Park, J. A., & Sohn, S. H. (2018). The influence of hen aging on eggshell ultrastructure and shell mineral components. *Korean journal for food science of animal resources*, 38(5), 1080.
- Peelman, N., Ragaert, P., De Meulenaer, B., Adons, D., Peeters, R., Cardon, L., Impe FV., Devlieghere, F. (2013). Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 32(2), 128-141.
- Pellicer, E., Nikolic, D., Sort, J., Baró, M., Zivic, F., Grujovic, N., Grujic, R., & Pelemis, S. (Eds.). (2017). *Advances in applications of industrial biomaterials*. New York, NY, USA:: Springer International Publishing.
- Pellicer, J. A., Fortea, M. I., Trabal, J., Rodríguez-López, M. I., Gabaldón, J. A., & Núñez-Delgado, E. (2019). Stability of microencapsulated strawberry flavour by spray drying, freeze drying and fluid bed. *Powder Technology*, 347, 179-185.
- Peter, M. G. (1995). Applications and environmental aspects of chitin and chitosan. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 32(4), 629-640.
- Petrou, S., Tsiraki, M., Gitrakou, V., & Savvaidis, I. N. (2012). Chitosan dipping or oregano oil treatments, singly or combined on modified atmosphere packaged chicken breast meat. *International journal of food microbiology*, 156(3), 264-271.
- Pillai, C. K., Paul, W., & Sharma, C. P. (2009). Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation. *Progress in polymer science*, 34(7), 641-678.
- Pires, P. G. D. S., Franceschi, C. H., Bavaresco, C., Leuven, A. F. R., & Andretta, I. (2021). Plasticizer types and whey protein coatings on internal quality and shelf life of eggs stored for 42 days. *Scientia Agricola*, 78.
- Pires, P. G. D. S., Pires, P. D. D. S., Cardinal, K. M., Leuven, A. F. R., Kindlein, L., & Andretta, I. (2019). Effects of rice protein coatings combined or not with propolis on shelf life of eggs. *Poultry science*, 98(9), 4196-4203.
- Polprasert, C. (2007). *Organic waste recycling: technology and management*. IWA publishing.

- Qin, Y., Lu, X., Sun, N., & Rogers, R. D. (2010). Dissolution or extraction of crustacean shells using ionic liquids to obtain high molecular weight purified chitin and direct production of chitin films and fibers. *Green Chemistry*, 12(6), 968-971.
- Ramírez, M. Á., Rodríguez, A. T., Alfonso, L., & Peniche, C. (2010). La quitina y sus derivados, biopolímeros con potencialidades de aplicación agrícola. *Biotecnología aplicada*, 27(4), 270-276.
- Ramos, Ó. L., Pereira, R. N., Cerqueira, M. A., Martins, J. R., Teixeira, J. A., Malcata, F. X., & Vicente, A. A. (2018). Bio-based nanocomposites for food packaging and their effect in food quality and safety. In *Food packaging and preservation* (pp. 271-306). Academic Press.
- Ramos, Ó. L., Silva, S. I., Soares, J. C., Fernandes, J. C., Poças, M. F., Pintado, M. E., & Malcata, F. X. (2012). Features and performance of edible films, obtained from whey protein isolate formulated with antimicrobial compounds. *Food Research International*, 45(1), 351-361.
- Rao, M. G., Bharathi, P., & Akila, R. M. (2014). A comprehensive review on biopolymers. *Sci. Revs. Chem. Commun*, 4(2), 61-68.
- Ray, S. S., & Okamoto, M. (2003). Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing. *Progress in polymer science*, 28(11), 1539-1641.
- Réhault-Godbert, S., Guyot, N., & Nys, Y. (2019). The golden egg: nutritional value, bioactivities, and emerging benefits for human health. *Nutrients*, 11(3), 684.
- Rhim, J. W., & Ng, P. K. (2007). Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 47(4), 411-433.
- Ribeiro, A. M., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2021). Preparation and incorporation of functional ingredients in edible films and coatings. *Food and Bioprocess Technology*, 14(2), 209-231.
- Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in polymer science*, 31(7), 603-632.

- Rodriguez-Turienzo, L., Cobos, A., Moreno, V., Caride, A., Vieites, J. M., & Diaz, O. (2011). Whey protein-based coatings on frozen Atlantic salmon (*Salmo salar*): Influence of the plasticiser and the moment of coating on quality preservation. *Food Chemistry*, 128(1), 187-194.
- Rout, S. K. (2001). Physicochemical, functional and spectroscopic analysis of crawfish chitin and chitosan as affected by process modification (Doctoral dissertation, Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College).
- Roy, S., & Rhim, J. W. (2021). Effect of chitosan modified halloysite on the physical and functional properties of pullulan/chitosan biofilm integrated with rutin. *Applied Clay Science*, 211, 106205.
- Saeed, F., Javaid, A., Ahmed, N., Nadeem, M. T., Arshad, M. S., Imran, A., Sohaib, M., & Khan, A. U. (2017). Influence of edible coating techniques on quality characteristics of eggs. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2), e12815.
- Şamlı, H. E., & Aylin, A. Ğ. M. A. (2016). YUMURTA.
- Sandeep, A., Sangameshwar, K., Mukesh, G., Chandrakant, R., & Avinash, D. (2013). A brief overview on chitosan applications. *Indo Am J Pharmaceutical Res*, 13(2), 1564-1574.
- Santos, V. P., Marques, N. S., Maia, P. C., Lima, M. A. B. D., Franco, L. D. O., & Campos-Takaki, G. M. D. (2020). Seafood waste as attractive source of chitin and chitosan production and their applications. *International journal of molecular sciences*, 21(12), 4290.
- Sanuja, S., Agalya, A., & Umapathy, M. J. (2014). Studies on magnesium oxide reinforced chitosan bionanocomposite incorporated with clove oil for active food packaging application. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 63(14), 733-740.
- Sedjati, S., Agustini, T. W., & Surti, T. (2007). Studi Penggunaan Khitosan Sebagai Anti Bakteri Pada Ikan Teri (*Stolephorus Heterolobus*) Asin Kering Selama Penyimpanan Suhu Kamar The Effect Of Chitosan Concentration On Quality Of Dried-Salted Anchovy (*Stolephorus Heterolobus*) During Room Temperature Storage. *Jurnal Pasir Laut*, 2(2), 54-60.

- Senturk Parreidt, T., Müller, K., & Schmid, M. (2018). Alginate-based edible films and coatings for food packaging applications. *Foods*, 7(10), 170.
- Shaghaleh, H., Xu, X., & Wang, S. (2018). Current progress in production of biopolymeric materials based on cellulose, cellulose nanofibers, and cellulose derivatives. *RSC advances*, 8(2), 825-842.
- Shah, A. H., Zhang, Y., Xu, X., Dayo, A. Q., Li, X., Wang, S., & Liu, W. (2018). Reinforcement of stearic acid treated egg shell particles in epoxy thermosets: structural, thermal, and mechanical characterization. *Materials*, 11(10), 1872.
- Shahbazi, Y., & Shavisi, N. (2019). Current advancements in applications of chitosan based nano-metal oxides as food preservative materials. *Nanomedicine Research Journal*, 4(3), 122-129.
- Shan, Y., Tang, D., Wang, R., Tu, A., Yi, Y., Wang, X., Liu, B., Zhou, Y., Huang, Q., & Lü, X. (2020). Rheological and structural properties of ovomucin from chicken eggs with different interior quality. *Food Hydrocolloids*, 100, 105393.
- Shankar, S., & Rhim, J. W. (2018). Preparation of sulfur nanoparticle-incorporated antimicrobial chitosan films. *Food Hydrocolloids*, 82, 116-123.
- Sharaf Eddin, A., & Tahergorabi, R. (2019). Efficacy of sweet potato starch-based coating to improve quality and safety of hen eggs during storage. *Coatings*, 9(3), 205.
- Sharif, M. K., Saleem, M., & Javed, K. (2018). Food Materials Science in Egg Powder Industry. In *Role of Materials Science in Food Bioengineering* (pp. 505-537). Academic Press.
- Shekarforoush, S. S., Basiri, S., Ebrahimnejad, H., & Hosseinzadeh, S. (2015). Effect of chitosan on spoilage bacteria, *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* in cured chicken meat. *International Journal of Biological Macromolecules*, 76, 303-309.
- Sikorski, Z. Z., & Kolakowska, A. (2010). Chemical and functional properties of food lipids. CRC press.
- Singh, J., Sharma, H. K., Premi, M., & Kumari, K. (2014). Effect of storage conditions of egg on rheological properties of liquid whole egg. *Journal of food science and technology*, 51(3), 543-550.

- Song, F., Tang, D. L., Wang, X. L., & Wang, Y. Z. (2011). Biodegradable soy protein isolate-based materials: a review. *Biomacromolecules*, 12(10), 3369-3380.
- Souza, V. G. L., Pires, J. R. A., Rodrigues, C., Rodrigues, P. F., Lopes, A., Silva, R. J., Caldeira, J., Duarte, M.P., Fernandes F.B., Coelho, I.M., & Fernando, A. L. (2019). Physical and morphological characterization of chitosan/montmorillonite films incorporated with ginger essential oil. *Coatings*, 9(11), 700.
- Souza, V. G. L., Pires, J. R., Vieira, É. T., Coelho, I. M., Duarte, M. P., & Fernando, A. L. (2019). Activity of chitosan-montmorillonite bionanocomposites incorporated with rosemary essential oil: From in vitro assays to application in fresh poultry meat. *Food Hydrocolloids*, 89, 241-252.
- 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.
- Suhag, R., Kumar, N., Petkoska, A. T., & Upadhyay, A. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, 136, 109582.
- Sujata, Y. (2014). Egg powder and its quality control. *Online International Interdisciplinary Research Journal*, 4(1), 204-219.
- Suman, S. P., Mancini, R. A., Joseph, P., Ramanathan, R., Konda, M. K. R., Dady, G., & Yin, S. (2011). Chitosan inhibits premature browning in ground beef. *Meat science*, 88(3), 512-516.
- Suresh, P. V., Raj, K. R., Nidheesh, T., Pal, G. K., & Sakhare, P. Z. (2015). Application of chitosan for improvement of quality and shelf life of table eggs under tropical room conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6345-6354.
- Tan, B., & Thomas, N. L. (2016). A review of the water barrier properties of polymer/clay and polymer/graphene nanocomposites. *Journal of Membrane Science*, 514, 595-612.
- Tang, X. Z., Kumar, P., Alavi, S., & Sandeep, K. P. (2012). Recent advances in biopolymers and biopolymer-based nanocomposites for food packaging materials. *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(5), 426-442.

- Taylor, N. G. (2008). Cellulose biosynthesis and deposition in higher plants. *New Phytologist*, 178(2), 239-252.
- Thakur, R., Pristijono, P., Scarlett, C. J., Bowyer, M., Singh, S. P., & Vuong, Q. V. (2019). Starch-based films: Major factors affecting their properties. *International journal of biological macromolecules*, 132, 1079-1089.
- Tian, F., Chen, W., Cai'E, W., Kou, X., Fan, G., Li, T., & Wu, Z. (2019). Preservation of *Ginkgo biloba* seeds by coating with chitosan/nano-TiO₂ and chitosan/nano-SiO₂ films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 126, 917-925.
- Tian, H., Guo, G., Fu, X., Yao, Y., Yuan, L., & Xiang, A. (2018). Fabrication, properties and applications of soy-protein-based materials: A review. *International journal of biological macromolecules*, 120, 475-490.
- Tian, L., Hu, S., Jia, J., Tan, W., Yang, L., Zhang, Q., Liu, X., & Duan, X. (2021). Effects of short-term fermentation with lactic acid bacteria on the characterization, rheological and emulsifying properties of egg yolk. *Food Chemistry*, 341, 128163.
- Torrìco, D. D. (2010). Effects of emulsion coatings on the internal quality and shelf life of eggs.
- Torrìco, D. D., No, H. K., Prinyawiwatkul, W., Janes, M., Corredor, J. A., & Osorio, L. F. (2011). Mineral oil–chitosan emulsion coatings affect quality and shelf-life of coated eggs during refrigerated and room temperature storage. *Journal of Food Science*, 76(4), S262-S268.
- Torrìco, D. D., No, H. K., Sriwattana, S., Ingram, D., & Prinyawiwatkul, W. (2011). Effects of initial albumen quality and mineral oil–chitosan emulsion coating on internal quality and shelf-life of eggs during room temperature storage. *International journal of food science & technology*, 46(9), 1783-1792.
- Tran, Q. H., Nguyen, V. Q., & Le, A. T. (2013). Silver nanoparticles: synthesis, properties, toxicology, applications and perspectives. *Advances in natural sciences: nanoscience and nanotechnology*, 4(3), 033001.
- TUİK.TUİK Krumsal. Erişim:18 Haziran 2022. <https://data.tuik.gov.tr/>

- Vahedikia, N., Garavand, F., Tajeddin, B., Cacciotti, I., Jafari, S. M., Omid, T., & Zahedi, Z. (2019). Biodegradable zein film composites reinforced with chitosan nanoparticles and cinnamon essential oil: Physical, mechanical, structural and antimicrobial attributes. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 177, 25-32.
- Vandyousefi, S., & Bhargava, K. (2017). Formulation and application of cinnamon oil–chitosan emulsion coating to increase the internal quality and shelf-life of shelled eggs. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2), e12859.
- Vasilatos, G. C., & Savvaidis, I. N. (2013). Chitosan or rosemary oil treatments, singly or combined to increase turkey meat shelf-life. *International journal of food microbiology*, 166(1), 54-58.
- Verlee, A., Mincke, S., & Stevens, C. V. (2017). Recent developments in antibacterial and antifungal chitosan and its derivatives. *Carbohydrate polymers*, 164, 268-283.
- Vilarinho, F., Vaz, M. F., & Silva, A. S. (2020). The use of montmorillonite (MMT) in food nanocomposites: Methods of incorporation, characterization of MMT/polymer nanocomposites and main consequences in the properties. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 11(1), 13-26.
- Vlčková, J., Tůmová, E., Ketta, M., Englmaierová, M., & Chodová, D. (2018). Effect of housing system and age of laying hens on eggshell quality, microbial contamination, and penetration of microorganisms into eggs. *Czech Journal of Animal Science*, 63(2), 51-60.
- Wakai, M., & Almenar, E. (2015). Effect of the presence of montmorillonite on the solubility of whey protein isolate films in food model systems with different compositions and pH. *Food Hydrocolloids*, 43, 612-621.
- Wang, Y., Cen, C., Chen, J., & Fu, L. (2020). MgO/carboxymethyl chitosan nanocomposite improves thermal stability, waterproof and antibacterial performance for food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 236, 116078.
- Wardy, W., Torrico, D. D., Jirangrat, W., No, H. K., Saalia, F. K., & Prinyawiwatkul, W. (2011). Chitosan-soybean oil emulsion coating affects physico-functional and sensory quality of eggs during storage. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2349-2355.

- Xie, L., Hettiarachchy, N. S., Ju, Z. Y., Meullenet, J., Wang, H., Slavik, M. F., & Janes, M. E. (2002). Edible film coating to minimize eggshell breakage and reduce post-wash bacterial contamination measured by dye penetration in eggs. *Journal of Food Science*, 67(1), 280-284.
- Xu, D., Qin, H., & Ren, D. (2018). Prolonged preservation of tangerine fruits using chitosan/montmorillonite composite coating. *Postharvest Biology and Technology*, 143, 50-57.
- Xu, D., Wang, J., Ren, D., & Wu, X. (2018). Effects of chitosan coating structure and changes during storage on their egg preservation performance. *Coatings*, 8(9), 317.
- Xu, L., Zhang, H., Lv, X., Chi, Y., Wu, Y., & Shao, H. (2017). Internal quality of coated eggs with soy protein isolate and montmorillonite: Effects of storage conditions. *International Journal of Food Properties*, 20(8), 1921-1934.
- Xu, Y., Willis, S., Jordan, K., & Sismour, E. (2018). Chitosan nanocomposite films incorporating cellulose nanocrystals and grape pomace extracts. *Packaging Technology and Science*, 31(9), 631-638.
- Yamamoto, T., Juneja, L. R., Hatta, H., & Kim, M. (1996). *Hen eggs: basic and applied science*. Crc Press.
- Yang, K., Dang, H., Liu, L., Hu, X., Li, X., Ma, Z., Wang, X., & Ren, T. (2019). Effect of syringic acid incorporation on the physical, mechanical, structural and antibacterial properties of chitosan film for quail eggs preservation. *International journal of biological macromolecules*, 141, 876-884.
- Yang, Z., Chaieb, S., & Hemar, Y. (2021). Gelatin-Based Nanocomposites: A Review. *Polymer Reviews*, 61(4), 765-813.
- Yeul, V. S., & Rayalu, S. S. (2013). Unprecedented chitin and chitosan: A chemical overview. *Journal of Polymers and the Environment*, 21(2), 606-614.
- Yien, L., Zin, N. M., Sarwar, A., & Katas, H. (2012). Antifungal activity of chitosan nanoparticles and correlation with their physical properties. *International journal of Biomaterials*, 2012.

- Younes, I., & Rinaudo, M. (2015). Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications. *Marine drugs*, 13(3), 1133-1174.
- Yousuf, B., Qadri, O. S., & Srivastava, A. K. (2018). Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: A review. *Lwt*, 89, 198-209.
- Yuceer, M., & Caner, C. (2014). Antimicrobial lysozyme–chitosan coatings affect functional properties and shelf life of chicken eggs during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(1), 153-162.
- Yüceer, M., & Caner, C. (2020). The effects of ozone, ultrasound and coating with shellac and lysozyme–chitosan on fresh egg during storage at ambient temperature–part 1: interior quality changes. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(1), 259-266.
- Zaheer, K. (2015). An updated review on chicken eggs: production, consumption, management aspects and nutritional benefits to human health. *Food and Nutrition Sciences*, 6(13), 1208.
- Zargar, V., Asghari, M., & Dashti, A. (2015). A review on chitin and chitosan polymers: structure, chemistry, solubility, derivatives, and applications. *ChemBioEng Reviews*, 2(3), 204-226.
- Zhang, H., & Mittal, G. (2010). Biodegradable protein-based films from plant resources: a review. *Environmental progress & sustainable energy*, 29(2), 203-220.
- Zhang, R., Hoffmann, T., & Tsotsas, E. (2020). Novel technique for coating of fine particles using fluidized bed and aerosol atomizer. *Processes*, 8(12), 1525.
- Zhou, Y., Qiu, N., Mine, Y., Meng, Y., Keast, R., & Zhu, C. (2020). Quantitative comparative proteomic analysis of chicken egg vitelline membrane proteins during high-temperature storage. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(36), 9816-9825.
- Zhuang, C., Jiang, Y., Zhong, Y., Zhao, Y., Deng, Y., Yue, J., Wang, D., Jiao, S., Gao, H., Chen, H., & Mu, H. (2018). Development and characterization of nano-bilayer films composed of polyvinyl alcohol, chitosan and alginate. *Food Control*, 86, 191-199.

Żmudziński, D., Ptaszek, P., Kruk, J., Kaczmarczyk, K., Rożnowski, W., Berski, W., Ptaszek, A., & Grzesik, M. (2014). The role of hydrocolloids in mechanical properties of fresh foams based on egg white proteins. *Journal of Food Engineering*, 121, 128-134.

Zubair, M., & Ullah, A. (2020). Recent advances in protein derived bionanocomposites for food packaging applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(3), 406-434.





