



**T.C.**

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TAZE YUMURTANIN DEPOLAMA STABİLİTESİNİN  
ARTTIRILMASINDA ŞELLAK VE ŞELLAK-NANOPARTİKÜL  
KAPLAMA UYGULAMALARININ ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAKAN ŞAHANSOY**

**Tez Danışmanı**

**PROF. DR. CENGİZ CANER**

**ÇANAKKALE – 2023**





T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TAZE YUMURTANIN DEPOLAMA STABİLİTESİNİN ARTTIRILMASINDA  
ŞELLAK VE ŞELLAK-NANOPARTİKÜL KAPLAMA UYGULAMALARININ  
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAKAN ŞAHANSOY

Tez Danışmanı

PROF.DR. CENGİZ CANER

ÇANAKKALE – 2023

T.C.  
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Hakan ŞAHANSOY tarafından Prof. Dr. Cengiz CANER yönetiminde hazırlanan ve 06/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “Taze Yumurtanın Depolama Stabilesinin Arttırılmasında Şellak Ve Şellak-Nanopartikül Kaplama Uygulamalarının Etkisi” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Cengiz CANER

(Danışman)

Doç. Dr. Muhammed YÜCEER

Prof. Dr. Mustafa KIRALAN

**İmza**

.....

.....

.....

Tez No : 10549787

Tez Savunma Tarihi : 06/06/2023

.....  
Prof. Dr. Ahmet Evren ERGİNAL

Enstitü Müdürü

15/06/2023

## ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; 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 çalışmada 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.

Hakan ŞAHANSOY

21/06/2023

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesi ile beni yönlendiren saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Cengiz CANER'e

Tezimin en baőından itibaren değerli önerileri ile yol gösteren, tecrübelerini ve bilgisini benimle paylaşan saygıdeğer hocam Doç.Dr. Muhammed YÜCEER'e

Laboratuvar çalıőmalarımın gerçekleştirilmesinde bana katkı sağlayan Pınar GEDİKOĞLU ARSLAN'a, Literatür taramasında ve tez yazımında desteklerini esirgemeyen Özlem ŐAHİN'e ve değerli arkadaşım Mehmet ÖZTÜRK'e

Bugüne kadar hayatımın tüm evrelerinde olduğu gibi tez çalıőmam boyunca da desteklerini hissettiğim, hiçbir yardım ve fedakarlıktan kaçınmayan her daim maddi-manevi anlamda yanımda olan eőim Selma ŞAHANSOY ve kızım Zeynep ŞAHANSOY'a

En içten teőekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Hakan ŞAHANSOY  
anakkale, Haziran 2023

## ÖZET

# FARKLI KONSANTRASYONLARDA ŞELLAK VE ŞELLAK-NANOPARTİKÜL KAPLAMALARIN TAZE YUMURTALARIN DEPOLAMA STABİLİTESİNE ETKİNLİĞİ

Hakan ŞAHANSOY

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Cengiz CANER

21/06/2023, 168

Bu çalışmanın temel amacı, %1, %4, %8 a/a konsantrasyonlarında hazırlanmış şellak ve %1 şellak ve biyo-nanokompozit (montmorillonite-MMT) ile birleştirilmiş şellakın (%1-a/a) oda sıcaklığında 30 günlük depolama boyunca taze yumurtaların iç kalitesi (Haugh birimi-HU, yumurta sarısı indeksi-YI, pH, kuru madde ve relatif köpük kapasitesi-RWC) üzerine etkinliğini değerlendirmektir.

Taze yumurtaların oda sıcaklığında depolama esnasında konsantrasyon ve süre faktörlerine bağlı olarak önemli HU farklılıkları gözlenmiştir. 10.günden itibaren kontrol grubu yumurtalar ile kaplanmış yumurtalar arasında önemli HU farklılıkları gözlenmeye başlamış olup oda sıcaklığında 30 günlük depolamadan sonra, kontrol grubu ve kaplanmış yumurtalar arasında önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. %1 şellak ile kaplama, %4 ve %8 şellak ile kaplanan yumurtaların HU biriminde önemli ölçüde farklılık gösterirken %1 şellak-MMT kaplama arasında önemli bir farklılık göstermemiştir. Depolama sonunda %4 şellak (60,24) ve %8 şellak (63,75) ile kaplanan yumurtaların HU değerleri %1 şellak-MMT (58,04) ve %1 şellak (55,31) ile kaplanan yumurtalardan önemli ölçüde daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Depolama esnasında 20. Günden itibaren kaplanmış yumurtaların YI değerleri ile kaplanmamış yumurtaların YI değerleri arasında önemli ölçüde farkların oluşmaya

başladığı, depolama sonunda ise kaplanmış yumurtaların YI değerleri kaplanmamış yumurtalardan önemli ölçüde daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Depolama sonunda konsantrasyon ve süre faktörlerinin albümin pH üzerine istatistiksel olarak önemi ayrı ayrı farklı bulunmuş olup konsantrasyon\*süre interaksyonu arasında fark bulunmadığı görülmüştür. Oda sıcaklığında depolama esnasında kaplanmış ve kaplanmamış yumurtaların albümin pH değerleri sürekli artış göstermiş olup 30.günün sonunda %8 şellak ile kaplanmış yumurtaların kontrol ve diğer uygulama gruplarına kıyasla albümin pH değerlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

30 günlük depolamadan sonra kontrol grubu (623,33) ile kaplamalar arasında RWC değerleri önemli ölçüde farklılık gözlenirken %1 şellak (785), %4 şellak (815) ve %8 şellak (835) ve %1 Şellak-MMT kaplamalar (800) kendi arasında önemli ölçüde farklılık göstermemiştir.

Bu çalışma şellak kaplamaların taze yumurtaların iç kalitesini korumak için etkili olduğunu göstermiştir. Daha yüksek şellak kaplamalar (%8) depolama sırasında kabuklu yumurtaların iç kalitesini daha iyi korumuştur. Şellak kaplamalar yumurtaların iç kalitelerini koruyarak yumurtanın 28 günlük olan raf ömrünü artırmak için önemli bir alternatif olabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Yumurta, şellak kaplama, Biyo-nanokompozit, montmorillonit, Yumurta iç kalitesi, Depolama stabilitesi.



## ABSTRACT

### THE EFFECTIVENES OF SHELLAC AND SHELLAC-NANOPARTICLE COATINGS AT DIFFERENT CONCENTRATIONS ON THE STORAGE STABILITY OF FRESH EGGS

Hakan ŞAHANSOY

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Food Engineering

Advisor: Prof. Dr. Cengiz CANER

21/06/2023, 168

The main purpose of this study was to determine the internal quality of fresh eggs (Haugh unit-HU, egg yolk index-YI, pH, dry matter and relative foaming capacity-RWC) of either with shellac prepared at concentrations of 1%, 4%, 8%-a-a or %1 shellac combined with bio-nanocomposite (montmorillonite-MMT) (1%-w/w) during 30 days of storage at room temperature.

During storage of fresh eggs at room temperature, significant HU differences were observed depending on the concentration and time factors. From the 10th day on, significant HU differences were observed between the control group eggs and the coated eggs, and after 30 days of storage at room temperature, significant differences were observed between the control group and coated eggs. While coating of eggs with 1% shellac differed significantly in HU unit in coated with 4% and 8% shellac, there was no significant difference in %1 shellac-MMT coating. At the end of the storage, it was observed that HU values of eggs coated with 4% shellac (60.24) and 8% shellac (63.75) were significantly higher than those eggs coated with 1% shellac-MMT (58.04) and 1% shellac (55.31).

It was obtained that there were significant differences between the YI values of the coated eggs and the YI values of the uncoated eggs from the 20th day during storage, and at the end of storage, the YI values of the coated eggs were significantly higher than the uncoated eggs.

At the end of storage, the effects of concentration and time factors on viilüteni and pH were found to be statistically different, and there was no difference on concentration\*time interaction. The viilüteni pH values of the coated and uncoated eggs increased continuously during storage at room temperature, and at the end of the 30th day, it was observed that the viilüteni pH values of the eggs coated with 8% shellac were lower compared to the control and other application groups.

After 30 days of storage, the RWC values were significantly different between the control group (623.33) and the coatings, while the 1% shellac (785), 4% shellac (815) and 8% shellac (835) and 1% Shellac-MMT coatings (800) did not differ significantly among themselves.

This study showed that shellac coatings are effective for maintaining the internal quality of fresh eggs. Higher rate shellac coatings (8%) preserved the internal quality of the viilüte eggs better during storage. Shellac coatings can be an important alternative to protect the internal quality of eggs and increase the shelf life of eggs, which is 28 days.

**Keywords:** Egg, shellac coating, Bio-nanocomposite, Montmorillonite, Egg internal quality, Storage stability.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| JÜRİ ONAY SAYFASI .....       | i    |
| ETİK BEYAN .....              | ii   |
| TEŞEKKÜR .....                | iii  |
| ÖZET .....                    | iv   |
| ABSTRACT .....                | vi   |
| İÇİNDEKİLER .....             | viii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR ..... | xi   |
| TABLOLAR DİZİNİ .....         | xiii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....         | xv   |

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

1

|   |    |
|---|----|
| 1.1. Yenilebilir Film ve Kaplamalar .....                           | 5  |
| 1.1.1. Yenilebilir Film ve Kaplamaların Sınıflandırılması .....     | 10 |
| 1.1.2. Yenilebilir Film ve Kaplamalar Üretim Metotları .....        | 21 |
| 1.1.3. Yenilebilir Kaplamaların Gıdalara Uygulanma Yöntemleri ..... | 23 |
| 1.2. Nanokompozitler .....  | 28 |
| 1.2.1. Polisakkarit Bazlı Nanokompozitler .....                     | 29 |
| 1.2.2. Protein Bazlı Nanokompozitler .....                          | 29 |
| 1.2.3. Lipit Bazlı Nanokompozitler .....                            | 29 |
| 1.2.4. Nano Dolgu Maddeleri .....                                   | 30 |
| 1.3. Şellak .....   | 43 |
| 1.3.1. Tarihçe .....  | 43 |
| 1.3.2. Lak Formları .....   | 45 |
| 1.3.3. Şellak'ın Kimyasal Yapısı .....                              | 48 |
| 1.3.4. Şellak Kimyasal Özellikleri.....                             | 50 |
| 1.3.5. Şellak Yenilebilir Film Endüstrisinde Uygulamaları.....      | 55 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.4.   | Yumurta .....  | 60 |
| 1.4.1. | Yumurtanın Kimyasal Özellikleri .....                              | 65 |
| 1.4.2. | Yumurtanın Morfolojik Yapısı .....                                 | 70 |
| 1.4.3. | Yumurta Reolojisi .....  | 83 |
| 1.4.4. | Fonksiyonel Özelliklerin İyileştirilmesi (Jelleşme, Köpürme) ..... | 86 |

## İKİNCİ BÖLÜM

|                   |    |
|-------------------|----|
| ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR | 89 |
|-------------------|----|

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM | 102 |
|-----------------------------------|-----|

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 3.1.   | Materyal .....                          | 102 |
| 3.1.1. | Yumurta.....                            | 102 |
| 3.1.2. | Şellak .....                            | 102 |
| 3.1.3. | MMT .....                               | 102 |
| 3.2.   | Metot.....                              | 102 |
| 3.2.1. | Kaplama Materyalinin Hazırlanması ..... | 102 |
| 3.2.2. | Yumurtaların Kaplanması .....           | 103 |
| 3.2.3. | Yapılan Analizler .....                 | 103 |

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

|                     |     |
|---------------------|-----|
| ARAŞTIRMA BULGULARI | 108 |
|---------------------|-----|

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 4.1.   | Depolama Boyunca Fiziko-Kimyasal Değişimler ..... | 108 |
| 4.1.1. | Ağırlık Kaybı .....                               | 108 |
| 4.1.2. | Haugh Birimi Analiz Değerleri .....               | 110 |
| 4.1.3. | Yolk İndeks Değerleri .....                       | 113 |
| 4.1.4. | Albümin pH Değerleri .....                        | 115 |
| 4.1.5. | Yumurta Sarısı pH Değerleri .....                 | 116 |
| 4.1.6. | Toplam Kuru Madde Değerleri .....                 | 117 |
| 4.1.7. | Relatif Köpük Kapasitesi Değerleri .....          | 119 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.1.8. Köpük Stabilitesi Değerleri .....                 | 121 |
| 4.1.9. Yumurta Kabuğu Kırılma Mukavemeti Değerleri ..... | 122 |
| 4.1.10. Reolojik Özellikler .....                        | 125 |

## BEŞİNCİ BÖLÜM

|                   |     |
|-------------------|-----|
| SONUÇ VE ÖNERİLER | 129 |
|-------------------|-----|

|                |     |
|----------------|-----|
| KAYNAKÇA ..... | 131 |
|----------------|-----|

|                |   |
|----------------|---|
| ÖZGEÇMİŞ ..... | I |
|----------------|---|



## SİMGELER VE KISALTMALAR

|       |   |
|-------|---|
| FDA   | Amerika Birleşik Devleti Gıda ve İlaç Dairesi |
| WVP   | Su buharı geçirgenliği                        |
| MMT   | Montmorillonit                                |
| HB    | Haugh birimi                                  |
| SI    | Sarı indeksi                                  |
| RWC   | Relatif köpük kapasitesi                      |
| TBARS | Tiyobarbitürik asit reaktif maddeler          |
| HNT   | Halloysit                                     |
| OMS   | Organofilik kil                               |
| CNT   | Karbon nanotüpler                             |
| SH    | Şellak  |
| LWE   | Sıvı bütün yumurta                            |
| EWP   | Yumurta akı proteini                          |
| EP    | Yumurta proteini                              |
| 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                                     |
| G'    | Depolama modülü                               |
| G''   | Kayıp modülü                                  |
| mg    | Miligram                                      |
| IU    | Uluslararası birim                            |
| µg    | Mikrogram                                     |
| ml    | Mililitre                                     |

|      |                       |
|------|-----------------------|
| cm   | Santimetre            |
| s    | Saniye                |
| kgf  | Kilogram Güç          |
| N    | Newton                |
| np   | Nanopartikül          |
| WVTR | Su buharı geçiş hızı  |
| BHA  | Beta hidroksi asit    |
| BHT  | Bütıl hidroksi toluen |



## TABLolar DİZİNİ

| <b>Tablo No</b> | <b>Tablo Adı</b>   | <b>Sayfa No</b> |
|-----------------|--|-----------------|
| <b>Tablo 1</b>  | Biyopolimer tiplerinin şematik sınıflandırılması   | 11              |
| <b>Tablo 2</b>  | Polimerler için dolgu maddelerinin kimyasal aileleri   | 31              |
| <b>Tablo 3</b>  | Nano doldurucu özelliklerinin güncel örnekleri   | 37              |
| <b>Tablo 4</b>  | Sticklac, seedlac ve şellak bileşenleri  | 49              |
| <b>Tablo 5</b>  | Şellak'ın çeşitli organik çözücülerde çözünürlüğü  | 52              |
| <b>Tablo 6</b>  | Şellak'ın fiziksel, elektriksel ve kimyasal özellikleri  | 54              |
| <b>Tablo 7</b>  | Türk Gıda Kodeksi Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliği'ne göre gıdalarda kullanımına izin verilen şellak miktarı               | 57              |
| <b>Tablo 8</b>  | Kanatlı yumurtasının besin değeri (100 g yumurta başına değer)   | 61              |
| <b>Tablo 9</b>  | Yumurta akı proteinlerinin bileşimi ve bazı fizikokimyasal özellikleri   | 68              |
| <b>Tablo 10</b> | Tavuk yumurtası kuru sarısı bileşimi   | 81              |
| <b>Tablo 11</b> | Depolama sırasında (30 günlük) şellak ve montmorillonit kombinasyonlarının Haugh Birimi (HU) üzerindeki etkisi             | 112             |
| <b>Tablo 12</b> | Depolama sırasında (30 günlük) şellak ve şellak %1-montmorillonit kombinasyonlarının Sarı İndeksi (YI) üzerindeki etkisi   | 114             |
| <b>Tablo 13</b> | Şellak ve şellak %1-MMT kaplamaların 30 günlük depolama süresi boyunca yumurtanın albümin pH değeri üzerine etkisi         | 116             |
| <b>Tablo 14</b> | Şellak ve şellak %1-MMT kaplamaların 30 günlük depolama süresi boyunca yumurta sarısının pH değeri üzerine etkisi          | 117             |
| <b>Tablo 15</b> | Şellak ve şellak %1-MMT kaplamaların 30 günlük depolama süresi boyunca yumurtanın albümin kuru madde değeri üzerine etkisi | 118             |



|                 |   |     |
|-----------------|---|-----|
| <b>Tablo 16</b> | Şellak ve şellak %1-MMT kaplamaların 30 günlük depolama süresi boyunca yumurta sarısı toplam kuru madde değeri üzerine etkisi | 118 |
| <b>Tablo 17</b> | Şellak ve şellak %1-MMT kaplamaların 30 günlük depolama süresi boyunca yumurtanın relatif köpük kapasitesi üzerine etkisi     | 120 |
| <b>Tablo 18</b> | Şellak ve şellak %1-MMT kaplamaların 30 günlük depolama süresi boyunca yumurtanın köpük stabilitesi üzerine etkisi            | 122 |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

| Şekil No | Şekil Adı  | Sayfa No |
|----------|--|----------|
| Şekil 1  | Döküm yöntemi ile film oluşumu   | 22       |
| Şekil 2  | Yenilebilir kaplamanın püskürtme uygulama yöntemi  | 24       |
| Şekil 3  | Çilek meyvesine daldırma yöntemi ile yenilebilir kaplama uygulaması  | 25       |
| Şekil 4  | Üstten püskürtmeli akışkan yataklı kaplama şeması  | 27       |
| Şekil 5  | Polimerik matriste katı lipit nanopartiküllerinden (SLN'ler)/nanoyapılı lipit taşıyıcılarından (NLC'ler) oluşan nanokompozitler                                    | 30       |
| Şekil 6  | Nanokompozit filmlerin şematik hazırlanması ve fonksiyonel özellikleri   | 39       |
| Şekil 7  | Nanoparçacıklarının antimikrobiyal aktivitelerinin potansiyel mekanizmaları  | 43       |
| Şekil 8  | Lakın işlenmesi: (a) Konukçu bitki üzerindeki lak, (b) Kazınmış lak, (c) Lak boyası, (d) Seedlac, (e) Şellak ve (f) Düğme lakı ve laktan elde edilen diğer ürünler | 45       |
| Şekil 9  | Şellak'ın Seed'ac'tan termal ve solvent yöntemleri ile çeşitli üretim yöntemleri   | 48       |
| Şekil 10 | Şellak kimyasal yapısı   | 50       |
| Şekil 11 | Yumurtanın yenilebilir kısımlarının temel bileşimi. (a) Yumurta akı; (b) Yumurta sarısı  | 61       |
| Şekil 12 | Yumurta sarısı bileşimi  | 67       |
| Şekil 13 | Yumurtanın şematik çizimi  | 70       |
| Şekil 14 | Bir yumurta kabuğunun enine kesit yapısı   | 72       |
| Şekil 15 | Newton olmayan akışkanlar  | 86       |

|                 |  |     |
|-----------------|--|-----|
| <b>Şekil 16</b> | Yumurtalara kaplama uygulamak için deneysel yöntem   | 103 |
| <b>Şekil 17</b> | Şellak ve şellak %1-montmorillonit kombinasyonlarının 30 günlük depolama süresince yumurtaların kilo kaybı üzerine etkisi  | 109 |
| <b>Şekil 18</b> | Depolama süresince (30 günlük) şellak ve şellak %1-montmorillonit kombinasyonlarının yumurtanın üst ucunun yumurta kabuğu delinme mukavemeti üzerine etkisi  | 124 |
| <b>Şekil 19</b> | Depolama süresince (30 günlük) şellak ve şellak %1-montmorillonit kombinasyonlarının yumurtanın alt ucunun yumurta kabuğu delinme mukavemeti üzerine etkisi  | 125 |
| <b>Şekil 20</b> | Depolama sonunda (30 günlük) bütün yumurta kabuğunun (a) şellak ile kaplanmış (%1, %4, %8), şellak-MMT ile kaplanmış ve kaplanmamış (kontrol-KNT) reolojik eğrileri kayma hızı eğrilerine karşı, (b) sıcaklık eğrilerine karşı depolama modülü ve kayıp modülü ve (c) gerinime karşı elastik modülün ve viskoz modülün bir fonksiyonu olarak salınım gerinim tarama testi eğrileri (n = 5) | 126 |

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

Antik çağlardan beri insanlar tarafından gıda olarak kullanılan tavuk yumurtası, besin değerleri, duyuşal özellikleri ve fonksiyonel özelliklerinden dolayı gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Fernández-Martín vd., 2018). Yumurta, mükemmel doğası, iyi dengelenmiş amino asit bileşimi, yüksek besin değeri, kolay sindirilebilir ve dengeli yağ asidi kompozisyonu ve önemli biyolojik çeşitliliğinden kaynaklanan mükemmel doğası ve beslenme sorununun çözümlenmesinde önemli bir yere sahip olan hayvansal gıda kaynaklarından birisidir (Çelebi ve Karaca 2006; Gautron vd., 2022; Lesnierowski ve Stangierski 2018).

Günlük insan tüketiminde önemli bir yere sahip olan başlıca kanatlı hayvan ürünler arasında et ve yumurta gelmektedir. Yumurta günlük diyetin önemli bir parçası olarak kabul edilmektedir. Günümüzde yumurta uluslararası ticarete önemli bir emtia olmuştur. Dünya çapında yumurta endüstrisi asıl olarak tavuk yumurtası üretimine dayanmaktadır. En yaygın kullanılan gıdalardan birisi konumuna olup, küresel gıda endüstrisinin önemli bir yere sahiptir. Ancak nüfus artışıyla birlikte, bazı ülkelerde ördek, bıldırcın, hindi, kaz, hatta devekuşu gibi diğerkanatlı hayvanların yumurta üretimine büyük önem verilmektedir (Anonim, 2019).

Doğrudan insan tüketimine veya gıda sanayisinin kullanımına sunulan yumurta, *Gallus gallus var. domesticus* cinsi tavuklardan elde edilmektedir (Anonim, 2015). Taze yumurta ekonomik değerinin yanı sıra A, D, E, K ve B grubu vitaminler ile demir ve fosfor gibi mineral maddeler bakımından da zengin olup anne sütünden sonra insanın ihtiyacı olan tüm besin öğelerini yapısında bulunduran en kaliteli proteine sahip tek besindir (Caner, 2021; Onbaşılar ve Tabip, 2019).

Yumurta, biyolojik değeri en yüksek olan gıdalardan olup tüm gıda proteinlerinin kalitesini ölçmede standart olarak kullanılmaktadır. Yumurtalar, insan için gerekli tüm esansiyel amino asitleri, önemli esansiyel doymamış yağ asitleri (linoleik), oleik asit tekli doymamış bir yağ asitlerini içerirler; ayrıca demir, fosfor gibi mineraller açısından ve A, D, E ve K gibi yağda çözünen vitaminler ve suda çözünen B vitaminleri bakımından zengin

olduğundan, tam bir protein kaynağı olarak kabul edilen birkaç gıdadan birisidir. Yumurta güçlü bir D vitamini kaynağıdır, ancak kalsiyum bakımından düşüktür (kabuk hariç) ve C vitamini içermez. Yumurta, vücudun besin ihtiyaçlarını karşılamada önemli ölçüde katkı sunmasından dolayı özellikle çocuklar ve gençler için mükemmel bir besin kaynağıdır. Yumurtaların yüksek sindirilebilirliği ve konsantre besin içeriği, onları hastalıktan korunma ve tedavi için değerli bir besin kaynağı haline getirir. Çoğu hafif diyetler ve ameliyat veya diğer hastalıkların iyileşme dönemlerinde genellikle yumurta kullanılmaktadır. Yumurta, besinleri sindirme zorluk çekebilen yaşlılar açısından diyetlerinde önemlidir. Yumurta, birkaç temel besin sağlamak için kolayca sindirilir ve emilir. Ulaşılabilirlik, fiyatı, kolay tüketilmesi, lezzeti ve düşük kalorili değerinden dolayı geriatrik diyetlerde yumurtalar önemli yer alırlar (Anonim, 2019).

Ovalbümin, ovotransferrin, fosvitin gibi birçok yumurta proteini ve fosfolipitler gibi yumurta lipitlerinin yanı sıra E vitamini, A vitamini, selenyum ve karotenoidler gibi bazı mikro besinlerin antioksidan özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir (Nimalaratne ve Wu, 2015). Esansiyel aminoasitler insanlar tarafından üretilmeyen, dışarıdan gıdalarla alınması zorunlu olan proteinlerdir. Lösin, izolösin, metiyonin ve lisin gibi esansiyel aminoasitler bitkisel kaynaklı gıdalarda sınırlı miktarda bulunurken yumurta da oldukça fazla bulunmaktadır (Çelebi, 2006).

Ülkemizde aylara göre dalgalı bir seyir izleyen yumurta üretimi TÜİK 2022 yılı verilerine göre toplam 19,8 milyar adet tavuk yumurtası üretimi gerçekleşmiştir. Kırmızı et üretimi son yıllarda yüksek maliyet ve ekonomik kriz gibi nedenlerden dolayı Türkiye’de azalmakta olup tüketicilerin hayvansal protein ihtiyaçlarının karşılanmasında önemli yer tutan tavuk eti ve tavuk yumurtasına ürünlerine yönelim artmıştır (Can, 2019). Bu sebeple 20230 Şubat ayında bir önceki yılın aynı ayına göre tavuk yumurtası üretiminin %3,7 arttığı görülmektedir (TÜİK, 2023). Türkiye’de hayvansal protein ihtiyacının karşılanmasında kolay bulunması ve diğer hayvansal proteinli gıdalara kıyasla pahalı olmaması nedeniyle, son 10 yılda kişi başı yumurta tüketimimiz %30,37’lik artışla 214 adete ulaşmıştır (Can, 2019).

Neredeyse tamamen kalsiyum karbonattan oluşan yumurta kabuğu, 17 bin kadar küçük gözeneklere sahiptir (Tokuşoğlu ve Barbosa-Cánovas, 2018). Yumurtaların

depolanması sırasında fiziksel (yumurta akı viskozitesinin azalması ve hava boşluğu oluşması, hava boşluğu büyümesi, su kaybı sebebiyle ağırlığının azalması), kimyasal (karbondioksit kaybı ile pH yükselmesi, protein yapısının bozularak hidrojen sülfür ortaya çıkması ve yumurtanın kokması, amonyak miktarı artması ve kokması, inorganik fosfor miktarının artması), mikrobiyolojik (kabuğu kirli yumurtalardaki mikroorganizmaların zamanla yumurtanın içine girerek bu alanda çoğalmaları) değişiklikler meydana gelir (Okur ve Şamlı, 2016). Albümin incilmesi olarak bilinen azalmış albümin viskozitesi veya sıvılaşıma, kalite bozulmasının en kolay gözlenen fiziksel ölçüsüdür (Begum, 2021).

Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) yumurtaları protein içeriğini temel alarak Haugh Birimlerine göre sınıflandırırken Hindistan'da yumurtalar hava boşluğu ve yumurta boyutuna göre sınıflandırılır. ABD'de Haugh Birimi en az 72 olan A sınıfı (Jumbo yumurta), Haugh birimi 60'tan fazla olan B sınıfı (Ekstra büyük) olarak sınıflandırılır; Haugh birimi 30'dan az olan yumurtalar tüketim için uygun değildir (USDA, 2000). Hindistan'da ise hava boşluğuna göre, 4 mm'ye kadar hava boşluğuna sahip yumurtalar A sınıfı, 8 mm'ye kadar hava boşluğuna sahip yumurtalar B sınıfı; yumurta boyutuna göre ise ekstra büyük, büyük, orta ve küçük olarak sınıflandırılır (Kumari vd., 2020).

Depolama süresince yumurta ağırlığı azalır. Yumurta akı ağırlığının %80'den fazlasını oluşturan su, yumurta kabuğunun yüzeyinde bulunan binlerce gözenekten buharlaşarak uzaklaşması sonucunda yumurta ağırlığında azalmalar meydana gelmektedir (Krawczyk and Sokołowicz, 2015). Burada yumurta kabuğunun hava gözeneklerini tıkayan kütikül kurur ve büzölmeye başlar, bu nedenle kabuk gözenek boyutu artar, bu da gazların ve nemin yumurtalardan daha kolay çıkmasına neden olur ve sonuçta yumurtada ağırlık kaybına neden olur (Kumari, 2020). Yumurta kalite kriterleri ve bozulması depolama sürelerine ve sıcaklıklarına bağlıdır (Gautron vd., 2022). Yumurta oda sıcaklığında doğal olarak saklanabilen bir gıdadır. Satıcılar, kabuk yüzeyinde yumurtanın içine bakteri penetrasyonunu kolaylaştırabilecek yoğuşmayı önlemek için yumurtaları oda sıcaklığında tutulmalıdırlar. Yumurta içi ile atmosfer arasındaki gaz değişimi, bakterilere karşı doğal yumurta savunmasında da önemli bir rol oynayan yumurta akının özelliklerini değiştirecektir. Yumurta akı pH ve viskozitesi bakterilerin hücre hareketliliğine etki ederek doğrudan mikroorganizmalara etki eden koruyucu sistemlerdir. Bu nedenle, bakterilerin

yumurta akında büyüme yeteneği, pH'ın ve ayrıca tavuğun yaşının bir fonksiyonu olan varyasyonlara cevap olarak pozitif veya negatif olarak gelişebilmektedir (Gautron vd., 2022).

Yumurtada depolama ortamının sıcaklığı, yumurtanın buharlaşma ile nem kaybı, albümin pH artışı da dahil olmak üzere bazı özellikleri değişmektedir. Tavuğun yaşı ve yumurta üretim süresi, yumurtanın kabuk yapısını ve dolayısıyla yumurta kabuğunun gözeneklerinden difüzyon hızını etkilemektedir (Akyurek ve Okur, 2009).

Yumurta kalitesi, depolama süresi dışında depolamanın sıcaklığı ve nemi gibi çevresel koşullardan da etkilenmektedir. Yumurtalar, sıcak ortam koşullarında daha hızla bozunur, ancak düşük sıcaklıktaki depolama altında düşük oranda bozulmaktadır. Bu nedenle yumurtanın bozulma hızı mevsimlere göre farklılık gösterebilmektedir (Sing vd., 2014).

Oda sıcaklığında depolanan yumurtalar, buzdolabında (4°C) depolanan yumurtalara kıyasla daha hızlı ağırlık kaybına uğrarlar. Depolama süresinin artmasıyla, kaplanmış ve kaplanmamış yumurtaların pH değerlerinin yükseldiğini gözlenmiştir. Albümininin köpürme kabiliyeti ve köpüğünün stabilitesi, depolama zamanı ve depolama sıcaklığından kaynaklanan pH değerlerindeki artıştan olumsuz etkilenir. Kontrol altında bakılan tüm numuneler, depolama süresinin ilerlemesiyle birlikte toplam bakteri sayısında artış yaşamıştır. Artışın, yüksek sıcaklıkta (30° C) depolanan numuneler için çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Shehata vd., 2023).

Yumurtaların tercihen yumurtlamadan sonraki 24 saat içinde kokusuz, tatsız mineral yağ ile yağlanması, CO<sub>2</sub> kayıplarını azaltarak yumurtaların muhafaza kalitesini önemli ölçüde artırır ve yumurta iç kalitesinin korunmasına yardımcı olur ancak serin depolama ihtiyacının yerini tutmaz. Özellikle tropik bölgelerde ve dünyanın gelişmekte olan birçok ülkesinde kaliteli yumurtaların tutulmasını sağlamak için yumurtalara yağ uygulanması, yumurtaların modifiye atmosfer altında paketlenmesi iç kalitelerini 28 güne kadar uzamasını sağlamaktadır (Giampietro-Ganeco vd., 2012).

Gıda ürünlerine uygulanan yenilebilir kaplamalar, gıda ürünlerinin ağırlık kayıplarının azaltılması, raf ömrünün uzatılması gibi çalışmalar gıda atıklarının ve dolayısıyla gıda üretim maliyetlerinin azaltılmasında büyük etkiye sahiptir (Galus vd., 2020). Yenilebilir kaplamalar, kalite kriterlerinin korumada özellikle oda sıcaklığında depolandığında yumurtaların depolama stabilitelerini etkili bir şekilde uzatmaktadır (Saeed vd., 2017).

Gıdalarda kaplama kullanımı, geleneksel olarak kütle transferini (H<sub>2</sub>O ve O<sub>2</sub>) kontrol ederek gıdaların fonksiyonel özelliklerini iyileştirir ve bozulma hızını geciktirmektedir. Çeşitli yenilebilir kaplamalar (soya proteini, peynir altı suyu proteini izolatu (WPI) ve buğdağ glütini kaplaması, farklı moleküler ağırlığa sahip kitosan, mineral yağ, soya proteini, buğdağ gluteni veya mısır zein) yumurtaların iç kalitesini ve kabuk mukavemetlerini iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır (Caner ve Cansız, 2008).

Yumurtanın iç kalitesinin artırılması ve raf ömrünün uzatılması için yumurtayı Biladeau ve Keener (2019) parafin mumu, mineral yağ, soya proteini izolatu (SPI), peynir altı suyu proteini izolatu ile, Jirangrat ve ark. (2010) mineral yağ ile kaplarken; Caner ve Yüceer (2015) WPI, peynir altı suyu konsantresi (WPC), zein ve şellak ile, Musa vd. (2011) şellak ile, Saeed vd. (2017) kitosan ve şellak ile, Song vd. (2022) kitosan-şellak ile birleştirilmiş çam iğnesi esansiyel yağı ile kaplamışlardır.

### **1.1. Yenilebilir Filmler ve Kaplamalar**

Dünya nüfusundaki sürekli artış, çevre kirliliği ve iklim değişikliği gibi olaylar, insanın gıda ihtiyacını karşılayan çevreye saygılı, yenilikçi ve sürdürülebilir tekniklerin geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir (Abbate vd., 2023).

Bu nedenle, biyolojik olarak parçalanamayan malzemelerin çevre üzerindeki yükünün artmasıyla son 10 yılda, biyolojik bazlı ambalaj malzemeleri yeşil bir alternatif olarak kullanılmış ve biyolojik olarak parçalanabilir ve çevre dostu olmaları, kolay erişilebilirlikleri ve uygun etkinlikleri nedeniyle yenilebilir filmlerin tercih edilmesine neden olmuştur (Chhikara ve Kumar 2021).



Yeni yenilebilir materyal ve yeni prosesler, yenilikçi gıda ambalajlama sistemleri olarak umut verici potansiyeli olan bir konudur (Galus vd., 2020). Yenilebilir film ve kaplamalar geleneksel plastıklere alternatif olması, gıda uygulamaları için kontrollü özelliklere sahip olması, yenilenebilirlikleri, kompostlanabilirlikleri ve biyolojik olarak parçalanabilirlikleri nedeniyle bu konuda birçok araştırma gerçekleştirilmiştir (Mohammed vd., 2023).

Günümüzde araştırmacılar temel olarak, doğal kaynaklardan elde edilen yenilebilir kaplamalar geliştirmeye ve yüksek mekanik mukavemet, hafiflik, yumuşaklık, su geçirmezlik ve şeffaflık gibi olağan sentetik malzemelerin istenen temel özelliklerini uygulamak için film ve kaplamaların özelliklerini geliştirmeye odaklanmıştır (Salehi, 2020). Yenilebilir filmler proteinler, polisakkaritler ve lipidler dahil olmak üzere gıda sınıfı biyopolimerlerden meydana gelmektedir (Kumar vd., 2022).

Gıdalar, tam korumaya sahip olsalar bile zamanla bozulmaktadırlar. Ambalajlama, gıdanın kendisinin orijinal kalitesini iyileştirerek raf ömürlerini artırılmasında katkı sağlar. Plastikler ambalajlama sektöründe en yaygın kullanılan ambalaj materyalidir (Raj, 2020). Plastikler, uzun zincir üretmek için birbirine bağlanan birçok yinelenen birimden oluşan, 5.000 ila 100.000 aralığında yüksek moleküler ağırlığa sahip organik moleküllerdir. Termoplastikler, şu anda ambalajlamada ve bir dizi ambalaj dışı uygulamada kullanılan birincil plastik malzemelerdir. Termoplastiklerin birkaç kez ısıtılarak neredeyse sınırsız şekillere kolayca dönüştürülebilmeleri en önemli özellikleridir (Raj, 2020).

Düşük maliyetleri, mekanik, termal, kimyasal, optik özellikler göstermesi ve üretim için kaynakların mevcudiyeti nedeniyle ambalajlama için en yaygın kullanılan malzeme olan petrol türevi plastiklerin yıllık üretimleri artmaya devam etmektedir (Mohamed vd., 2020; Porta vd., 2020).

Petrokimya bazlı plastikler, iyi bariyer özelliklerine, sertliğe, çekme mukavemetine ve yırtılma mukavemetine sahip oldukları için ambalaj malzemeleri olarak yaygın olarak kullanılmasına rağmen çok düşük su buharı geçirgenliği oranı ve biyolojik olarak parçalanmama gibi birçok dezavantajı vardır (Shah vd., 2021). Termoplastikler, istenilen şekle ekonomik olarak ve hızla dönüştürülebildikleri, özellikle geri dönüşüme uygun

olmaları gıda ambalajlama alanında plastik kullanımını en büyük pay almasını sağlamıştır. Gıda ambalajlarındaki başlıca termoplastikler, poliolefinler (düşük yoğunluklu veya yüksek yoğunluklu polietilen, polipropilen, vb.), polistiren, poliester, naylon, polikarbonat ve vinil polimerlerdir (Raj, 2020). Gıda ambalajlamasında yaygın kullanılan sentetik petrokimyasal polimerler biyolojik olarak parçalanamaz ve çöp depolama sahalarına ihtiyaç duyar (Mohamed vd., 2020). Dünyada yılda beş milyar tondan fazla ambalaj atığı üretilmekte ve bunların da '30'u plastik malzemelerden oluşmaktadır (Milani ve Nemati, 2022). 2010 ve 2020 yılları arasında, kişi başına üretilen plastik ambalaj atığı hacimsel olarak % 23 (+6,5 kg) artarak 2020 yılında yaşayan her bir kişi için ortalama 34,6 kg/kişi olurken bunlardan sadece 13,0 kg/kişi geri dönüştürülmüştür. Bu atıklarının geri dönüştürülebilir hacimleri aynı dönemde %32 (3,2kg) artsada, geri dönüştürülemeyen plastik ambalaj miktarı, kişi başına 3,4 kg artmıştır (Eurostat, 2020).

Son yıllarda gelişen teknoloji ve artan çevre duyarlılığıyla birlikte tüketicilerde “yenilebilir” ve “biyolojik olarak parçalanabilir” ambalaj materyallerine yönelim başlamıştır (Suhag vd., 2020).

Geleneksel gıda paketlenme malzemelerinin çevresel etkileri, kirliliği, üretim gereklilikleri ve israf gibi eksikliklerden dolayı alternatif ambalaj malzemelerine ihtiyaç giderek artmaktadır. Sürdürülebilirlik, etik, gıda güvenliği, gıda kalitesi ve ürün maliyetleri ile ilgili konuların tümü, günümüz tüketiciler için gıda ürünleri satın alırken giderek daha önemli faktörler haline gelmektedir (Anonim, 2023). Bu nedenlerle son yıllarda tüketicilerin güvenli, kullanışlı ve sağlıklı gıdalara olan talebinin artması ve biyolojik olarak parçalanamayan ambalajların olumsuz çevresel etkilerinin farkındalığının gelişmesiyle yenilebilir kaplamalara olan ilgi artmaktadır (Dehghani vd., 2018).

Yenilebilir filmler ve kaplamalar, gıdaların raf ömürlerini uzatmak için gıda ürünleri üzerine uygulanan, ürünü mekanik hasarlardan, fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik faaliyetlerden koruyan kaplamalardır. Ayrıca ürünlerin korunmasında, dağıtım ve tüketicilerin sağlığını olumsuz etkileyebilecek diğer kimyasal veya sentetik maddelerin kullanımını minimuma indirmek için bir plan olarak kullanılan ince yenilebilir malzeme katmanlardır. Yenilebilir filmler ve kaplamalar, yenilebilir biyopolimerler ve gıdaya uygun

hammaddelerden elde edilmekte ve üretilmektedir (Blancas-Benitez vd., 2022; Falguera vd., 2011).

Gıda uygulamalarında ve özellikle meyve sebze gibi çabuk bozulan ürünlerde kullanımları, maliyet, mevcudiyet, fonksiyonel özellikler, mekanik özellikler (esneklik, gerilim), optik özellikler (parlaklık ve opaklık), bariyer etkisi (gaz geçirgenlikleri-O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>), antimikrobiyal özellikler ve duyuşal kabul edilebilirlik gibi bazı belirli özelliklere dayanmaktadır (Falguera vd., 2011). Yenilebilir kaplamalara eklenen uçucu yağlar, GRAS bileşikleri ve hatta mikrobiyal antagonistler gibi antimikrobiyal bileşikler meyvelerin raf ömrünü artırmaya ve patojen mikroorganizmaların yüzeylerde görülme riskini minimuma indirmekte katkı sağlamaktadır (Blancas-Benitez vd., 2022).

Yenilebilir filmler basit üretim teknolojisi gerektirmeleri, pahalı olmamaları, sentetik olmayan bileşiklerden elde edilmeleri, fonksiyonel özelliklerindeki çeşitlilik ve biyolojik olarak bozulabilmeleri nedeniyle son yılların dikkat çeken ambalaj materyalleridir (Yüceer, 2013).

Avrupa Biyoplastik organizasyonuna göre, bir plastik malzeme biyobazlıysa, biyolojik olarak parçalanabilirse veya her iki özelliği de içeriyorsa, biyoplastik olarak tanımlanır. Peelman vd. (2013) a göre, ambalaj endüstrisinde biyoplastiklerin kullanımına ilişkin dikkat giderek kompostlanabilir/biyolojik olarak bozunabilir malzemelerden biyobazlı malzemelere doğru kaymaktadır. Biyo-plastikler patates, patates kabukları, mısır, şeker kamışı, buğday, pirinç, muz kabukları vb. biyolojik kaynaklardan üretilmektedir (Shah vd., 2021).

Kısaca kaplamalar veya filmler, ince bir katman halinde olan biyopolimer yapıya sahip materyal olarak tanımlanabilir. Ayrıca, gıda standartlarına uygun ve insanlar tarafından tüketilmesi güvenli olan ürünleride ifade eder. Gıdaların paketlenmesi ve korunmalarında sentetik materyallerin yerlerine yenilebilir kaplamalar ve filmlerin kullanılmasının avantajı son yıllarda önemi artmaktadır. Yenilebilir kaplamalar ve filmler için küresel pazar, gıda muhafazasına daha fazla artan ilgi nedeniyle ve petrol ve benzeri kimyasal maddelerden elde edilen ambalaj materyallerinin kullanımının azaltılması için yeşil yaklaşımlı artan kullanım sürekli büyümektedir (Yousuf vd., 2021).

Yenilebilir kaplamaların ve filmlerin kullanımları son yıllarda önem kazansada özellikle meyve ve sebzeleri korunmasında mumla uygulanmaları bakımından çok eski yıllara kadar uzanmaktadır. Sebzelerin ve taze narenciyelerin depolama sırasında nem kaybını önlemek, kütle transferini (özellikler O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>) kısıtlayarak dayanıklılıklarını ve modifiye bir atmosfer oluşturarak ürün kalitelerini korumak için, farklı mumların ince bir katman şeklinde kullanıldığı yüzyıllar öncesinden bilinmektedir. Lipit kökenli maddeler de gıda ürünlerine çekici bir parlaklık sağlayabilir (Yousuf vd., 2021). Yenilebilir kaplamalar, antimikrobiyal ajanlar, renklendiriciler ve aktif bileşenleri ilave edilmesinde yüksek potansiyele sahiptir (Ju vd., 2019).

Yenilebilir filmler ve kaplamalar, gıdalar üzerinde koruyucu bir kaplama olarak oluşturulan veya ince tabaka/film olarak ayrı ayrı oluşturulan ve daha sonra gıda yüzeyine sarılan ince bir tabakadır (Galus vd., 2020; Jeevahan vd., 2020; Hassan vd., 2018). Yenilebilir filmler ve kaplamalar gıdaların kalitelerini arttırmanın yanında, onları mekanik dayanımların da iyileştirmede önemli katkı sağlamaktadır (Hauzoukim vd., 2020; Falguera vd., 2011). Kaplama malzemeleri; genellikle kaplanabilme özelliğine, suda çözünürlüklerine, hidrofilik, hidrofobik ve duyusal özelliklerine göre seçilmektedir (Yüksel vd., 2020). Görünümün iyileştirilmesi ve gıdalarda gaz bariyer özelliklerinin geliştirilmesinde ek avantajlar sağlamaktadır. Belirli seviyede su, oksijen ve karbondioksit geçirgenliğine sahip olduklarından kullanıldıkları gıdanın kütle transferini ve gaz alışverişini azaltarak gıdaları mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmalara karşı korumaktadırlar (Oğuzhan ve Yanglar, 2016). Kaplama malzemeleri suyun yanı sıra kaplama içerisinde aroma bileşikleri, antioksidanları, antimikrobiyal maddeleri, pigmentleri, esmerleşme reaksiyonlarını durduran iyonları ve vitaminleri tutarak istenmeyen renk oluşumunu, lipit oksidasyonunu ve aroma kaybını engellemektedirler (Tural vd., 2017).

Yenilebilir film ve kaplama arasındaki temel fark; yenilebilir kaplama genellikle, karbonhidrat, protein, lipit veya çok bileşenli karışımın oluşturduğu çözelti üreten bir maddeye batırılarak çözeltinin gıda üzerine sıvı halde uygulanmasıdır. Yenilebilir filmler ise önce katı levhalar olarak kalıplanır ve daha sonra gıda ürününe bir ambalaj filmi olarak uygulanır (Falguera vd., 2011). Filmler ve kaplamalar birbirinin yerine kullanılsa da genel olarak filmler önceden biçimlendirilmiş ve bağımsızdır, oysa kaplamalar doğrudan gıda

ürünü üzerinde oluşturulur (Ustunol, 2009). Filmlerin üretim yöntemi, kullanılan kaplama materyali tipi, kullanılan plastikleştirici madde türü ve konsantrasyonu, film hazırlama aşamasında uygulanan kurutma işlemi ve çevresel faktörler (sıcaklık, bağıl nem, basınç) yenilebilir film veya kaplamaların fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen önemli faktörlerdir (Bozkurt vd., 2023).

Yenilebilir kaplama ve filmlerin kullanılmalarındaki temel avantajlarından birisi de, film yada kaplama matrisine farklı aktif bileşiklerin ilave edilebilmesi; böylelikle, yalnızca gıdanın raf ömrünü arttırmasına ilave olarak, gıdanın organoleptik ve beslenme özelliklerinin de iyileştirilmesini sağlar (Blancas-Benitez vd., 2022). Yenilebilir film ve kaplama kullanımlarının diğer bir avantajıda, ambalaj atıklarını azalması, taze ve minimum işlenmiş gıda ürünlerinin raf ömürlerini arttırmaktır (Sharma vd., 2019). Birçok avantaja rağmen, yenilebilir filmler zayıf mekaniksek performans, güvenlik ve sağlık sorunları, yüksek maliyet, prosesteki zorlukları gibi sorunlardan dolayı hala laboratuvar ölçeğinde üretilmektedir (Jeevahan vd., 2020).

Küresel yenilebilir filmler ve kaplama pazarının, 2023-2028 dönemi için %7'64'lük bileşik yıllık büyüme hızına ulaşması beklenirken bu ürünlerin en büyük pazarı Asya Pasifik'tir (Anonim, 2023). Son yıllarda artan ilgiyle birlikte yenilebilir kaplamalar, gıdaların kalitesini korumada ve raf ömrünü arttırmada umut verici bir teknoloji olmaya devam etmektedir.

### **1.1.1. Yenilebilir Filmler ve Kaplamaların Sınıflandırılması**

Yenilebilir filmler ve kaplamalar, en yaygın temel bileşenlerine göre sınıflandırılır; lipitler (%35)> polisakkaritler (%33)> proteinler (%25)> kombinasyonları (%7) (da Silva Pires vd., 2019).

Biyo-bazlı polimerler tarımsal kaynaklı ya da sentetik biyo-bazlı polimerler olabilir (Jamróz vd., 2019).

1. Doğal biyo-bazlı polimerler:

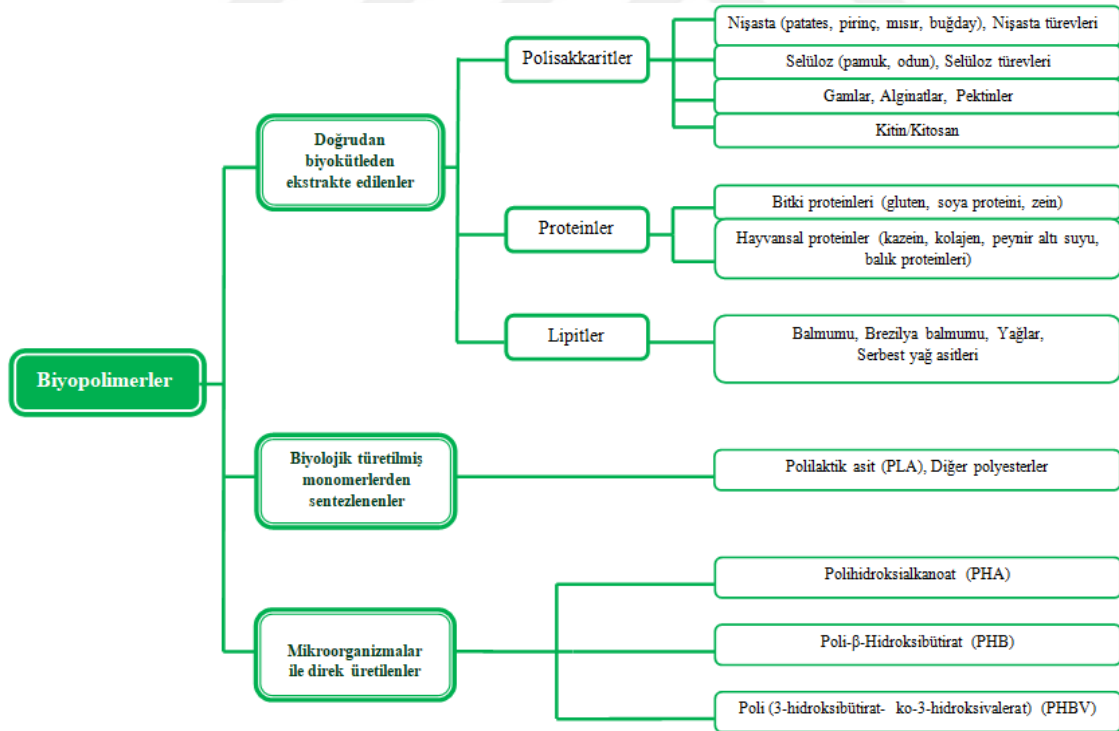
■ Polisakkaritler:

- nötr: örneğin selüloz, hemiselüloz, nişasta

- katyonik: örneğin kitin, kitosan
  - anyonik: örneğin aljinik asit, hyaluronik asit
  - bakteriyel orijinli: örneğin pullulan, karagenan.
- Proteinler: örneğin jelatin ve peynir altı suyu proteini.
2. Diğer biyo-esaslı polimerler: örneğin lipid, lignin, doğal kauçuk, urushiol, DNA, vs. doğrudan mikroorganizmalardan üretilen polimerler, bakteriyel selüloz; polihidroksialkanoatlar, poli-ε-kaprolaktonlar.
3. Sentetik biyo-bazlı polimerler:
- Monomerleri yenilenebilir kaynaklardan (örn. poli (laktik asit)-PLA) türetilen doğal bazlı veya biyo bazlı sentetik polimerler.
- Polietilen (PE), polietilen tereftalat (PET) ve poliamid (PA), vb. gibi kısmen biyo-bazlı polimerler.

Tablo 1

Biyopolimer tiplerinin şematik sınıflandırılması (Lisitsyn vd., 2021).



Biyopolimerler, akıllı algılama, daha iyi beslenme özellikleri, biyolojik olarak yanıt verme yetenekleri ve çeşitli biyolojik olarak parçalanma olasılıkları gibi niteliklere sahip yeni ve benzersiz gıda maddeleri için araştırılmaktadır (Baranwal vd., 2022).

Doğrusal veya dallı/çapraz bağlı zincir benzeri yapıları moleküllerden oluşan "Biyopolimer" terimindeki "bio" ön eki, bu polimerlerin doğal olarak canlı maddelerden üretildiğini belirtir (George vd., 2020). Temel olarak, biyolojik olarak parçalanabilen polimerler, belirli bir süre içinde, çevreye karşı güvenli olan CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O gibi organik yan ürünleri bırakarak doğal olarak oluşan organizmaların etkisiyle parçalanma kabiliyetine sahiptir (Othman, 2014; Tang vd., 2012).

Biyopolimerler, doğrusal veya dallanmış yapısal moleküller gibi monomerik birimlerden oluşan canlı maddeden üretilmektedir (Udayakumar vd., 2021). Çok sayıda tekrar eden birimden oluşan büyük makromoleküller biyopolimer olarak bilinmekte ve Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği tanımına göre, bir makromolekül tek bir molekülü tanımlanmaktadır (Baranwal vd., 2022). Çoğu biyopolimerin monomer birimleri genel olarak nükleotitlerin nükleik asitleri ile amino asit proteinlerinin veya şekerlerden türetilen sakkaritlerin tekrarlayan moleküllerinden meydana gelmektedir (George vd., 2020). Nükleik asitlerin, sakkaritlerin veya amino asitlerin tekrarlanan birimlerine ek olarak, moleküler omurgaları, moleküllerin işlevlerine katkıda bulunan çeşitli kimyasal yan zincirler içerebilir. En yaygın makromoleküller, nükleik asitler, proteinler, karbonhidratlar, lipitler ve en sık görülen makromoleküller olan lipit ve makrosikluslar gibi dev polimerik olmayan molekülleri içeren biyopolimerlerdir (Baranwal vd., 2022).

Biyopolimer bazlı malzemeler, yenilenebilir, biyolojik olarak parçalanabilir, çevre ile uyumlu ve toksik olmayan doğaları, mükemmel ısı direnci ve gaz bariyeri özellikleri gibi olumlu yönleri nedeniyle gıda paketlenme endüstrisinde büyük ölçüde fırsat sunarken yüksek maliyet, yüksek geçirgenlik ve düşük mekanik performans gibi özellikleri nedeniyle gıdaların ambalajlanmasında kullanımını kısıtlanmaktadır (Khalid ve Arif, 2022).

Proteinler, lipitler ve polisakkaritler, yenilebilir kaplamaların ve filmlerin üretiminde kullanılan ana materyallerdir. Hidrokolloidler (proteinler ve polisakkaritler) biyolojik olarak parçalanabilen (biyobozunur) biyopolimer maddeler, gıda ambalajlamada umut vaat etmekte ve sentetik plastiklere uygun alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

Temel olarak film/kaplama oluşturan ana materyaller:

- 1) Polisakkarit kökenli,
- 2) Protein kökenli ve
- 3) Lipit ve reçine kökenli maddeler olarak 3 ana gruba ayrılabilir.

Kullanılan filmlerin bazı avantajları ve dezavantajları olabilir. Örneğin polisakkarit kaplamalar ve filmler, ucuz ve bol bulunur doğal maddeler olmaları gibi birçok avantaja sahipken lipit filmler düşük mekanik dayanıma sahiptir. Gıda ürünlerinde kullanım alanı bulan ideal kaplamalar ve filmlerin iyi mukavemete sahip, elastiki ve istenen nem-gaz bariyer özeliğini sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle, birbirlerinin eksikliklerini gidermek için bazı hidrofilik matrislere hidrofobik bileşenler eklenerek çok bileşenli kaplamaların ve filmlerin üretilmesi yaygınlaşmaktadır. Bu bileşenlerin (proteinler, polisakkaritler, lipitler) birleştirilmesiyle elde edilen kaplamalar ve filmlere kompozit kaplamalar veya filmler denilmektedir.

Yenilebilir kaplamaların ve filmlerin mekanik ve bariyer özellikleri büyük ölçüde film bileşenlerinin polaritesi ile ilişkilidir. Uygulamada kullanılan film/kaplamaların seçimi ise gıdaların niteliği, filmlerin ve kaplamaların özellikleri ve istenen fonksiyonel özelliklere bağlıdır (Caner, 2021; Díaz-Montes ve Castro-Muñoz, 2021).

### **Protein Bazlı Filmler ve Kaplamalar**

Protein temeli filmler yoğun ilgi gören biyopolimerler arasında yer almaktadır. Proteinlerin yapısı denatürasyon, basınç, mekanik işlemler, asidik veya alkali işlemler, hidroliz veya enzimatik işlemler, tuzların eklenmesi veya kimyasal çapraz bağlama ile değiştirilebilir. Bu tür uygulamalar protein filmlerin fiziksel veya fonksiyonel özelliklerini kontrol etmede rol almaktadır (Hammann ve Schmid, 2014).

Bitkisel ve hayvansal kökenli olmak üzere birçok önemli protein kaynağı bulunmaktadır. Başlıca tahıl ürünleri (mısır, buğday, pirinç, arpa ve yulaf), baklagiller (soya, mercimek, fasulye, bezelye ve acı bakla), yağlı tohumlar (ayçiçeği, pamuk, yer fıstığı, susam, keten, kenevir ve kanola), sert kabuklu yemişler (yer fıstığı, ceviz, badem, antep fıstığı ve kaju), yalancı tahıllar (chia tohumu, amarant ve kinoa), yonca, su mercimeği, pancar, algler ve diğer bitkiler (patates ve mantar) bitkisel protein kaynaklarıdır. Bitki bazlı



proteinler, hayvan bazlı muadillerine kıyasla sürdürülebilir kökenleri, ekonomik maliyetleri ve sağlık yararları nedeniyle son zamanlarda özel ilgi çekmiştir. Bununla birlikte, çoğu protein bazlı film ve kapalmalar düşük işlevselliklerinden dolayı sınırlı uygulamalara sahiptir (Nasrabadi vd., 2021). Bitkisel protein kaynakları, mükemmel film şekillendirilebilirlikleri, yüksek mekanik özellikleri, yapışkan nitelikleri, ucuz yenilebilirlikleri ve hızlı biyobozunurlukları nedeniyle çeşitli doğal türevli biyopolimerler arasında yoğun ilgi görmektedir (Hadidi vd., 2022). Hayvansal kaynaklı proteinlerde peynir altı suyu, kollajen, keratin, kazein, surimi, yumurta akı ve jelatin vardır (Mihalca vd., 2021).

Proteinler, fonksiyonel özelliklerinin geniş olması, iyi film oluşturma özelliği ve yüksek besin değeri gibi bazı avantajlara sahip olduğundan filmlerin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Wittaya, 2012). Ancak gıda ambalajlamada kullanılan protein bazlı yenilebilir filmlerin dezavantajları da düşük mekaniksel dayanımları, zayıf termal ve düşük fizikokimyasal özellikleridir (Zubair ve Ullah, 2020).

Proteinlerin zayıf mekanik özellikleri ve neme karşı yüksek hassasiyete sahip olması bu tür filmlerin ticarileştirilmesindeki asıl problemlerdir. Protein ve polisakkarit matriksinde bariyer özelliklerinin artırılması için, sıkı kristal bir yapıya sahip ve hidrofobik özellikleri olan balmumu gibi lipitler eklenerek nem bariyer özellikleri geliştirilmektedir (Jamroz vd., 2019). Polisakkaritler ve lipitlerle karşılaştırıldığında ise, protein bazlı polimerler, mükemmel gaz bariyeri özellikleri nedeniyle en kullanışlı olanlardır (Chen vd., 2019).

Proteinlerin fiziksel, kimyasal ve enzimatik muamelesi veya hidrofobik malzemelerle veya diğer polimerlerle kompozit oluşturması, protein bazlı filmlerin fiziksel ve bariyer özelliklerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır (Zubair ve Ullah, 2020).

### **Polisakkarit Bazlı Filmler ve Kaplamalar**

Polisakkaritler, erişilebilirlikleri sayesinde filmler ya da kaplamalar arasında en yaygın olarak kullanılan biyopolimerlerdir. Polisakkaritlerin doğal kaynakları hayvanlar (örn. kitin, kitosan ve hyaluronik asit), bitkiler (örn. selüloz, nişasta ve pektin), algler (örn. pullans) ve bakteriler (örn., dekstran, ksantan ve gellan)dir. Scopus veri tabanına göre, biyolojik olarak parçalanabilen filmlerde ilgili yayınların %50'den fazlası bitki

polisakkaritlerine dayanmakta olup kitosan ve selüloz en yaygın kullanılan polisakkarit polimerlerdir. Bunun en önemli nedenleri; doğada bol bulunması, ucuz olması ve alkalın hidroliz gibi basit yöntemlerle elde edilebilmesidir. Kitosan, biyolojik olarak parçalanabilen filmlerin üretimi için en çok kullanılan hayvansal polisakkarittir. Buna karşılık, alg polisakkaritleri, biyolojik olarak parçalanabilen filmlerin üretimi için bildirilen doğal polimerlerin yaklaşık %11'ini temsil etmektedir. Burada da aljinat öne çıkmaktadır. Geri kalan çalışmaların %10'dan az bölümü, mantar ve bakterilere dayalı biyolojik olarak parçalanabilen filmleri oluşturmaktadır (Bourtoom, 2008; Cazón vd., 2017; Díaz-Montes, 2022; Hassan vd., 2018; Jamróz vd., 2019).

Polisakkarit bazlı biyobozunur filmlerin O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> gibi gaz transferine karşı etkili bir bariyer olmasına rağmen bu malzemeler, genellikle yüksek hidrofilik özelliklerinden dolayı zayıf su buharı bariyeri özelliği göstermektedir (Díaz-Montes, 2022). O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> gibi gaz transferine karşı etkili bariyer özelliklerine sahip olmaları nedeniyle gıdaların raf ömrünü arttırmak için özellikle meyve ve sebzeleri kaplamada kullanılmaktadırlar (Sharaf Eddin ve Tahergorabi, 2019).

Polisakkarit bazlı biyobozunur filmler günümüzde üzerlerinde yoğun şekilde çalışılmaktadır. Polisakkarit bazlı filmler için bildirilen bariyer ve mekanik özellikler, gıda endüstrisinde ambalaj olarak kullanılan yaygın sentetik plastiklere sahip özelliklerden uzaktır. Bu tip ambalajların pazara sunulması hala geliştirilme aşamasındadır ve sentetik ambalaj pazarı ile tam rekabet edememektedirler (Cazón vd., 2017).

### **Lipit-Reçine Kökenli Filmler ve Kaplamalar**

Lipitler genellikle yağlar, mumlar, steroller, yağda çözünen vitaminler vb. gibi küçük, hidrofobik ve doğal moleküller olarak tanımlanmaktadır. Hidrofobik özelliklerinden dolayı kütle aktarım direncine sahiptirler ve genellikle su buharı geçişine karşı bariyer olarak kullanılır. Lipitler potansiyel bir kaplama veya film oluşturucu malzemelerdir. Doğal ve sentetik mumlar (kandelilla, karnauba, balmumu, jojoba ve parafin), doğal reçineler (sakız, guarana ve olibanum), ve gliseridler gibi lipit bileşikler film/kaplama materyali olarak kullanılırlar. Lipit temelli yenilebilir film/kaplamaların en önemli özelliklerinden birisi düşük polaritelerinden dolayı nem transferini engellemesi ve gıda ürünlerinin görünüşünü

geliştirerek parlaklığı da sağlamalarıdır. Ancak lipit filmlerin sert, opak, mumsu tatta olmaları ve hidrofilik yüzeylere fazla yapışmamalarından dolayı gıdalarda kullanılmaları azalmaktadır (Milani ve Nemati, 2022).

Yalnızca bir lipitten oluşan yenilebilir kaplamalar ve filmler, protein veya polisakkarit kaplamalar ve filmlerin aksine yapısal bütünlükten yoksundur. Protein veya polisakkarit (hidrofilik) kaplamalara ve filmlere lipitlerin (hidrofobik) eklenmesi film mukavemetini olumsuz yönde etkileyebilse de kaplamaların ve filmlerin geçirgenliğini önemli ölçüde azalttığından dolayı hidrokolloid ve lipitlerden üretilen kompozit kaplamalar daha avantajlı olabilmektedir. Kaplama veya film formülasyonundaki lipit kısım nem transferine engel olurken, hidrokolloid kısım gerekli destekleyici matrisi sağlamanın yanı sıra gazlara (oksijen ve karbon dioksit gibi) karşı ayırt edici bir bariyer sağlamaktadır. Daha iyi bariyer özelliklerine sahip olan kaplamalar ya da filmler üretilmesinde hidrokolloid matrislere katılan malzemeler arasında özellikle mumlar, yağ asitleri ve bitkisel yağlar bulunmaktadır. Ayrıca bir lipit bileşeni olan şellak, yüksek bir nem bariyerine sahiptir ve oksijen geçirgenliğini kısıtlayarak anaerobik metabolizmaya neden olabilmektedir (Kumari vd., 2022).

Mükemmel özelliklere sahip olan farklı lipit bileşikleri ile birleştirilmiş hidrokolloid bazlı kaplamalar ve filmler, gıdaların kalitesini ve raf ömrünü artırmada etkilidirler. Hidrokolloid ve lipit bileşiklerinden üretilen çok bileşenli kaplamalar yada filmler, iki katmanlı veya emülsiyon tekniği ile elde edilmektedir. Böylece lipitler, hidrokolloid yapı üzerinde bir tabaka oluşturabilirler (iki tabakalı film) veya matris boyunca yayılabilirler (emülsifiye film). İki katmanlı filmlerde, lipitler hidrokolloid (polisakkarit veya protein) katmanın üzerindeki ikinci bir katmanı oluşturur. Emülsiyon bazlı sistemde ise lipitler biyopolimer yapıya yayılmaktadır. Emülsifiye edilmiş yapılar, heterojen kurulumları nedeniyle iki katmanlı filmlerden daha az geçirgendir (Yousuf vd., 2021).

Lipit materyaller, filmde esneklik, hidrofobiklik ve uyum sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Lipit yenilebilir kaplamalar, neme ve bir dereceye kadar oksijene karşı mükemmel bariyerler görevi görerek uzun süreli gıdaların kalitelerini korumaktadır. Lipit bazlı yenilebilir filmler, şekerleme ürünlerinin, meyve ve sebzelerin, süt ürünlerinin, çikolataların, tahılların, kümes hayvanı etinin, balıkların, dondurulmuş ürünlerin ve

kurutulmuş ürünlerin yüzeyini kaplamak için kullanılabilir. Son yıllarda, filmler ve yağ bazlı yenilebilir kaplamalar, fonksiyonel ve beslenme özelliklerinden dolayı da dikkat çekmektedirler. Son yıllarda nanoteknoloji, lipit bazlı filmlerin özelliklerini ve uygulamalarını geliştiren nanokaplama olarak yeni bir yöntemi temsil etmektedir (Milani ve Nemati, 2022).

Yaygın olarak kullanılan lipit temelli materyallerden bazıları balmumu, karnauba mumu, parafin mumu, mineral ve bitkisel yağlar, şellak odun reçinesi ve kumaron-indene reçinesidir (Poonia ve Mishra, 2021).

Düşük polariteye sahip lipit bazlı nanokompozitler, hidrofobik özelliği sayesinde gıdaları fizyolojik bozulmadan, ürpertici yaralanmalardan korur, gıdaya parlaklık kazandırarak görünümünü iyileştirir. Ancak yeterli mekanik ve optik özelliklerden yoksundur, kalın kaplamalar oluşturur ve zamanla kırılabilir çatlaklar oluşturmaktadır. Ayrıca homojenlikten yoksundur, hidrofilik gıda yüzeylerine zayıf yapışır, duyu değişikliklere neden olabilir ve anaerobik koşullara yol açan gazları engelleyebilmektedir (Poonia ve Mishra, 2021).

Balmumları, kaplamaların özellikle çekme mukavemetini artırılmasına katkıda bulunan yüksek bir erime noktasına ve yüksek özgül ağırlığa sahiptir. Karnauba mumları, lipit bazlı yenilebilir kaplamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Rafine karnauba mumları, doymuş uzun zincirli alkollere sahip 24-32 hidrokarbon doymuş balmumu esteridir ve özellikle insan tüketimi açısından güvenli kabul edilmektedir (Sharaf Eddin ve Tahergorabi, 2019).

Balmumları uzun zincirli alifatik asit ve uzun zincirli alifatik alkol içeren polar olmayan lipitlerdir ve suda çözünmez ve hekzan, kloroform ve benzen içinde çözünürler. Hidrofobiklikleri yüksektir (Milani ve Nemati, 2022).

Parafin balmumu, fraksiyon damıtma yöntemiyle ham petrolden elde edilir. Parafin balmumu bazlı filmler ve kaplama genellikle peynir, taze meyve ve sebze için kullanılır. Carnauba balmumu, *Copaernica Cerifera*'dan (palmiye ağacı yaprakları) elde

edilmektedir. Balmumu bal arılarından elde edilmektedir. Kandelilla balmumu, kandelilla bitkisinden ekstrakte edilmiştir (Hassan vd., 2018).

Gliseritler, gliserol ve yağ asitlerinin esterleşmesiyle oluşan bileşiklerdir. Gliserol, yağ asitleri ile esterleştirilebilen üç hidroksil fonksiyonel grubu içeren ve monoasilgliseroller, diasilgliseroller veya triasilgliseroller gibi bileşiklerle sonuçlanan bir polyol bileşimidir. Gliserol monostearat, kanatlı eti ve kırmızı ette ağırlık kaybını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Aktif yüzey malzemelerine sahip asetilat monogliseritler, meyve ve sebzelerin uzun süreli depolanması için kullanılmaktadır (Milani ve Nematı, 2022).

Son yıllarda, gıda endüstrisindeki birçok araştırmacı, nanoyapılı lipit taşıyıcılar (NLC'ler) aracılığıyla aktif maddeleri, çoğunlukla lipofilik olanları kapsüllemek için çalışmaktadır. Yapılan çoğu çalışmadaki temel amaç, bir veya daha fazla faydalı özellik (antioksidan, antimikrobiyal, nutrasötik, renklendirici vb.) sergileyen doğal kaynaklardan elde edilen maddeleri kapsüllemektir. Benzer şekilde, doğada bulunan ve aktif maddeleri kapsüllemek için işlev görebilen ve aynı zamanda gıda ürünlerine veya doğrudan tüketici sağlığına bir miktar fayda sağlayabilen katı ve sıvı lipitleri kullanma eğilimi artmaktadır. NLC üretiminde kullanılan doğal kaynaklardan elde edilen lipitler kakao yağı, balmumu, karnauba mumu, oleik asit ve soya fasulyesi, üzüm çekirdeği, ayçiçeği ve mısır yağıdır. Kapsüllenen doğal hidrofilik maddelerden bazıları vitaminler, meyve yağları, kurkumin, yeşil çay ekstresi ve  $\beta$ -karoten ve likopen gibi karotenoidlerdir (Zambrano-Zaragoza vd., 2018).

Kompozit kaplamalar, hidrokolloid bileşenlerin (ya proteinler ya da polisakkaritler) ve lipitlerin bir kombinasyonudur. Kompozit kaplamalar, hidrokolloid ve lipit bileşenlerinin avantajlarını bir araya getirirken her birinin sınırlamalarını maskeleyerek veya azaltmak için formüle edilmiştir. Proteinler veya polisakkaritler neme karşı zayıf bariyer özelliği sahipken, bir lipit bileşeni olan şellak ise yüksek bir nem bariyer özelliği sağlar. Şellak, oksijen geçirgenliğini kısıtlayarak anaerobik metabolizmaya neden olabilir. Bu nedenle genellikle kompozit kaplamalar kullanılmaktadır (Kumar vd., 2022).

Koruyucu kaplama olarak kullanılan lipit bileşikleri, asetillenmiş monogliseritler, mineral veya bitkisel yağ, balmumu, parafin balmumu, karnauba mumu ve yüzey aktif maddelerden oluşmaktadır (Benitez vd., 2022; Bourtoom, 2008).

Hidrofobik özelliklerinden dolayı polisakkaritlere ve protein bazlı filmlere kıyasla mükemmel bir su bariyeri özelliğine sahiptirler (Kumari, 2020). Lipitler, polisakkaritlerin ve proteinlerin aksine biyopolimer değildir ve yapışkan, bağımsız filmler oluşturma yeteneğine sahip değildir (Dehghani vd., 2018). Lipitten yapılan film veya kaplamalar yapışkanlık ve yapısal bütünlük eksikliği nedeniyle ekstra kırılabilir ve daha kalındır (Benitez vd., 2022; Hassan vd., 2018).

### **Kompozitler**

Kompozit filmler, daha iyi fonksiyonel özellikler elde etmek için farklı hidrofobik ve hidrofilik bileşiklerin harmanlandığı çok bileşenli sistemlerdir. Farklı özelliklere sahip olan film oluşturan materyallerin optimum özelliklerinden faydalanmak için kompozit (iki katmanlı kaplamalar) veya filmler üretilmektedir. Tek bir hammaddeden üretilen filmler ya iyi bir bariyer özelliği ya da iyi bir mekanik direnç gösterirken her iki özelliği de aynı anda yapılarında bulunduramazlar. Bu yaklaşım, kompozit filmde kullanılan her film sınıfının farklı fonksiyonel özelliklerini kullanabilmeyi sağlamaktadır (Yüksel vd., 2020). Lipitlerin iyi su bariyeri ve hidrokolloidlerin de iyi gaz özelliği nedeniyle hidrokolloid ve lipitlerin karışımı kaplamaların kullanılması gıda ürünlerinin bariyer özelliğini artırmaktadır. Kullanılan ürünlerin konsantrasyonlarına, kullanılan materyallerin fiziksel, mekanik ve bariyer özelliklerine göre lipit-hidrokolloid kaplamaların fizikokimyasal özellikleri değişmektedir.

Günümüzde mum, zein, kollajen gibi yenilebilir kaplama/filmler, başta meyve ve sebzelerin olmak üzere gıdalarda nem kayıplarının engellenmesi, solunumun yavaşlatılması ve görünüşlerin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca jelatin eczacılıkta kapsül görünüşlerini iyileştirmek, yapısal bütünlük ve stabilitelerini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Yenilebilir film/kaplamalar gıdalarda gaz alışverişinin azaltılması dışında antioksidan ve antimikrobialer gibi katkı maddelerini taşıyıcı yüzey olarak görev almaktadırlar. Antimikrobial ve antioksidan sistemleri yapılarında taşıyarak gıdalarda oksijen, etilenin ve CO<sub>2</sub> tutulması veya salınması, nemin düzenlenmesi, aromaların tutulması gibi avantajlar sağlayarak aktif ambalaj özelliği de kazandırabilmektedir (Caner, 2021; Kumar vd., 2022).

Kompozit filmler ve kaplamalar, hidrokolloid bileşenlerden ve lipitlerden oluşmaktadır (Valencia-Chamorro vd., 2011) ve çok katmanlı yenilebilir filmlerden daha güçlü ve etkilidir. Çok katmanlı kompozit filmler genellikle iki veya daha fazla yenilebilir polimer katmanından oluşmaktadır. Çalışmalar, çok katmanlı yenilebilir filmlerin üretiminin, iki döküm işlemi ve iki kurutma işlemi gerektiğinden, uzun üretim süresi, yüksek enerji tüketimi ve yüksek maliyet gerektirdiğini göstermektedir. Çok katmanlı filmler de zamanla delaminasyon eğilimindedir, bu da iğne delikleri, çatlaklar, yüzey homojenliği ve azalmış uyum gibi sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunlar, iyi su buharı geçiş hızı (WVTR) sağlamasına rağmen çok katmanlı yenilebilir filmleri daha az popüler hale getirmektedir. Öte yandan, emülsiyon kompozit filmleri, bir hidrokolloid matris içerisinde dağılmış olan bir lipitten oluşmaktadır. Böylece hidrofilik matrisin yapısal bütünlüğü ve lipitin hidrofobik davranışı, elde edilen kompozit filmin fonksiyonel özelliklerini daha iyi hale getirmektedir (Jeevahan vd., 2020).

### **Film Katkıları**

Yenilebilir film ve kaplamalara emülgatörler, antioksidanlar, antimikrobialer, nutrasötikler, doku geliştirici, plastikleştiriciler, aroma ve renklendiriciler gibi katkı maddeleri eklenerek fonksiyonel, besinsel, duyuşsal ve mekaniksel özellikleri geliştirilebilmektedir.

*Plastikleştiriciler*; polimerlerin sertliğini ve camsı geçiş sıcaklığını azaltmak için hidroksil grupları bakımından zengin ve yaygın olarak kullanılan gliserol veya polietilen glikol gibi polioller; fosfolipitler ve yağ asitleri gibi lipit ve türevleri plastikleştirici olarak kullanılarak filmin esnekliği artırarak yapıların sertlik ve kırılma güçlerini azaltmakta ayrıca su buharı bariyerini de azaltmaktadır.

*Sümfaktanlar*, kaplamanın ürüne yapışmasını artırırken lipidik bileşikler hidrokolloid matrisin su bariyeri özelliklerini geliştirmek için katılabilmektedir.

*Antioksidanlar (Polifenoller)*, lipitlerin, uçucu yağların, yağda çözünen vitaminlerin (A, D, E, K vitamini) ve pigmentlerin oksidatif kayıplarını önlemek için gerekliyken baharatlar ve fesleğen, defne, biberiye ve çay yaprağı özleri gibi bitki özleri doğal antimikrobiyaller, çeşitli yağların oksidasyonunu beta hidroksi asit (BHA) ve bütil hidroksi toluen (BHT) gibi sentetik antioksidanlardan daha etkili bir şekilde yavaşlatmaktadır (Silva-Weiss vd., 2013).

Kalsiyum klorit yapıyı geliştirmek ve askorbik asit esmerleşmeyi önlemek için kullanılırken potasyum sorbat ve benzoik asit mikrobiyal gelişmeyi azaltmak amacıyla kullanılır. Gallik asit gibi fenolik asitler, orto-kinonları (renkli) karşılık gelen renksiz fenolik bileşiklere indirgeme kapasitelerine atfedilen antioksidan ve esmerleşme önleyici aktivite sergilemektedirler (Silva-Weiss vd., 2013).

Yenilebilir film ve kaplamalar; antimikrobiyal maddeler, emülsifiyeler ve diğer fonksiyonel maddeler gibi katkıları ile birleştirilerek kullanılabilir.

### **1.1.2. Yenilebilir Film ve Kaplama Üretim Metotları**

Yenilebilir filmler döküm (ıslak) ve ekstrüzyon (kuru) proses olmak üzere iki temel yöntemle üretilebilirler. Gıdaların yüzeylerinin kaplanmasında daldırma, püskürtme, akışkan yataklı ve tavalama gibi farklı yöntemler kullanılabilir (Suhag vd., 2020).

Üretim metotlarından en kolay olanı, gıdanın saniyeler içerisinde doğrudan kaplama solüsyonu içerisine daldırılmasını kapsayan uygulamadır (Tural vd., 2017).

#### **Solüsyon Döküm Yöntemi**

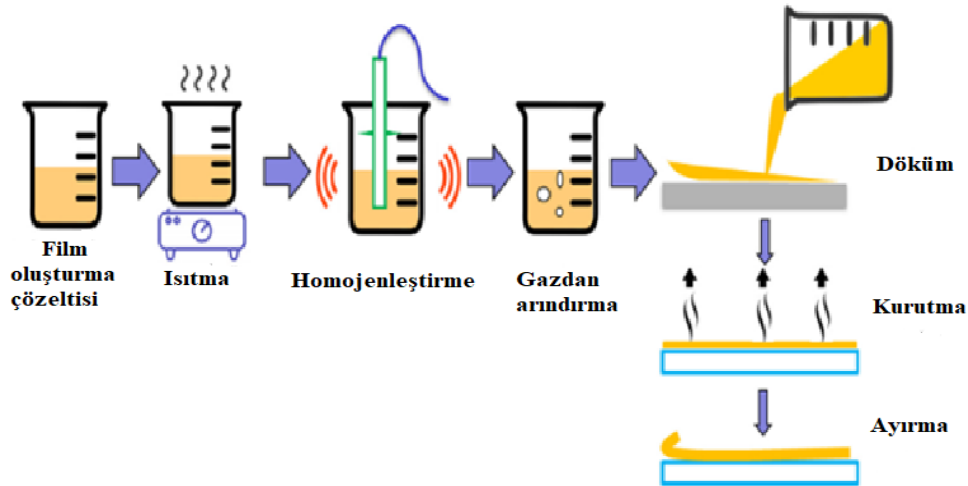
Solüsyon Döküm yöntemi; film oluşturma çözeltilisindeki makro moleküllerin etil alkol ve su gibi uygun çözücülerde çözündürülmesi ve sürekli yapının elde edilmesi için



plastikleştirici maddelerin çözelti içerisine eklenmesi işlemlerine dayanan bir yöntemdir. Hazırlanan film çözeltisi uygun bir yüzeye dökülüp kurutulur ve ardından yüzeyden soyulması ile film üretimi gerçekleştirilmektedir. Kurutmada, çözücü dökümlü filmde buharlaştırılır ve bu polisakkaritler jel benzeri bir yapı oluşturur ve daha fazla kuruduktan sonra onu bir film haline getirir. Filmi kurutmak için vakumlu kurutucu, mikrodalga ve hava kurutucularda kullanılmaktadır (Kumar vd., 2022). Solüsyon döküm, laboratuvar ve pilot ölçeklerde film oluşumu için en yaygın kullanılan düşük maliyetli bir film hazırlama yöntemidir (Kumar vd., 2022; Suhag vd., 2020).

Kuruma süresi, hızlı kuruyan filmlere göre fiziksel özellikler olarak biyopolimer ve biyopolimer arasındaki molekül içi bağı etkilediğinden, kurutma kritik öneme sahiptir (Kumar vd., 2022a).

Filmin yapısı, döküm solüsyonunun bileşimine, ıslak döküm kalınlığına, kurutma şartlarının sıcaklığına ve bağıl nemine bağlıdır (Senturk Parreidt vd., 2018). Çözücü konsantrasyonunun çok hızlı azalması dolayısıyla polimer zincirinin hareketliliğini ve filmde bulunan biyopolimer ile katkı maddesi olarak biyopolimer arasındaki molekül içi bağı etkilediğinden döküm çözeltisinin hızlı kurumasından kaçınılmalıdır (Kumar vd., 2022a; Senturk Parreidt vd., 2018;). Yavaş kurutulmuş filmler, hızlı kurutulmuş filmlere kıyasla fiziksel ve yapısal özellikler üzerinde daha olumlu etkiler göstermiştir (Velaga vd., 2018).



Şekil 1. Döküm yöntemi ile film oluşumu (Kumar vd., 2022).

## **Ekstrüzyon Yöntemi**

Ekstrüzyon yöntemi, polimerlerin termoplastik özelliklerine dayanan, yenilebilir film üretmek için kullanılan kuru bir işlemdir (Kumar vd., 2022a; Senturk Parreidt vd., 2018).

Film oluşturma işlemlerinde kullanılan ekstrüzyon yöntemi, su ve diğer çözücülere gereksinim duyulması nedeniyle ve buharlaştırma aşamalarının olmamasından dolayı ticari uygulamalar için uygun bir alternatiftir (Kumar vd., 2022a; Suhag vd., 2020). Bu yöntemin başlıca avantajları, işlem süresinin kısa olması, filmlerin mekanik ve optik özelliklerinin gelişmesini sağlamasıdır.

Ekstrüder karıştırma işleminden sonra, bir ekstrüder vidası yardımıyla, malzemeler uygun bir şekilde karıştırılır ve son bölge olan ısıtma bölgesinde, biyopolimer ve katkı maddelerinin erimesi ve karıştırılmasını içerir. Ekstrüderin sonunda, ağızdan ekstrüde edilmiş film üretilmektedir (Cheng vd., 2021; Suhag vd., 2020).

### **1.1.3. Yenilebilir Kaplamanın Gıdalara Uygulanma Yöntemleri**

Kaplama malzemelerinin meyveler, sebzeler, etler vb. gıda ürünleri üzerindeki uygulanma etkinliği uygulanan çeşitli daldırma, püskürtme, akışkan yatak ve kaydırma gibi tekniklere bağlıdır. Kaplama için daldırma, püskürtme, akışkan yatak ve kaydırma olmak üzere dört ana kaplama tekniği vardır. Gıdalara kaplama uygulamalarının bu biriktirme yöntemleri, kaplanması gereken gıdanın doğasına, gıdanın yüzey özelliklerine ve kaplamanın birincil amacına bağlıdır. Kaplama solüsyonunun gıdaya uygulama prosedürüne, kaplama solüsyonu ile gıdanın yüzey alanı arasındaki difüzyonu içeren yapışma prosedürü eşlik eder. Bu yöntemler, gıda ürünlerinin özelliklerine ve kaplama malzemelerinin yüzey gerilimi, yoğunluğu ve viskozitesi gibi fiziksel karakterizasyonlarına bağlıdır. Gıda ürünlerinin şekli ve boyutu, istenen kaplama kalınlığı gibi fiziksel parametreleri, kaplama sistemi ve cihazının seçimini etkilemektedir (Suhag vd., 2020).

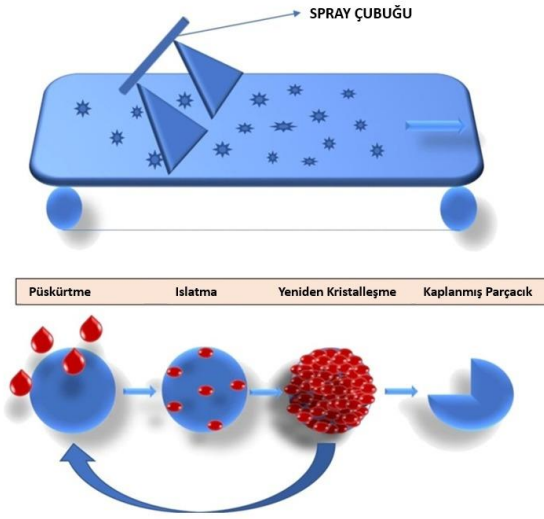
Kaplama oluşumunda, önce malzemeler gıda yüzeyinde yayılır ve ardından yapışma kaplama malzemesi ile gıdanın yüzeyi arasında yer almaktadır (Kumar vd., 2022).

Başlıca kaplama teknikleri;

### **Püskürtme Yöntemi**

Püskürtme, gıdalara kaplama uygulamalarında yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde püskürtme sistemi, kaplama çözeltisini damlacıklar oluşturarak sıvının yüzey alanını artırır ve bunları bir dizi nozul vasıtasıyla hedeflenen gıda yüzeyi alanına dağıtır. Gıdalara kaplama uygulanmasında endüstride üç tip püskürtme tekniği kullanılmaktadır (Andrade vd., 2012). Püskürtme tekniği, yüksek basınç (60-80 psi) nedeniyle, daha iyi bir kapsama alanı sağlamak için daha az kaplama çözeltisi gerekmektedir (Tharanathan, 2003). Püskürtme sistemleri kaplama çözeltisini kirletmez, kaplama çözeltisi sıcaklık kontrolüne izin verir ve sürekli üretimin otomasyonunu kolaylaştırabilmektedir (Andrade vd., 2012). Sıvının püskürtülmesinde küçük damlacıklar, daha fazla yüzey alanına sahip olacağından dolayı ürünün daha fazla alanını kapsayacaktır. Bu yöntemin önemli bir dezavantajı vardır; yüksek viskoziteli biyopolimer püskürtülemez. Yüksek viskoziteli biyopolimer için, daldırma yöntemi tercih edilmektedir (Suhag vd., 2020).

Bu yöntemde üste ilk kaplama ve kurutma prosesleri uygulandıktan sonra gıdanın alt yüzeyi de ayrı ayrı kaplanabilir. Püskürterek kaplama prosesinde, gıda yüzeyleri üzerinde ince bir film katmanı oluşturduğu bildirilmektedir (Suhag vd., 2020).



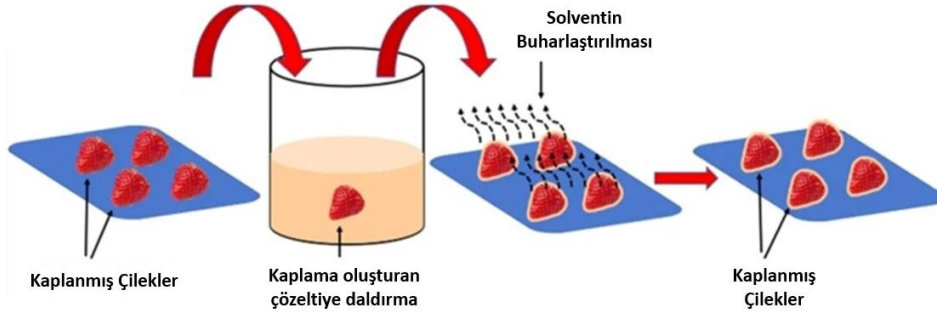
Şekil 2. Yenilebilir kaplamanın püskürtme uygulama yöntemi (Suhag vd., 2020).

Yüksek viskoziteli solüsyon, gıda ürünleri üzerine kolayca püskürtülemez ve bundan dolayı, gıdaların yüzeylerinde daha yüksek kaplama malzemesi kalınlığına yol açan sadece daldırma yöntemleri uyarlanabilmektedir (Suhag vd., 2020).

### Daldırma Yöntemi

Daldırma, gıda ürünü üzerinde en yaygın kaplama yöntemidir. Bir gıda örneğinin kaplama oluşturan dispersiyona daldırılmasıdır. Gıda ürünlerine yenilebilir kaplama uygulamak için daldırma yöntemi üç adımdan oluşur: i) gıda ürününün kaplama oluşturuca çözeltiliye daldırılması ve bekletme, ii) kaplama malzemesi gıda yüzeyinde biriktirme ve iii) çözücünün buharlaştırılmasını ve ürünün yüzeyinde ince bir kaplama tabakası oluşturulmasını içeren üç adımdan oluşmaktadır (Ju vd., 2019; Suhag vd., 2020; Tharanathan, 2003).

Genel olarak yenilebilir kaplama formülasyonunda çoğu meyvenin kullanımı kolaydır, meyve ve sebzeler 5–30 saniye daldırılır. Taze kesilmiş meyvelerin mikrobiyal stabilitesini artırmanın en etkili yolu, onları antimikrobiyal içeren kaplama kullanılmasıdır. Taze meyvenin esmerleşmesini düzenlemenin en yaygın yöntemi, soyma ve/veya kesmeyi takiben daldırma şeklinde antioksidan tedavilerin uygulanmasıdır (Galgano, 2015).



Şekil 3. Çilek meyvesine daldırma yöntemi ile yenilebilir kaplama uygulaması (Kumar vd., 2022).

### Kaydırma Yöntemi

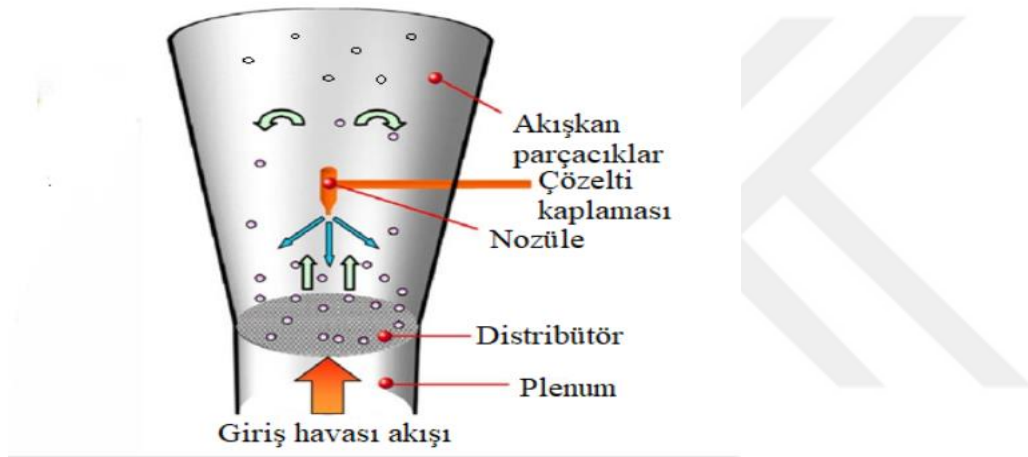
Bu teknikte, gıda ve şekerleme gurupları için uygun bir kaplama yöntemidir. Yuvarlak veya oval şekilli gıdalar, bu yöntemde tek parti halinde kaplanabilir. Büyük yuvarlak bir yuvarlak tava gıda ürünleri içinde döndürülür. Kaydırma yöntemi, kaplanacak ürünü tava deilen dönen büyük bir kazana yerleştirmektir. Solüsyonu dönen bu kazan da gezdirilir veya serpilir ve ürün, kaplama solüsyonunu gıda ürününün yüzeyi üzerinde eşit bir şekilde dağıtılması amacıyla da döndürülür. Tava dönmeye devam ederken gıda ürününün yüzeyi kaplama oluşturan solüsyon yüzeye püskürtülür. Püskürtülen solüsyon miktarı, nihai kalınlığı belirler. Sirküle edilen hava yardımıyla, çözücü buharlaşır ve kaplama kurur (Campos vd., 2010).

### Akışkan Yatak Yöntemi

Akışkan yataklı yenilebilir kaplama yöntemi, gıda işleme ve araştırma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Son derece düşük yoğunluklu ve/veya küçük boyutlu kuru partiküllere ince kaplama uygulanması amacıyla kullanılmaktadır. Kaplama solüsyonu ve süspansiyon, akışkanlaştırılmış bir kaplama işleminde kabuğa benzer bir yapı oluşturmak için bir dizi nozullar yardımıyla akışkanlaştırılmış toz yüzeyi üzerine püskürtülür. Püskürtülen çözeltili gıda üzerinde bir kabuk oluşturmaya başlamaktadır. Yavaş yavaş kaplamaya dönüşen gıdaya daha sonra, kurutma yapılır. Bu yöntem diğer kaplamalara

göre daha maliyetlidir (Kumar vd., 2022). Genel olarak, akışkan yatakta kaplanan parçacıkların boyutu 100 µm'den büyüktür, çünkü 100 µm'den küçük tozlar ya konvansiyonel akışkanlaştırılmış yatakta kararlı bir akışkanlaşmaya sahip değildir ya da bireysel parçacık seviyesinde kaplama elde edemez ve aşırı aglomera oluşturmaktadır (Chen vd., 2009).

Akışkan yataklı proses yöntemi üç kategoriye ayrılır: üst sprej, alt sprej ve döner akışkan yatak. Gıda uygulamalarında geleneksel üstten püskürtme yöntemi diğer yöntemlere göre daha etkilidir (Suhag vd., 2020).



Şekil 4. Üstten püskürtmeli akışkan yataklı kaplama şeması (Depypere vd., 2009).

Yenilebilir kaplama bileşeni oluşturmak için yeni bir yaklaşım olan nanoteknoloji, yenilebilir kaplama parçacıklarının boyutunu 1 ile 100 nm arasında değişen bir nanometrik ölçeğe indirilmesini sağlayan yeni bir yaklaşımdır (Odetayo vd., 2022). Son araştırmalarda, nanoteknolojinin çeşitli gıda bölümlerinde, hasat sonrası yönetimde, gıda depolama ve paketlemede, biyosensörde, ilaçta, besin ve nutrasötik dağıtımında, içerik maddelerinde ve katkı maddelerinde ve ayrıca gıdanın biyoişlenmesinde önemli değişiklikler meydana getirebileceği bulunmuştur (Dholariya vd., 2021). Az miktarda dahi eklenen nanopartiküller, yenilebilir kaplamalarla güçlü bir arayüz oluşturmakta ve yenilebilir kaplamaların mekanik ve bariyer özelliklerini iyileştirmekte ve termal kararlılığını artırmaktadır (Odetayo vd., 2022).

Doğal biyopolimerlerden üretilen ambalaj malzemeleri, zayıf mekanik özelliklere ve yüksek su buharı geçirgenliği parametreleri ile karakterize edilir ve nanoteknolojinin bu alanda kullanılması, bu özelliklerin iyileştirilmelerine yardım etmektedir (Jamróz vd., 2019). Nanokillerin kullanımı, polimerik filmlerin mekanik mukavemetini ve bariyer özelliklerini arttırmaktadır (Nath vd., 2022).

Günümüzde nanoteknoloji ağırlıklı olarak tarım zinciriyle ilgilenirken bilim adamları, ambalajın içi hakkında tüm bilgileri veren nano boyutlu katkı maddeleri, nano biyosensörler, çekici ambalajlar hakkında araştırma yapılmaktadır ancak ticari ürünlerde kullanılacak sağlıklı bir nanoparçacık oluşturmak için bu malzemelerin yutulduktan sonraki davranışları ve gıdalarda bulunabilecek nanoparçacıkların izin verilen maksimum miktarları hakkında daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Dholariya vd., 2021; Odetayo vd., 2022).

## **1.2. Nanokompozitler**

Nanokompozit kaplamalar yeni nesil malzemelerdir. Bir nanokompozit kaplama en az iki fazdan oluşur: bir nanokristal faz ve bir amorf faz veya iki nanokristal faz. Nanokompozit malzemeler, geleneksel malzemelere ( $\geq 100$  nm) kıyasla daha küçük ( $\leq 10$  nm) tane boyutları nedeniyle gelişmiş özellikler göstermektedir. Polisakkarit, protein ve lipidlerin nano ölçekte ( $\leq 10$  nm) malzemeler kullanılmasıyla "Nanokompozitler" elde edilmektedir (Poonia ve Mishra, 2021). Nanopartiküllerin kullanılmasıyla üretilen nano ölçekte yenilebilir kaplamalar sebze, meyve, unlu mamuller, şekerlemeler, etler ve süt ürünleri gibi gıdalar üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Poonia ve Mishra, 2021).

Yenilebilir nano kaplama, yenilebilen biyopolimerler (örneğin polisakkaritler, proteinler ve lipidler) kullanılarak geliştirilmiş bir kaplama tabakasıdır ve tek veya çoklu katmanlar halinde uygulandığında gıda ürünü niteliklerini geliştirmede etkili bir metottur. Biyopolimerlerin nano ölçekte kullanıldıklarında yüksek düzeyde yarar sağlayacağı düşünülmektedir (Poonia ve Mishra, 2021).

Mükemmel mekanik ve termal özelliklere sahip nanoparçacıklar biyopolimerlere doldurulduğunda, nano ölçekte polimer zincirleri ile etkileşime girebilirler ve bu da ortaya

ıkan nanokompozitlerin özelliklerinde önemli iyileştirmelere yol açar. Bu nedenle, kompozit filmleri istenilen performanslarla hazırlamanın anahtarları, nano dolgu maddelerinin matriste homojen dağılımı ve güçlü arayüz etkileşimleridir (Zhou vd., 2016).

Polimer kompozitler, belirli geometrilere (lifler, pullar, küreler, partiküller) sahip inorganik veya organik katkı maddeleri içeren polimerlerin karışımlarıdır. Nano lekli dolgu maddelerinin kullanımı, polimer nanokompozitlerin geliştirilmesine yol açmakta ve bu geleneksel polimer kompozitlere önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Bu yeni nesil kompozitler, boyutsal kararlılık ve üzücü veya gaz bariyer özelliklerinde önemli gelişmeler göstermektedir. Nanokompozitler ayrıca düşük yoğunluk, Şeffaflık, daha iyi yüzey özellikleri ve geri dönüştürülebilirlik gibi ilave faydalar da sunar (Sorrentino vd., 2007).

### **1.2.1. Polisakkarit Bazlı Nanokompozitler**

Polisakkaritler, monosakkaritlerin glikozidik bağlarla bağlanması sonucunda oluşan bileşik yapıdaki karbonhidratlardır (Bozkurt vd., 2023). Polisakkarit matrislere nanomalzemelerin eklenmesi, gelişmiş fiziksel özelliklere sahip nanokompozit filmlerin hazırlanmasını, bariyer özelliklerinin ve ambalajın stabilitesinin geliştirilmesini sağlamaktadır (de Castro e Silva vd., 2020).

Bu tür polisakkarit nanokompozitlerin birçok potansiyel uygulama vardır; ilaç dağıtımı, doku mühendisliği ve yara iyileştirme, kan ve biyoyumluluk, antibakteriyel özellikler, biyotıp uygulamaları, endüstriyel uygulamalar (Zheng vd., 2015).

### **1.2.2. Protein Bazlı Nanokompozitler**

Gıda ambalajı için Őimdiye kadar en çok çalışılan protein türevi biyonanokompozitler, soya proteini izolatları ve jelatin proteinleridir (Zubair & Ullah, 2020). Protein malzemeleri, benzersiz ve iyi gelişmiş nano ölçekli yapıları, zengin kimyasal işlevsellikleri, mükemmel mekanik özellikleri, biyoyumlulukları ve biyolojik olarak parçalanabilirlikleri sayesinde, fonksiyonel ve yüksek performanslı biyonanokompozitler için yapı taşları olarak umut verici adaylardır (Wang vd., 2020).



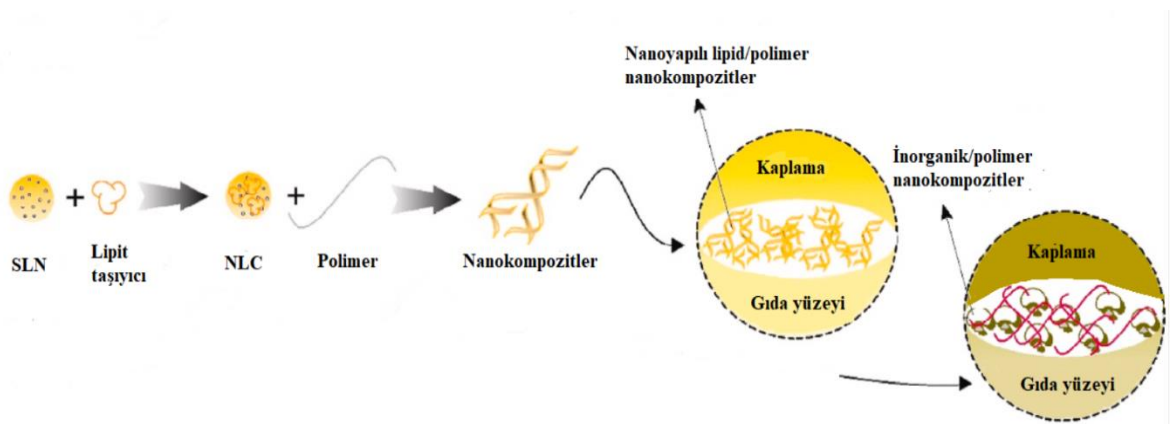
### 1.2.3 Lipit Bazlı Nanokompozitler

Lipitler, hayvanlar, böcekler ve bitkiler gibi doğal kaynaklardan elde edilen bileşiklerdir. Lipit fonksiyonel gruplarının çeşitliliği fosfolipitler, fosfatit, mono-, di- ve trigliseritler, terpenler, serebrosidler, yağ alkolü ve yağ asitlerinden oluşmaktadır (Mohamed vd., 2020).

En az bir boyutu nanometre ölçeğinde olan nanokompozitler, yeni nesil yüksek performanslı malzemeler olarak kabul edilmektedir. Özellikle nanokiller, nano yapıları güçlendirilmiş biyomalzemelerin hazırlanması için yeni bir hammadde olarak ortaya çıkmaktadır (Omanović-Miklićanin vd., 2020).

1991 yılında tanımlanan katı lipit nanoparçacıkları (SLN) lipit (50 ila 1000 nm arasında değişen küresel şekilde) ve suda çözünmeyen çekirdekten (biyoaktif bir malzeme ve bir yağ matrisinden oluşur ve diğer kolloidal nanopartiküllere göre uygun maliyet ve güvenlik gibi yararları nedeniyle daha fazla önem kazanmıştır (Jafarzadeh vd., 2021; Parvez vd., 2020).

Yüzey aktif maddeler kullanılarak sürekli bir su fazında dağılmış ve stabilize edilmiş lipit fazından oluşan katı lipit nanoparçacıkları, oda sıcaklığında katı kaldıkları için kontrollü salım ve koruyucu sistemler için aktif maddelerin yeni nesil nano taşıyıcılarıdır (Zambrano-Zaragoza vd., 2020).



Şekil 5. Polimerik matriste katı lipit nanopartiküllerinden (SLN'ler)/nanoyapılı lipit taşıyıcılarından (NLC'ler) oluşan nanokompozitler (Jafarzadeh vd., 2021).

#### 1.2.4. Nano Dolgu Maddeleri

Polimere az miktarda nano dolgu ilavesi, termal kararlılık dahil olmak üzere mukavemet ve bariyer özellikleri gibi çeşitli özelliklerinde önemli bir artış sağlamaktadır.

Montmorillonit gibi nano dolgu maddeleri/katmanlı silikatlar, sentetik polimer-kil nanokompozitlerinin oluşumunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Dört tip nano dolgu maddesi vardır: kil, organik, inorganik ve karbon nanoyapı. Organik nano dolgu maddeleri doğal biyopolimerleri (örneğin kitosan, selüloz) kapsarken inorganik maddeler metal (örneğin gümüş) veya metal oksitleri (örneğin ZnO ve TiO<sub>2</sub>) içerir. Karbon nanoyapılar fullerenler, grafen, karbon nanotüpler ve nanofiberler olarak sınıflandırılabilir (Jamroz vd., 2019).

Nano dolgu maddeleri organik ve inorganik olmak üzere 2 gruba ayrılır. Organik nanopartiküllere örnek olarak nanoselüloz (nanokristaller veya lifler), zein nanokristalleri, kitosan ve nişasta nanokristalleriyken inorganik nanolifler ise katmanlı nanokiller, çinko oksit (ZnO), titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>), gümüş (Ag) ve karbon nanotüpler örnek verilebilir (Zubair ve Ullah, 2020).

Organik ve inorganik malzemelerin birleşiminden yapılan malzemeler olan hibrit malzemeler, araştırma alanlarında giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında, ortaya çıkan hibrit organik-inorganik malzemeler, inorganik fazdan kaynaklanan sertlik, boyutsal stabilite ve termostabilite özelliklerinin yanı sıra organik fazdan kaynaklanan kararlı ve işlenebilirlik özelliklerine sahiptir (Wu vd., 2017).

Tablo 2

Polimerler için dolgu maddelerinin kimyasal aileleri (Thabet vd., 2011)

| Kimyasal Aile | Örnekler |
|---------------|----------|
|---------------|----------|

|                   |  |
|-------------------|--|
| İnorganik Asitler | Cam (Lifler, Küreler, İçi boş küreler, pullar), MgO, SiO <sub>2</sub> , Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , |
| Hidroksitler      | Al(OH) AlO <sub>3</sub> , Mg(OH) <sub>2</sub>  |
| Tuzlar            | CaCO <sub>3</sub> , BaSO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> , Fosfatlar                                    |
| Silikatlar        | Talk, Mika, Kaolin, Vollastonit, Montmorillonit, Nanokil, Feldspat, Asbest                               |
| Metaller          | Bor, Çelik   |
| Karbon-Grafit     | Karbon lifleri, Grafit lifleri ve Pullar, Karbon nanotüpler, Karbon siyahı                               |

Tablo 2'nin devamı

|                     |  |
|---------------------|--|
| Doğal Polimerler    | Selüloz lifleri, Odun unu ve lifleri, keten, pamuk, sisal, nişasta |
| Sentetik Polimerler | Poliamid, Polyester, Aramid, Polivinil alkol lifleri               |

### Organik Nano-Dolgu Maddeleri

Polimer-kil nanokompozitleri, 1980'lerin sonlarında Toyota araştırmacıları, naylonlara nano boyutlu killerin ağırlıkça %5 kadar az miktarda ilavesinin değerlerini iki katına çıkardığını ve ısı bozulma sıcaklıklarını 80 °C artırdığını gösterdiğinden beri büyük ilgi uyandırmıştır (McGlashan ve Halley, 2003).

Mukavemeti arttırmak, ısı direncini arttırmak ve protein türevi malzemelerin bariyer özelliklerini arttırmak için kullanılan en umut verici nanodolgu maddeleri katmanlı silikatlardır ve en yaygın kullanılan silikat nanodolgu maddesi ise montmorillonitler (MMT)dir (Zubair & Ullah, 2020). Polimer kil nanokompozitler, çok sayıda paketleme uygulaması için bariyer malzemeler olarak umut vaat eden nano ölçekli inorganik parçacıkların bir organik polimer matris içinde dağıldığı hibrit malzeme sınıfına aittir (Bharadwaj, 2001; Thabet vd., 2011).

Kil minerallerinin karakteristik özelliği, yaklaşık 1 nm kalınlığında ve yaklaşık 100 µm'lik yanal uzantılara sahip negatif yüklü silikat tabakaların istiflenmiş şekilde düzeninden

gelir. Negatif yüzey yükü, silikat tabakasında  $\text{Si}^{4+}$  'nin  $\text{Al}^{3+}$  yerine,  $\text{Al}^{3+}$  ün ise  $\text{Mg}^{2+}$  yerine izomorf değişiminden kaynaklanır ve bitişik tabakalar arasındaki alanlarda bulunan Na gibi inorganik katyonlarla ikame edilir. Bir organofilik kil (OMLS), sodyum iyonlarının alkilamonyum iyonları, alkilfosfonyum iyonları veya protonlanmış amino asitler gibi uzun zincirli organik katyonlarla yer değişiminden elde edilmektedir (Sorrentino vd., 2007).

Polimer kil nanokompoziti, nanometre boyutunda kil parçacıkları içeren polimerleri ifade eder. Bu nanokompozitler, yüksek sertlik ve gelişmiş bariyer özelliklere sahip olabilmektedir. En iyi özellikler, kilin yaklaşık bir nanometre kalınlığında ve 20-500 nanometre çapında tek kil katmanlarına tamamen pul pul dökülmesiyle elde edilmektedir (Van es, 2001). Nanokillerin pul pul dökülmesi, nanokiller ve polimer zincirleri arasındaki etkileşime daha iyi katkıda bulunmaktadır (Nath vd., 2022).

Dünya üzerinde çok yaygın bir şekilde bulunan ve karakteristik bir mineral olan killer, kimyasal olarak alüminosilikatlar olarak bilinir ve katmanlı bir yapıya ve ince parçacık boyutuna sahip, çeşitli miktarlarda alüminyum, silika, demir ve magnezyumdan oluşan mineraller olarak kategorize edilmektedir (Nath vd., 2022). Killer kimyasal bileşimlerine ve parçacık morfolojilerine dayanarak smektit, klorit, kaolinit, illit ve halloysit gibi çeşitli sınıflarda düzenlenmiştir (Guo vd., 2018).

Bunlardan biri olan montmorillonit (MMT), doğal olarak oluştuğu için çevre dostu olması, büyük miktarlarda kolay bulunabilirliği, iyi bilinen interkalasyon/eksfoliasyon kimyası, yüksek en boy oranına ve yüksek yüzey alanı nedeniyle polimer nanokompozitlerde kullanım için en geniş kabul edilebilirliğe sahiptir (Kotal ve Bhowmick, 2015; Nguyen ve Baird, 2007).

Halloysit (HNT), 150 nm ila 2  $\mu\text{m}$  arasında uzunlukları, 20 nm ila 100 nm arasında dış çap ve 5 nm ila 30 nm arasında lümen çapı olan alüminosilikat kil katmanlarından oluşan doğal, tübüler bir nanokil mineralidir (Gaaz vd., 2015; Tüzün 2019). Amerika, Brezilya, Çin, Fransa, Japonya, Güney Kore ve Türkiye gibi ülkelerdeki doğal birikintilerden çıkarılan, kimyasal olarak kaoline benzeyen, ancak yığılmış plaka benzeri bir yapı yerine içi boş bir mikrotübüler yapıya sahip olma bakımından farklılık gösteren bir alüminosilikat kildir (Levis ve Deasy, 2002).

Nano boyutu sahip HNT'ler, bariyer özellikleri, mekanik özellikler ve termal özellikler gibi film özelliklerini artırmak amacıyla nanodolgu maddeleri olarak daha fazla kullanılabilen nanoyapılı malzemelerdir (Lu vd., 2022).

Gıda, ilaç, tarım ve çevre iyileştirme gibi çeşitli alanlarda uygulamaları olan ve çevre açısından güvenli bir nanomalzeme olarak kabul edilen halloysit, kolay aglomerasyon ve üstesinden gelinmesi gereken diğer moleküllerle zayıf etkileşim gibi bazı dezavantajlar vardır. Bu nedenle, halloysit daha yüzey etkileşimli hale getirmek için dağıtmak için yüzey modifikasyonu gereklidir (Abhinayaa vd., 2019).

Metal oksit veya metal nanoparçacıkların HNT üzerine eklenmesiyle güçlendirme yeteneğinin yanı sıra, HNT ile antimikrobiyal ve fotokatalitik gibi diğer özellikleri entegre etmek için gerçekleştirilmiştir (Shankar vd., 2018).

Montmorillonit (MMT), biyopolimer bazlı film teknolojisinde en yaygın kullanılan nanomalzemelerden birisidir (Alexandre vd., 2016). MMT, genelde alüminosilikattan oluşan zengin kil mineralidir (Zhang vd., 2021). Montmorillonit formülü  $(\text{Si}_{7.8}\text{Al}_{0.2})^{\text{IV}}(\text{Al}_{3.4}\text{Mg}_{0.6})^{\text{VI}}\text{O}_{20}(\text{OH})_4$  ve ara katman malzemesi olmadan teorik kompozisyon  $\text{SiO}_2$ 'dur (Bhattacharyya ve Gupta, 2008).

Nano montmorillonit, 0.96 nm tabaka kalınlığına ve 100-200 nm aralığında yanal boyutlara sahip bir oktahedral (O) ve iki tetrahedral (T) plakadan oluşan 1: 26 tipi katmanlı silikat kil minerali olan montmorillonit, düşük maliyetli, bol, toksik olmayan ve çevre dostu olması nedeniyle gıda paketlenme endüstrisinde en yaygın kullanılan katmanlı silikat kildir (Chen vd., 2017; He vd., 2019; Li vd., 2016; Lim vd., 2020; Wang vd., 2022). 2:1 katmanlı fillosilikat veya simektitlerin yapısal ailesine ait olan montmorillonit (MMT), van der Waals ile volkanik kayalarda (bentonitlerde) doğal olarak bulunmaktadır (Vilarinho vd., 2020).

MMT, bentonit kilinde baskın bileşendir ve FDA tarafından onaylanmış bir tıbbi katkı maddesidir. MMT inorganik biyoyumluluğa, doğada iyi kullanılabilirliğe ve kompozit üretiminde fizibiliteye sahip olup biyolojik ortamda herhangi bir olumsuz etki oluşturmamaktadır (Subha vd., 2022). Kilin katyonik türlerin çözeltiden adsorbe

edilmesindeki yeteneği, kation değişim kapasitesi (CEC) olarak gösterilir (Brigatti vd., 2013). MMT'nin öne çıkan özelliklerinden biri mükemmel emme özelliğine sahip olmasıdır; MMT nin iç katmanlardaki boşluklar, dış yüzey ve köşeler emme özelliğine sahiptir (Vilarinho vd., 2020).

MMT yüzeyi hafif negatif yüklüdür, çünkü oksit anyonları arayüzde bulunan ve ışığın toplam negatif yükünü tabakaların kil minerallerinin yüzeylerine ileten yük dengeleyici anyonları etkilemektedir (Giannakas ve Leontiou, 2018; Vilarinho vd., 2020).

Geri dönüştürülebilirlik ve biyolojik olarak parçalanabilirlik açısından mükemmel olan selüloz nanofiber, karbonhidrat polimerlerinde baskın biyomalzemelerden biridir (Subha vd., 2022).

Bitki hücre duvarından çıkarılabilen doğal bir nanomalzeme olan nano selüloz, Nanometre çapındaki boyutu, yüksek mukavemet, mükemmel sertlik ve yüksek yüzey alanı gibi dikkat çekici özellikleri bulunmaktadır (Phanthong vd., 2018).

Nanoselüloz üç ana tipe ayrılabilir; nanokristalin selüloz, nanofibrillenmiş selüloz ve bakteriyel nanoselüloz olanlar. Tüm türler kimyasal bileşimde benzer olmasına rağmen, kaynakların ve ekstraksiyon yöntemlerinin farklılığından dolayı morfoloji, partikül boyutu, kristallik ve bazı özellikler bakımından farklıdırlar (Phanthong vd., 2018).

### **İnorganik Dolgu Maddeleri**

Çeşitli inorganik nano-parçacıklar, polimer performansını artırmak için olası katkı maddeleri olarak kabul edilmiştir. Bu parçacıkların bazı örnekleri katı katmanlı, sentetik polimer nano-lifler, selüloz nano-whiskerin ve karbon nanotüp ile temsil edilir. Bu sadece kullanılabilirliklerinden ve düşük maliyetlerinden değil, aynı zamanda önemli geliştirmelerinden ve göreceli olarak basit işlenebilirliklerinden kaynaklanmaktadır (Sorrentino vd., 2007). Farklı NP'ler arasında, Ag, Au, Ce, Fe, Se, Ti ve Zn gibi metallerin inorganik NP'leri, nanoformlardaki benzersiz biyoaktiviteleri nedeniyle önemli bir yere sahiptir (Khurana vd., 2019).

Metal oksit nanopartiküllerinden biri olan ve gıda, kozmetik, tıp, inşaat ve elektronik gibi çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılan titanyum dioksit  $TiO_2$ , titanyum oksidin doğal formu, düşük maliyet, yüksek stabilite, fotokatalitik aktivite, ultraviyole emilimi, yüksek kırılma indisi, düşük toksisite, antibakteriyel aktivite ve biyouyumluluk gibi birçok avantaja sahiptir (Zhang ve Rhim, 2022).  $TiO_2$  gıda ve kozmetik uygulamalarında ışığı engellemek ve beyaz bir görünüm vermek için yaygın olarak kullanılmıştır (Oleyaei vd., 2016).

Çok işlevli inorganik nanoparçacıkların bir türü olan çinko oksit nanoparçacıklarının (Nano-ZnO) mikrobiyal büyümeyi inhibe ettiği bilinmektedir. Çinko oksit güçlü antimikrobiyal etkilere sahip olduğundan, FDA tarafından GRAS (Genel Olarak Güvenli Olarak Tanınan) olarak listelenmiştir. Çinko birçok ürünü güçlendirmek için kullanılmıştır ve gıda katkı maddesi olarak kullanımına izin verilmektedir (Zambrano-Zaragoza vd., 2018). ZnO nano-parçacıkları, gümüş nano-parçacığa kıyasla, daha düşük maliyet, beyaz görünüm ve UV bloke edici özellik gibi bazı avantajlara sahiptir (Dastjerdi ve Montazer, 2010).

Zhang ve Jiang (2020), gümüş nanoparçacıklar (Ag-NP'ler), küresel şekilli ve ortalama boyutlarının yaklaşık 28 nm olduğu ve antibakteriyel kabiliyeti nedeniyle gıda korumada kullanımın son yıllarda arttığını belirtmiştir. Gümüş nanopartiküller (AgNP'ler), anti-mikrobiyal doğaları, yüksek elektriksel iletkenlikleri ve optik özellikleri nedeniyle çok kullanılan nanomalzemelerden biridir (Tripathi vd., 2019). Çeşitli ilaçları etki alanına taşımak için taşıyıcı platform olarak kullanılan selenyum nanoparçacıkları, selenyuma kıyasla önemli ölçüde azaltılmış toksisiteye sahiptir (Khurana vd., 2019).

Son yıllarda, alüminyum oksit veya silikon oksit (kesin stokiyometri genellikle ölçülmediği için genellikle  $AlO_x$  ve  $SiO_x$  olarak anılır) gibi şeffaf bariyer kaplamalar ilgi görmektedir. Polimer filmlere uygulandığında, bu bariyer kaplamalar, opak metalize filmlere göre ürün görünürlüğü, mikrodalgada kullanılabilirlik/tekrar ısıtılabilirlik sunmaları ve aynı zamanda gerekli bariyer seviyelerini sağlarken metal detektörlerden geçmeye uygun olmaları bakımından ek avantajlar sağlamaktadır (Struller vd., 2014).

CuO NP'leri antimikrobiyal, antibakteriyel ve antioksidan aktiviteye sahiptir ve bir UV bloke edici etki sergilerken Kalay oksit (SnO<sub>2</sub>) nanoparçacıkları elektriksel, termal, mekanik ve gaz bariyeri özelliklerine sahiptir (Jamróz vd., 2019).

### **Karbon Nanodoldurucular**

Karbon nanotüplerin (tek boyutlu nano yapılar) keşfi, ileri bilimin en önemli başarılarından biridir. Karbonun bu varoluş formu, grafit ve fullerenler arasında bir ara maddedir (Zaporotskova vd., 2016).

Karbonlu nano dolduruculardan biri olan karbon nanotüpler (CNT'ler), nanoboyutları, yapısal mükemmellikleri, yüksek elektriksel iletkenlikleri ve düz panel ekranlardaki bir uygulama ile kimyasal kararlılıkları nedeniyle elektron alan yayıcıları olarak uygundur (Popov, 2004).

Grafen ailesi, geniş spesifik yüzey alanı, yüksek Young modülü, yüksek termal ve elektriksel iletkenlik, iyi kırınım mukavemeti, yük taşıyıcıları, hızlı hareketlilik ve biyouyumluluk gibi benzersiz özelliklere sahipken grafenin doğasında bulunan yüksek spesifik yüzey alanı ve ıslanabilirliği, hem iletkenlik hem de mekanik özelliklerin gelişimini sınırlayabilen, zayıf dağılılırılık ve polimerlerle zayıf bağlanma ile sonuçlanmaktadır (Chen vd., 2020; de Carvalho ve Junior, 2020).

Saf grafene göre daha düşük topaklanma eğilimine sahip olduğu için nanomalzemeler arasında en umut verici nano dolgu maddesi olan grafen oksitin kullanımını sınırlayan etmenler; içsel sıfır bant aralığı enerjisi ve organik ve sulu çözücülerde düşük çözünürlüktür (Jamróz vd., 2019).

### **Diğer Nanofiller**

Optik özellikleri ve yüksek fotostabiliteleri nedeniyle yarı iletken kuantum noktaları ve kullanılabilirlik, biyolojik olarak parçalanabilirlik, düşük fiyat ve düşük üretim maliyeti gibi avantajlara sahip olması nedeniyle grafen kuantum noktaları, nanokompozit filmleri



optoelektronik uygulamalarda kullanım için tercih edilen bir aday haline getirmektedir (Jamróz vd., 2019).

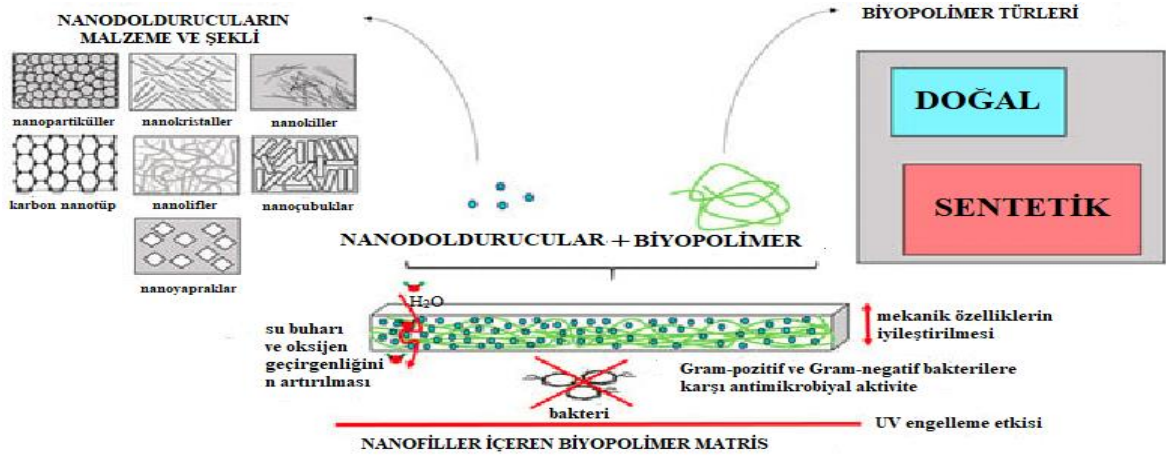
Tablo 3

Nano doldurucu özelliklerinin güncel örnekleri (Jamróz vd., 2019).

| <b>Nano doldurucu türü</b> | <b>Filme Eklenen Özellikler</b>      |
|----------------------------|--------------------------------------|
|                            | <b>Kil Nanodolgu Maddeleri</b>       |
|                            | UV koruma özellikleri                |
| MMT, Hal vb.               | İyi mekanik stabilite                |
|                            | Termal Kararlılık                    |
|                            | <b>Organik Nanodolgu Maddeleri</b>   |
|                            |                                      |
| Tablo 3'ün devamı          |                                      |
|                            | Kan uyumluluğu                       |
|                            | Antibakteriyel etki                  |
| Nanoselüloz                | Termal kararlılık                    |
|                            | İyi mekanik stabilite                |
|                            | Düşük sitotoksosite                  |
|                            | Biyouyumluluk                        |
| Kitosan nanoparçacıkları   | Biyolojik olarak parçalanabilirlik   |
|                            | Düşük toksisite                      |
|                            | Antimikrobiyal etkinlik              |
|                            | <b>İnorganik Nanodolgu Maddeleri</b> |
|                            | Antimikrobiyal etki                  |
| AgNP'ler                   | UV koruma özellikleri                |
|                            | Antioksidan aktivite                 |
|                            | Fotokatalitik etki                   |
|                            | Antimikrobiyal etki                  |
| SeNP'ler                   | Antioksidan aktivite                 |
|                            | Antimikrobiyal etki                  |
| CuNP'ler                   | UV koruma özellikleri                |

|                          |  |
|--------------------------|--|
| SNP'ler                  | Antimikrobiyal etki<br>Zehirli etki  |
| TiO <sub>2</sub> NP'ler  | Antimikrobiyal etki<br>Fotokatalitik aktivite<br>UV koruma özellikleri   |
| ZnO NP'ler               | Antifungal etki<br>UV koruma özellikleri<br>Antimikrobiyal etki<br>Dielektrik özellikler<br>Elektromanyetik ekranlama<br>Termal iletkenlik |
| Tablo 3'ün devamı        |  |
| CEO <sub>2</sub>         | Antimikrobiyal etki<br>UV koruma özellikleri<br>Alev Geciktirici<br>Kırılganlık direnci  |
| Grafen, grafen oksit vb. | Hafif<br>İşleme avantajları, esneklik, korozyon direnci<br>Olağanüstü elektriksel, mekanik ve termal özellikler                            |

**Nanodolguların (Nanofiller) Biyopolimer Esaslı Filmlerin Fonksiyonel Özellikleri Üzerindeki Etkileri**



Şekil 6. Nanokompozit filmlerin şematik hazırlanması ve fonksiyonel özellikleri (Jamróz vd., 2019).

## Nanodolgu (Nanofiller) Maddelerinin Polimer Bazlı Filmlerin Fiziksel Özellikleri Üzerindeki Etkileri

Su direnci, biyopolimer filmlerin önemli bir fonksiyonel parametresidir. Birçok çalışmada filmlerin suya dayanıklılığı, suda çözünürlükleri, şişme dereceleri, su içerikleri ve su buharı geçirgenlikleri ile değerlendirilmektedir (Jamróz vd., 2019).

Qin ve ark. (2019), kitosan filmlerine mor mısır ekstresi (PCE) ve gümüş nanopartiküller eklemiş ve filmin en düşük su buharı geçirgenliğine sahip olduğunu ve bunun nedeninin de gümüş nanopartiküller ve mor mısır ekstresinin kitosan filminin su buharı geçirgenliğini azaltmada sinerjik etkiye sahip olduğunu belirtmiştir.

Noshirvani ve ark. (2018), hem Polivinil alkolün hem de Selüloz nanokristalin, nişasta bazlı filmlerin suda çözünürlüğünü azalttığını, bunun nedeninin ise nişasta, Polivinil alkol ve Selüloz nanokristalin hidroksil grupları arasında üretilen ve üç boyutlu selüloz ağlarının oluşumuna yol açan hidrojen bağı olduğunu belirtmiştir.

Gıda ambalajlama malzemesi olarak kullanılan filmlerin şeffaflığı, tüketiciler tarafından gıdaların tazeliğini ve görünüm kalitesini gözlemlemek için kullanılabilir (Min vd., 2020).

Alizadeh-Sani ve ark. (2018), TiO nanopartikülleri, selüloz nanolifleri ve biberiye esansiyel yağı ile yüklü peynir altı suyu proteini ile hazırlanan biyokompozit filmin üretiminde kullandıkları nanopartiküllerin peynir altı suyu protein filmlerinin şeffaflığını azalttığını bildirmiştir.

Açık sarı renkli, şeffaf furcellaran filmine grafen oksit ve gümüş nanopartiküllerin eklenmesiyle nanokompozit filmlerin yarı saydam ve kahverengi renkli hale geldiği tespit edilmiştir (Jamróz vd., 2020).

Gıda ambalajlarında kullanılan filmlerin önemli parametrelerinden biri oksijen geçirgenliğidir ve nanodolgu maddelerinin biyopolimer filmlere eklenmesi, oksijen geçirgenliğini azaltmaktadır (Jamróz vd., 2019).

Khalaj ve ark. (2016), kil ve demir nanoparçacıklarının polipropilen matrisi boyunca oksijen ve su buharı geçirgenliğini engellediğini, oksijen geçirgenliğindeki azalmanın kil nanopartiküllerinin oksijen emilimini önleyen ve difüzyonunu yavaşlatan fiziksel bir engel oluşturmasından kaynaklandığını açıklamıştır.

### **Nanodolgu Maddelerinin Polimer Bazlı Filmlerin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkileri**

Biyopolimer filmlerin mekanik özelliklerini belirlemek için sıklıkla kullanılan iki ana parametre, mukavemeti ölçmek için kullanılan çekme mukavemeti (TS, MPa) ve filmin elastikiyetini belirlemek için kullanılan kopma sırasındaki uzama yüzdesidir (Jamróz vd., 2019). Nanopartiküllerin biyopolimer filmlere eklenmesi, mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Bunun nedeni, nanopartiküllerin ara yüzey gücünü ve dağılım derecesini etkileyebilecek çok geniş bir spesifik yüzey alanına sahip olması olabilir (Jamróz vd., 2019).

Yapılan bir çalışmada, kitosan/jelatin ve gümüş nanopartikül bazlı nanokompozit film geliştirilerek Mimops elengi meyvesine uygulanmış ve filmin ürünün raf ömrünü artırdığı, çekme dayanım yüzdesini azalttığı, kopma esneme yüzdesinin ise filmlerdeki AgNP konsantrasyonundaki artışla arttığı gözlemlenmiştir (Kumar vd., 2018).

Kitin nano whiskerin (CNW'ler) mısır nişastası bazlı filmler üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, CNW'leri içeren filmlerin çekme mukavemetlerinin saf mısır nişastası filmlerinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca aynı çalışmada, mısır nişastası/CNW kompozit filmlerin %E'si için dolgu içeriğinde %2'ye kadar olan artışta önemli bir fark bulunmadığı ancak %E'nin, CNW'lerin %5'inden fazlası ile önemli ölçüde azaldığı ve bunun da nano doldurucuların katı yapısından kaynaklanabileceği şeklinde açıklanmıştır (Qin ve vd., 2016).

Liu ve ark. (2007), çok cidarlı karbon nanotüp (MWCNT)/polieterimid (PEI) nanokompozit filmi hazırlamış ve karakterizasyonlarını araştırmıştır. Yapılan çalışmada, ağırlıkça %1 (MWCNT)'lerin eklenmesinin nanokompozitlerin esneme (elastik) modüllerini yaklaşık %250 oranında önemli ölçüde iyileştirdiğini ve gerilme mukavemetinin matrisinkiyle karşılaştırılabilir olduğunu göstermiştir ve bunun MWCNT'ler ile polimerden CNT'lere stres transferini destekleyen PEI matrisi arasındaki güçlü ara yüz etkileşiminden kaynaklandığı belirtilmiştir.

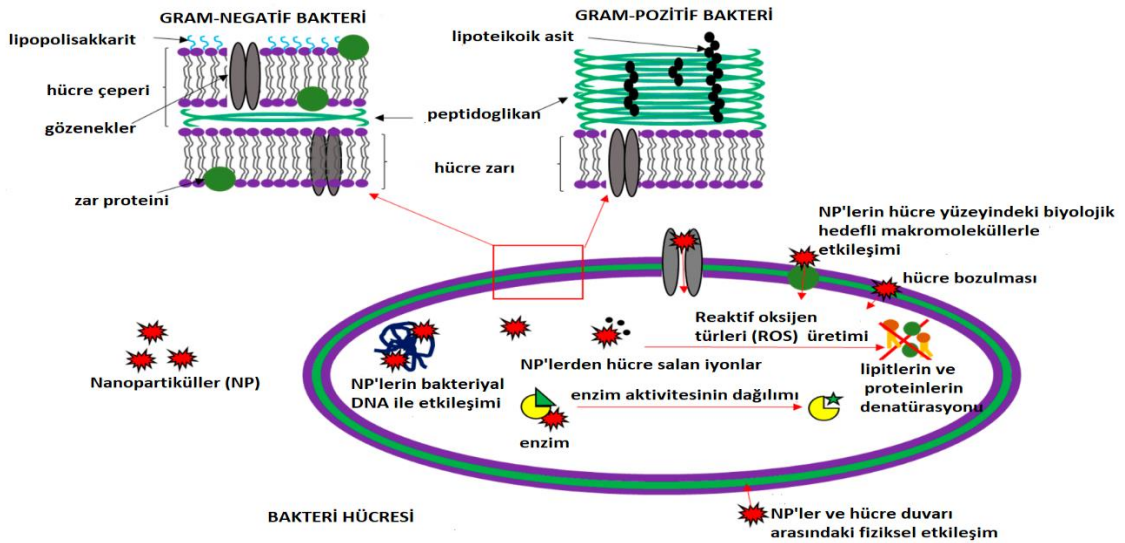
### **Nanodolgu Maddelerinin Polimer Bazlı Filmlerin Antimikrobiyal Aktivitesi Üzerine Etkileri**

Bakteriyel selüloz/ZnO nanokompozitlerinin antibakteriyel aktivitesinin gram-pozitif (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*) ve gram-negatif (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*) bakterilerine karşı test edildiği bir çalışmada, değişiklik yapılmamış bakteriyel selülozun, test edilmiş bakteri suşlarında herhangi bir inhibisyon göstermediği, buna karşılık bakteriyel selüloz/ZnO nanokompozitlerinin tüm suşlara karşı önemli bakterisidal etki gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca nanokompozit filmlerin gram-pozitif bakteriler üzerinde, özellikle *B. subtilis* üzerinde, gram-negatif bakterilerden, özellikle *P. aeruginosa*'dan daha güçlü bir etki ortaya koyduğu ve bunun nedeninin

mikrobiyal hücre duvarının doğası gereği farklı hassasiyetlerin oluşması olarak açıklanmıştır (Wahid vd., 2019).

Saedi ve ark. (2021), rejenere selüloz ve çinko oksit nanopartikülleri (ZnONP) kullanarak yarı şeffaf antimikrobiyal nanokompozit film geliştirmiş ve ZnONP'nin ağırlıkça% 3'ünün eklenmesinin, patojenik gıda kaynaklı gram-pozitif (*B. cereus*, *S. aureus* ve *Listeria monocytogenes*) ve gram-negatif (*E. coli*, *Salmonella typhimurium* ve *Vibrio parahaemolyticus*) bakterilerin büyümesini etkili bir şekilde inhibe edebileceğini göstermiştir. Gram-negatif bakteriler, daha ince bir hücre duvar tabakasına sahip oldukları için ZnONP'ye karşı daha yüksek hassasiyet gösterirler. Çok katmanlı bir peptidoglikandan oluşan gram-pozitif bakterilerin daha kalın hücre duvarı, ZnONP'ye karşı daha yüksek direncin nedeni olabilir.

Sulu jelatin çözeltileri ile farklı konsantrasyonlarda gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) kullanılarak nanokompozit filmler hazırlanmıştır. AgNP'lerin konsantrasyonundaki artış, patojenlere karşı daha yüksek inhibisyon sağlamıştır. Gram negatif *S. typhimurium*'un AgNP'lere daha duyarlı olduğu, ardından gram-pozitif *B. cereus* ve *S. aureus*'un izlediği ve *L. monocytogenes* ve *E.coli* gibi patojenlerin, jelatin filmlerdeki AgNP'lere karşı daha az hassas olduğunu belirtilmiştir (Kanmani ve Rhim, 2014).



Şekil 7. Nanoparçacıklarının antimikrobiyal aktivitelerinin potansiyel mekanizmaları (Jamróz vd., 2019).

### 1.3.Şellak

Şellak, Hindistan, Tayland, Myanmar ve Çin'in güney bölgesinde yaygın olarak bazı özel ağaç türlerinde parazitik olarak yetişen lak böceği *Kerria lacca* tarafından salgılanan hayvansal kökenli doğal bir polimerdir ve poliesterin sert reçinesi ve yumuşak reçinesinden ve aleuritik asit, jalarik asit ve laksijalarik asit gibi polihidroksipolibazik asitlerle tek esterden oluşmaktadır (Luangtana-Anan ve Limmatvapirat, 2019; Wang vd., 1999).

#### 1.3.1. Tarihçe

5000 yılı aşkın pratik geçmişi ile şellak, metalurji, boyama, gıda ve tıp dahil olmak üzere çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Ahuja ve Rastogi, 2023; Yuan vd., 2021a).

Üç bin yıl önce “Laksha” olarak bilinen şellak, 11. yüzyılda sanatçılar için boya maddesi pigmenti kaynağı olarak, 16.yy'da kason ve mühürleme mumları için bir vernik olarak ve 20.yy da gramofon üretimi için kullanılmıştır (Ahuja ve Rastogi, 2023). Ancak son yirmi yılda, şellak enterik kaplama amaçları için sulu bir çözelti olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır ve amonyum tuzu tipik olarak kullanılan formudur (Al-Gousous vd., 2015).

Başlangıçta, özel pigmentler de içeren ağartılmamış şellak, esas olarak ipek boyamada ve iyi sünekliği, yalıtımı, yapışması ve bariyer özellikleri nedeniyle sanat eserlerini, metal cihazları ve askeri ürünleri kaplamak için kullanılmıştır (Yuan vd., 2021a). Lak kelimesi, Sanskritçe 100.000 anlamına gelen “laksha” kelimesinden türetilmiştir. 1 Kg bitmiş şellak ürünü üretmek için tahminen 50.000 böcek gerekmektedir (Derry, 2012). Ticari şellak balmumu sert, kahverengidir ve harika parlama özelliğine sahiptir. Bu reçine, kaplama malzemeleri için kullanılan en eski bileşenlerden biridir. Alkol ve alkali çözeltilerde çözünmektedir (Milani ve Nemati, 2022).

*Kerria lacca* böcek gözenekleri arasından, lak adı verilen koruyucu bir örtünün içinde sertleşmiş zamklı bir madde çıkartılır. Bu lak maddesi toplanır, ezilir, yıkanır ve kurutulur (Küçüköner, 2020). Lak böcekleri, bu konakçı bitkilerin hassas sürgünlerine yerleşir, özsularıyla beslenir ve yaşam döngülerini tamamlarlar; bu sırada dişi böcekler, lak

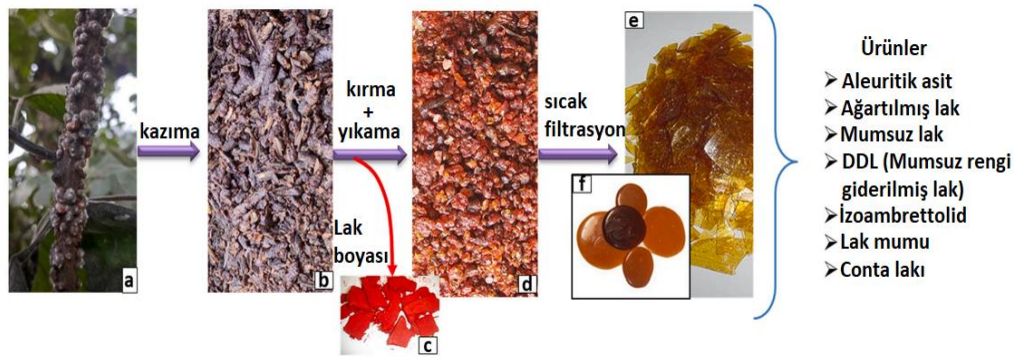
mahsulü olarak hasat edilen vücutlarının etrafına reçineli bir koruyucu kaplama salgırlar (Thombare vd., 2022). Şellağın rengi, aralarında birçok kahverengi, sarı, turuncu ve kırmızı çeşidi bulunan son derece açık sarıdan son derece koyu kahverengiye kadar değışmektedir (Yuan vd., 2021a).

12. yüzyıldan 16. yüzyıla kadar olan tarihi kayıtlarda lakın, Çin, Avrupa ve Hindistan'da kamu binalarını süslemek, limon ve portakalları mumlamak, mobilyaları bitirmek, ahşap parlatma ve kırık çanak çömlek ve mücevherleri onarmak, kırmızı renkli boya ve dekoratif kaplamaların kaynağı olarak kullanıldığını göstermektedir. Günümüzde ise geçim kaynağı orman ürünlerine bağılı olan insanlar için iyi bir gelir kaynağıdır (Thombare vd., 2022).

Farmasötik ürünlerin sızdırmazlığı, parlatılması ve enterik kaplaması için gıda endüstrisinde yenilebilir bir kaplama olarak uygulanan, tüketilen tüm şellakların %50'si ağartılmış laktır ve mekanize üretim birimleri, kimyasal bilgi ve geri kazanım yetenekleri dahil olmak üzere modern işleme yöntemlerini gerektirmektedir (Derry, 2012; Limmatvapirat vd., 2004).

Bu hammaddeler arasında, hayvansal kökenli farmasötik olarak kullanılan tek reçine olan şellak, pH duyarlılığı, biyoyumluluğı ve parçalanabilirliği nedeniyle çeşitli dağıtım sistemlerinin geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle, şellak, hidrofobik aktif maddelerin kapsüllenmesinde, polisakkaritler ve proteinler gibi diğere doğal polimerlerden daha iyi performans göstermektedir. Ek olarak, hidrofilik ve hidrofobik aktif maddelerin birlikte dağıtımı için özel olarak tasarlanmış şellak bazlı dağıtım sistemleri de kullanılabilir. Şellak en yaygın olarak oral uygulama için kullanılır, çünkü şellak bazlı dağıtım sistemleri, hidrofobik etkileşim yoluyla kompakt bir yapı oluşturabilir ve taşınan aktif maddeleri ince bağırsakta veya kolonda hedeflenen doğumu sağlamak için midenin sert ortamından koruyabilmektedir (Yuan vd., 2021a). Şellak, alkali pH'ta çözünürlüğü nedeniyle enterik özellikler için bir kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır ve asit üreten midemizden ziyade alkali olan bağırsağımızda çözünmektedir (Ahuja ve Rastogi, 2023).





Şekil 8. Şellak imalatı: (a) Konukçu bitki üzerindeki lak, (b) Kazınmış lak, (c) Lak boyası, (d) Seedlac, (e) Şellak ve (f) Düğme lakı ve laktan elde edilen diğer ürünler (katma değerli) (Thombare vd., 2022).

### 1.3.2. Lak Formları

#### Sticklac (Ham lak)

Larva formunda, dantel böcekleri hayatta kalmak için konakçı ağacın veya bitkinin yumuşak sürgünlerinin üzerine taşınmaktadır. İki ila üç gün boyunca, özsuya ulaşmak için hortumlarını ağaçlara yerleştirirler. Lak böceği daha sonra hayatta kalmak ve döngüsünü tamamlamak için ağaç özsuyunu emmektedir. Bu arada, erkek böcek hücrelerinden çıkar ve dişi böcek ağaçlarda yaşamaya devam eder. Ağaçlara daha uzun süre yapışmak için, dişi dantel böceği, vücudunun etrafında koruyucu bir kaplama olarak reçineli bir bileşik üretmektedir. Erkek böcek dişileri döllenir ve birkaç gün içinde ölür. Döllenmiş dişi reçineli bileşiği salgılamaya devam eder ve 200-500 larva üretmektedir (Ahuja ve Rastogi, 2023).

Dallar laklık konakçı ağaçlardan kesildikten sonra, bir bıçak, orak veya bir lak kazıyıcı yardımıyla lakın kabuklanması onlardan çıkarılır. Bu ham lak, reçine, kaplanmış böcek gövdesi, balmumu, dantel boyası ve diğer safsızlıkları içerir. Kalitesi, larva ortaya çıkmadan önce veya sonra hasat edilmesi, aldığı iklim, kullanılan konakçı ağaç ve kurutma veya depolama için kullanılan yöntem gibi birçok faktöre bağlıdır. Çok fazla nem içerdiğinden, açık havada uygun şekilde kurutulması veya saklanması gerekmektedir (Thombare vd., 2022).

#### Seedlac

Sticklac yaklaşık %30-40 safsızlık içerir ve kırma, yıkama, kurutma, temizleme ve sınıflandırma gibi çeşitli işlemlerin yardımıyla safsızlıkları gidermek için işlenmektedir (Ahuja ve Rastogi, 2023; Thombare vd., 2022). Sticklac ezilir, kumu ve diğer safsızlıkları temizlemek için ince bir elek yardımıyla elenir ve daha sonra suyla yıkanmaktadır. Dallar, odun yongaları, ezilmemiş dantel hücreleri ve diğer malzemeler su üzerinde yüzer ve kolayca ayrılabilir (Thombare vd., 2022). Altta yerleşen lak, şellak üretmek için kullanılacak olan Seedlac olarak adlandırılır (Ahuja ve Rastogi, 2023).

### **Buttonlac**

Seedlac'ta bulunan safsızlık, bir fırın (*Bhatta*) kullanılarak sıcak filtrasyon ile giderilir. Filtrelenmiş erimiş seedlac reçinesi, galvanizli demir gibi pürüzsüz metal levhalar üzerine küçük miktarlarda damlatılır ve 6 ila 7,5 cm çapında ve yaklaşık 0,5 cm kalınlığında bir disk veya düğme olarak katılaşmasına izin verilmektedir (Thombare vd., 2022).

### **Şellak**

Seedlac, termal ve çözücü ekstraksiyonu kullanılarak şellak'a dönüştürülebilmektedir (Ahuja ve Rastogi, 2023).

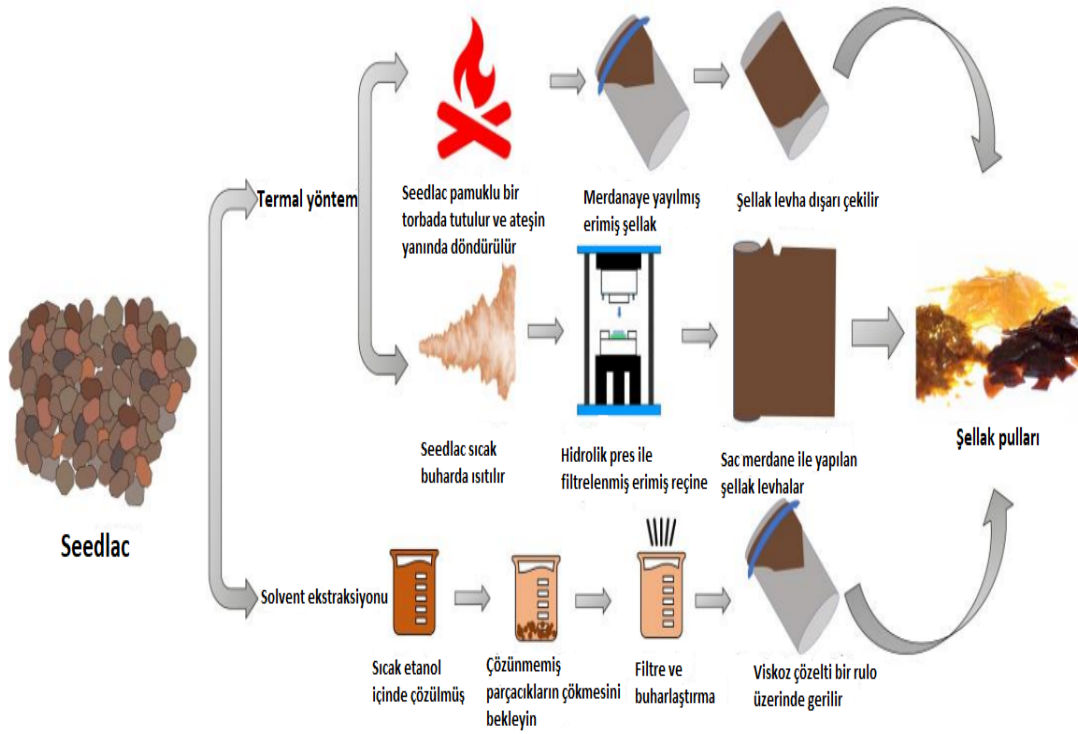
### **Termal İşlem**

Seedlac büyük bir pamuklu torbaya yerleştirilir ve her taraftan eşit şekilde ısıtmak için kömür ateşiyle ısıtılır. Lak reçinesi eritilir, torbadan sıkılır ve torbanın yüzeyinden sıyrılır. Daha sonra lakı erimiş halde tutmak için sıcak suya konur ve ince tabakalara dağıtılır. Endüstrilerde, Seedlac ısıtılmış buharla eritilir ve erimiş lak, filtreden hidrolik pres yardımıyla preslenir. Bu filtrelenmiş dantel daha sonra sac silindirler yardımıyla uzun tabakalar halinde gerilmektedir (Ahuja ve Rastogi, 2023).

Seedlac eritildikten sonra, yüksek viskoziteli erimiş lak, bir filtreden geçirilir ve bir rulo bant üzerinde ince bir filme çekilir. Soğuduktan sonra, film küçük pullara kırılır. Şellak balmumu çıkarılamaz ve renk kullanılan seedlac'a bağlıdır. Bu reçine esas olarak teknik uygulamalar için kullanılmaktadır (Buch vd., 2009).

### Solvent Ekstraksiyon İşlemi

Seedlac etanol içinde çözülür. Mumlar ve safsızlıklar filtrasyon ile giderilir. Açık renkli kaliteler için, aktif karbon ile işlenerek renk giderilir. İkinci bir filtrasyon adımı ve alkolün uzaklaştırılmasından sonra, reçine ince bir filme çekilir ve soğuduktan sonra pullara ayrılır. Solvent ekstraksiyonu, şellak rafine etmek için çok hassas bir işlemdir. Bununla birlikte, aktif karbon tipi ve işleme parametreleri nihai ürünün özelliklerini etkilemektedir (Ahuja ve Rastogi, 2023).



Şekil 9. Şellak'ın Seedlac'tan termal ve solvent yöntemleri ile çeşitli üretim yöntemleri (Ahuja ve Rastogi, 2023).

Şellak, tipik olarak, şellak reçinesi, ana asit bileşenlerinin aleuritik, jalarik ve laktalik asitler olduğu hidroksi-alifatik ve sesquiterpenoid asitlerin (döngüsel terpene asit) polyeşter ve tek eşterlerinin karmaşık bir karışımıdır (Bar ve Bianco-Peled, 2021).

### 1.3.3. Şellak'ın Kimyasal Yapısı

Şellak'ın kimyasal bileşimi, özellikleri ve rengi malzemenin kaynağına (böcekler, konakçı ağaçlar) ve rafine etmek için kullanılan işleme (ham çubuk laktan renklendirici malzemeleri ve mumları çıkarmak için uygulanan saflaştırma prosedürlerine) bağılıdır (Bar ve Bianco-Peled, 2021; Buch vd., 2009; Timar ve Beldean, 2022).

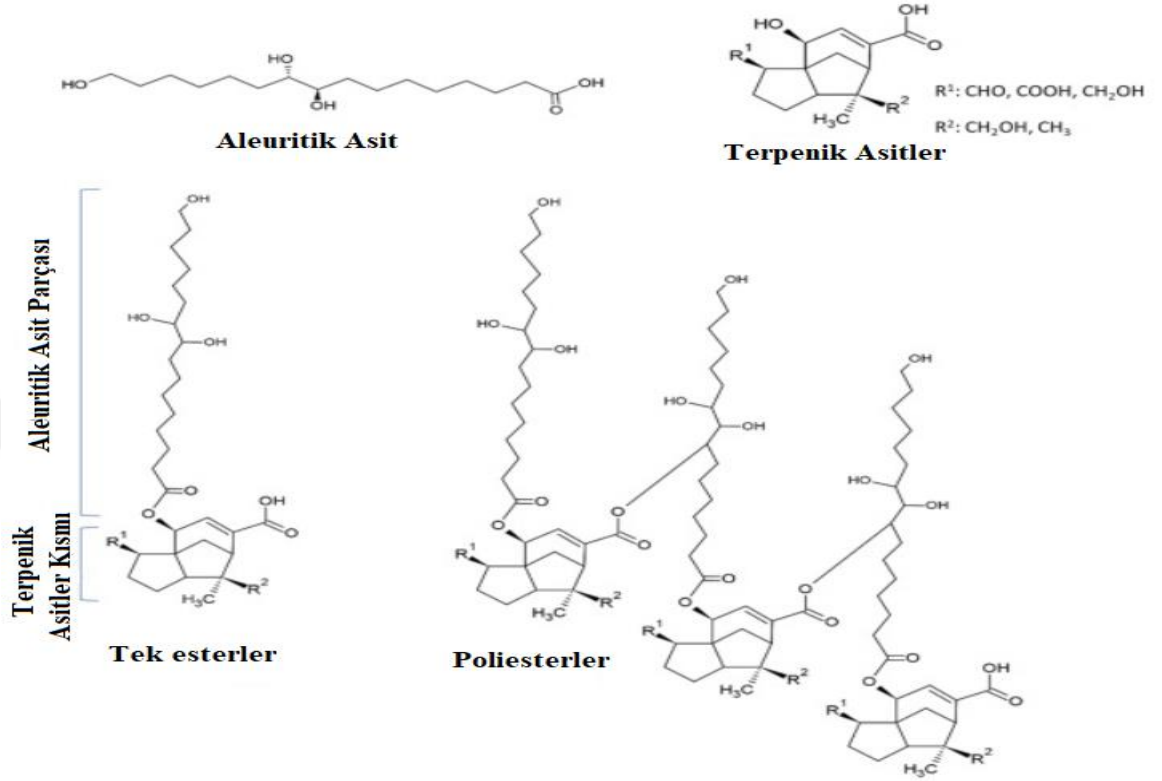
Tablo 4

Sticklac, seedlac ve şellak bileşenleri (Ahuja ve Rastogi, 2023)

| Bileşen              | Sticklac | Seedlac | Şellak |
|----------------------|----------|---------|--------|
| Reçine (%)           | 68,0     | 88,5    | 90,9   |
| Boya (%)             | 10,0     | 2,5     | 0,5    |
| Balmumu (%)          | 6,0      | 4,5     | 4,0    |
| Gluten (%)           | 5,5      | 2,0     | 2,8    |
| Yabancı cisimler (%) | 6,5      |         |        |
| Kirlilikler (%)      | 4,0      | 2,5     | 1,8    |

Şellak'ın alifatik asit bileşenlerinden en bol bulunan üyesi aleuritik asittir (yaklaşık %35) ancak jalarik asit, yaklaşık %25 pay ile terpenik asitlerin en önemli üyesidir. İzole edilen diğer asitler butolik (~%8), şelloik-epikabukolik ve laksijalarik (~%8) asitlerdir (Sharma vd., 1983). Kimyasal olarak, şellak hidroksi yağ asitleri (bunların en büyüğü aleuritik asittir) ile eşterleştirilmiş sesquiterpenoid asitlerden (bunların en büyüğü aleuritik asittir) oluşan polyeşterlerin bir karışımıdır (Wang vd., 1999). Şellak, hidroksil ve karboksil

içeren polyesterlerin ve tek esterlerin karmaşık bir karışımı olarak bildirilmiştir (Luangtana-Anan vd., 2010).



Şekil 10. Şellak kimyasal yapısı (Bar ve Bianco-Peled, 2021).

Sert ve yumuşak reçinenin bir kombinasyonuna sahip kompozit bir makromolekül olan şellak, renklendirici madde (%0,5-1.0), kokulu prensipler, balmumu (%4,5-5,5), reçine (%90-94), nem (%1-2), böcek kalıntıları ve diğer yabancı maddeler (%0,5-4) ile ilişkilidir (Thombare vd., 2022). Soğuk ortamda kokusuz iken ısıtıldığında kokmaktadır (Timar ve Beldean, 2022).

### 1.3.4. Şellak Kimyasal Özellikleri

pH 7'den küçük olan çözeltilerde, şellak iyonize edilemez, bu nedenle katı halde bulunmaktadır. pH 7'den fazla olan çözeltilerde ise şellak tuzları oluşturmak için çözülmemektedir. Şellaktaki bu pH'a bağlı değişiklikler, insan sindirim sisteminin pH ortamı tarafından desteklenebilir (mide, ince bağırsak ve kalın bağırsak dikkate alınarak); bu

nedenle, şellak kolona yönelik dağıtım sistemleri için doğal bir avantajlara sahiptir (Yuan vd., 2021a).

### **Çözünürlük**

Yapılan çalışmalarda, şellak için en iyi çözücülerin alkol, organik asit ve ketonların olduğu; şellağın suda, gliserinde, hidrokarbon çözücülerde ve esterlerde çözünmediği ve çok düşük su ve asit geçirgenliğine sahip olduğu tespit edilmiştir (Luangtana-Anan vd., 2007; Timar ve Beldean 2022; Yuan vd., 2021a). Şellak, düşük pH'ta suda çözünmez ve yüksek pH'ta suda çözünür olduğundan, genellikle enterik kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır (Pearnchob vd., 2003). Şellak, 7'nin altındaki pH'ta çözelti içinde çözünmemektedir. İnce bağırsağın proksimal bölgesindeki pH değeri 3,8 ile 6,9 arasında olduğundan, şellak kaplı tabletin parçalanamaması hala en büyük sorundur (Limmatvapirat vd., 2004). Şellak bazlı dağıtım sistemleri, taşınan etken maddeyi midenin sert ortamından korur ve ince veya kalın bağırsakta istenilen etkiyi sağlayabilmektedir (Yuan vd., 2021b).

Tablo 5

Şellak'ın çeşitli organik çözücülerde çözünürlüğü (Thombare vd., 2022).

| Şellak'ın Çözünürlüğü        | Çözücü   |
|------------------------------|--|
| <b>Yüksek oranda çözünür</b> | Pridin asetaldehit, asetik asit, Amil alkol, izobütil alkol, n-bütil alkol, s-bütil alkol, ter-bütil alkol, izobütil karbinol, sek-bütil karbinol, dietil karbinol,diaseton alkol, dietilen glikol, dietilen glikol bütil eter, dietilen glikol etil eter,dietilen metil eter,etil alkol(susuz), etil alkol (%95), etil laktat,etilen glikol bütil eter, etilen glikol etil eter,etilen glikol metil eter, formik asit(%85), fusel yağı(rafine), metil alkol, propilen alkol+etil eter(karışım), propilen glikol+metil eter(karışım), propilen glikol,mesitil oksit,monometil anilin |
| <b>Oldukça çözünür</b>       | Aseton, asetofenon, bütirik asit, sikloheksan, dimetil etil karbinol, etil asetat (%85), etil metil keton, etil oksibütirat, etilen glikol etil eter(ticari), laktik asit, propilen glikol   |
| <b>Az çözünür</b>            | n-bütil asetat (%85), sitronellol dietil eter, etil asetoaseton, geraniyol   |
| <b>Çözünmez</b>              | Amil asetat, amil klorür, benzen, bromo benzen, bütir aldehit, n-bütil asetat saf, izobütil propiyonat, karbon disülfid, karbon tetraklorür, kloroform, dibütil ftalat, dietil anilin, dietil karbonat, dietil ftalat, dimetil anilin, etil asetat(saf), etil oksalat, etil sülfat, etilen diklorür, etilen glikol, etilen glikol etil eter asetat(damıtılmış), gliserol, palmitik asit, petrol eteri, toluen, ksilen, nitrobenzen   |
| <b>Şişme</b>                 | Kloroform, etilen diklorür, toluen, ksilen, nitrobenzen  |

## **Yumuşama ve Erime Noktaları**

Şellak'ın cam geçiş sıcaklığı 38–40 °C aralığındadır, bu da onu oda sıcaklığında kırılğan ve 65–70 °C'de, 75–85 °C'lik erime noktasına yakın sıcaklıklarda yumuşak hale getirmektedir (Ahuja ve Rastogi, 2023).

## **Özgül Ağırlık**

15 °C'deki sıcaklıktaki şellağın özgül ağırlık değerleri 1.035 ile 1.114 aralığında bulunmuştur (Thombare vd., 2022).

## **Asit Değeri ve Sabunlaşma Değeri**

Şellak'ın asit değeri bazı araştırmacılar tarafından 60-65 olarak bildirilmesine rağmen bazı araştırmacılar asit değerini 65-75 ve sabunlaşma değerini 220-230 olarak belirtmiştir. Bu da daha düşük yağ asitlerine ve moleküler ağırlığa sahip olduğunu göstermektedir (Ahuja ve Rastogi, 2023; Sharma vd., 1983; Thombare vd., 2022).

## **Baz ve İyot Değeri**

Saf reçine şellak 2 baza sahipken yumuşak reçine şellak 1 baza sahiptir (Thombare vd., 2022). Wiji'nin yöntemine göre sert reçine, şellakın 11-13'ine kıyasla 14-18'lük bir iyot değerine sahipken yumuşak reçine 50-55 iyot değerine sahiptir (Sarkar ve Shrivastava, 1997).



Tablo 6

Şellak'ın fiziksel, elektriksel ve kimyasal özellikleri (Thombare vd., 2022).

| Fiziksel Özellikler        |   | Elektriksel Özellikler          |                             | Kimyasal Özellikler                            |                                | Termal ve Mekanik Özellikler                        |            |
|----------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------|--|--------------------------------|---|------------|
| Özgül ağırlık              | 1.14–1.2  | Dielektrik sabiti (30 °C)       | 2.73- 3.91                  | Asit değeri                                    | 65–75                          | Yumuşama sıcaklığı                                  | 65–70 °C   |
| Kırılma indisi             | 1.521–1.527   | Dağılım faktörü (30 °C, 50 Hz)  | 0.0051                      | Saponifikasyon değeri                          | 220–230                        | Erime sıcaklığı                                     | 77–90 °C   |
| 10–40 °C'de özgül ısı      | 0,36–0,38 Cal/cm.°C   | Dielektrik kaybı (30 °C, 50 Hz) | 0.026                       | Ester değeri                                   | 155–165                        | Cam geçiş sıcaklığı                                 | 38–40 °C   |
| 45–50 °C'de özgül ısı      | 0,3- 0,6 Cal/g.°C   | Dielektrik dayanımı (kV/mm)     | 14- 40                      | Hidroksil sayısı                               | 250–280                        | 150 °C'de polimerizasyon süresi / Isı altında yaşam | 30–120 dk  |
| Eriyik viskozitesi (Poise) | 22.505 (@80 °C)2154 (@95 °C)                                      | Hacim direnci (Ohm cm)          | 1.2- 262 × 10 <sup>13</sup> | İyot sayısı                                    | 14–18 (Wij's)8–12 (Hubl's)     | Depolama modülü (MPa)                               | 0.001- 0.1 |
| Isı iletkenliği (@30 °C)   | 0,0024- 0,0025 (G/cm.°C)  | Yüzey direnci (Ohm cm)          | 0,4- 175 x 10 <sup>13</sup> | Karbonil değeri                                | 7.8–27.5 (Sod. Sülfid yöntemi) | 20 °C'de nihai çekme dayanımı (MPa)                 | 10-14      |
| Moleküler ağırlık          | 2000–2210(Sert reçine)500–550(Yumuşak reçine)1000–1006 (Ortalama) | Tiyosiyanojen sayısı            | 18 – 20                     | Etanol çözeltisinde absorpsiyon maksimumu (nm) | 225, 285, 425                  | Aşınma direnci (kum)                                | 110        |
| Akış (ASTM)                | 45–100 mm   | Optik döndürme                  | + 54 ila + 64               | IR tepe pozisyonları (cm <sup>-1</sup> )       | 3448(-OH)1680(-COOH)725(-C=C-) | Çizilme sertliği (bakır üzerine 1 mm bilye)         | 4,5–5,5 kg |

### 1.3.5. Şellak Yenilebilir Film Endüstrisinde Uygulamaları

Şellak, özellikle Hindistan, Burma, Tayland ve Çin'in güneyindeki bazı ağaçlarda asalak olan *Laccifer lacca* adlı bir böceğin salgıladığı reçinemsî bir maddeden saflaştırılan doğal bir polimerdir. Yapısal olarak şellak, esas olarak oksiasit polyesterlerden oluşan düşük moleküler ağırlıklı bir reçinedir. Oksiasitler, sırasıyla şellağın hidrofobik ve hidrofilik bileşenlerini oluşturan, ester bağlarıyla bağlanan alöritik asitlere ve siklik terpen asitlerine ayrılır. Bu nedenle şellak, diğer doğal polimerlerin biyobozunurluğu ve biyoyuumluluğuna kıyasla mükemmel amfifiliklik sergileme avantajına sahiptir (Yuan vd., 2021).

Hayvan bazlı bir reçine olarak doğal özelliklere, iyi biyoyuumluluk ve biyolojik olarak parçalanabilirliğe sahip olması, iyi film oluşturabilme, pH cevap verebilirliği hem hidrofobik hem de hidrofilik yapısıyla gıdada iyi bir proses materyali olma özelliği bulunmaktadır (Li vd., 2022; Yuan vd., 2021a). Ancak şellak doğada kırılğan halde bulunmasından dolayı iyi film oluşturma özelliklerine sahip değildir (Pearnchob vd., 2003).

Lak böceğinin kullandığı ağacın türüne göre şellakın moleküler ağırlığı değişmektedir (Ahuja ve Rastogi, 2023). Şellaktaki sert reçinenin moleküler ağırlığı 2000 ile 2210 iken yumuşak reçinenin moleküler ağırlığı 500 ile 550'dir (Thombare vd., 2022). Şellak'ın yaklaşık %70'i sert reçinedir ve geri kalanı yumuşak reçinedir. Şellak'ın ortalama moleküler ağırlığı 1000 ile 1006 arasındadır ve bu da şellakı reçine kategorisine sokmaktadır (Ahuja ve Rastogi, 2023; Sharma vd., 1983).

Amfifilik bir biyomakromolekül olan ve esas olarak oksiasit poliesterlerden oluşan, amfifiliklik ve pH duyarlılığı özelliği nedeniyle çeşitli segmentlerde yaygın olarak kullanılan şellak, gıdalarda gıda kaplaması, biyolojik olarak parçalanabilen filmler, gıda mumlarının imalatı, dağıtım sistemleri (kaplanmış taşıyıcılar, mikrokapsüller, nanopartiküller ve mikropartiküller) ve bir yağ jelleştirme maddesi olarak gıdaların hazırlanmasında kullanılmaktadır (Zabot vd., 2022). Şellak alkol ve organik asitlerde çözünürken suda, gliserinde, hidrokarbon çözücülerde ve esterlerde çözünmez (Yuan vd., 2021). Şellak, toksik olmaması, termoplastik davranışı, yağ direnci ve mükemmel nem bariyeri özellikleri nedeniyle ilaç ve gıda endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İyi bir yapışkan

yüzeve sahiptir ve düşük toksisiteli solventlerde çözülebilmektedir (Yuan vd., 2021). Şellak'ın film oluşturmada mükemmel parlaklık, düşük gaz geçirgenliği ve nem transferini önleme yeteneği gibi özellikleri göz önüne alındığında, nanokapsül duvar malzemesi olarak ilginç özelliklere sahiptir (Muhammad vd., 2020). Küçük açılı X ışını saçılımı ve yüksek çözünürlüklü elektron mikroskopi deneyleri, şellakta benzersiz bir çift sürekli nanoyapı ortaya çıkarmıştır (Bar ve Bianco-Peled, 2021).

Şellak, Avrupa Birliği (AB) tarafından E904 numarası ile gıda katkı maddesi olarak gıdalarda kullanımına izin verilen bir üründür ve ayrıca FDA'dan GRAS statüsü almıştır (Bar ve Bianco-Peled, 2021; Srivastava ve Thombare, 2017).

Doğal şellak özlerinin koyu kahverengi rengi olması şellak uygulamasını sınırlar. Bazı alanlarda renk giderici maddeler kullanılarak renk giderme (ağartma) işlemi uygulanmaktadır. Benzersiz yapısı ve özellikleri nedeniyle şellak, gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şellak, gıda mumları, gıda kaplamaları ve biyolojik olarak parçalanabilen filmlerin üretimi için hammaddeler dahil olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahiptir. Gıda köpürtücü ajan, yağ jelleştirici ajan ve gıda emülgatörü olarak da kullanılmaktadır (Yuan vd., 2021).

Koruyucu mumların kullanımı, bazı meyve ve sebzelerin kalitelerini korumak ve raf ömürlerini uzatmak için kullanılan etkili bir hasat sonrası tekniğidir. Bu mumların meyve ve sebzeler üzerindeki koruyucu etkileri göz önüne alındığında gaz iletim hızını azaltmakta, dışarıdan gelecek mekanik hasarı önlemekte ve meyve-sebzeleri mikroorganizma saldırısından korumaktadır. Şellak bazlı yenilebilir kaplamalar, uygulanan gıda ürünlerinin kalitesini artırarak raf ömürlerini uzatmaktadır (Yuan vd., 2021).

Şellak mumunun etkileri üzerine yapılan araştırmalarda, taze elmaların renk ve azaltılmış ağırlık kaybı üzerinde gerçekleştirilmiş ve iyileştirilmiş sonuçlar ortaya koyulmuştur. Ticari mumun (polietilen-şellak) mandalinaların iç atmosferini değiştirerek (O<sub>2</sub>'yi %4'ün altında düşürür) solunum hızını düşürdüğü, ağırlık ve sertlik kayıplarını azalttığı tespit edilmiştir (Nishimune vd., 2002).

Stearik asit ve laurik asit olmak üzere iki emülgatör varlığında şellak, geliştirilmiş özelliklere sahip bir kompozit film oluşturmak üzere hidroksipropil metilselüloza başarıyla eklenmiştir (Yuan vd., 2021).

Tablo 7

Türk Gıda Kodeksi Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliği'ne göre gıdalarda kullanımına izin verilen şellak miktarı

| Gıda Maddesi  | Sınırlamalar/istisnalar | Limit değer (mg/kg veya mg/l)   |
|---|-------------------------|---|
| Bütün haldeki taze meyve ve sebzeler.   | Quantum satis*          | Sadece turunçgil meyvesi kavun,elma,armut,şeftali,ananas, nar,mango,avocado ve papayanın yüzey uygulamaları ve sert kabuklu meyvelerde parlaticı olarak |
| Diğer şekerlemeler, nefes tazeleyici minik şekerlemeler dahil.                      | Quantum satis*          | Sadece parlaticı olarak   |
| Sakız.  | Quantum satis*          | Sadece parlaticı olarak   |
| Süslemeler, kaplamalar ve dolgular, kategori 4.2.4 kapsamında yer alan meyve bazlı. | Quantum satis*          | Sadece parlaticı olarak   |
| Hafif fırıncılık ürünleri.  | Quantum satis*          | Sadece çikolata kaplı küçük hafif fırıncılık ürünlerinde parlaticı olarak   |
| İşlenmiş yumurta ve yumurta ürünleri.   | Quantum satis*          | Sadece soyulmamış haşlanmış yumurtaların yüzeyinde  |

Tablo 7'nin devamı

|   |                |  |
|---|----------------|--|
| Kapsüller ve tabletler<br>ve benzeri ürünleri<br>içeren katı formdaki<br>takviye edici gıdalar,<br>çiğnenebilir formda<br>olanlar hariç.                                      | Quantum satis* |  |
| Şurup tipi veya<br>çiğnenebilir formdaki<br>takviye edici gıdalar.  | Quantum satis* |  |
| TGK - Kakao ve Kakao<br>Ürünleri Tebliği"<br>kapsamında yer alan<br>kakao ile "TGK-<br>Çikolata ve Çikolata<br>Ürünleri Tebliği"<br>kapsamında yer alan<br>çikolata ürünleri. | Quantum satis* | Sadece parlaticı olarak                        |
| Kahve, kahve<br>ekstraktları.   | Quantum satis* | Sadece kahve çekirdekleri,<br>parlaticı olarak |
| Patates-tahıl-un-veya<br>nişasta-bazlı<br>atıştırma malzemeleri.  | Quantum satis* | Sadece parlaticı olarak                        |
| İşlenmiş sert kabuklu<br>meyveler.  | Quantum satis* | Sadece parlaticı olarak                        |

**\*Quantum Satis:** Herhangi bir sayısal maksimum değerinin belirlenmediği ancak hedeflenen amacı sağlamak için gerekli olan miktardan daha yüksek olmayan bir miktar

Yumurtaların raf ömrünü artırmak ve iç kalitesini korumak için çeşitli yöntemler geliştirilmektedir. Yenilebilir kaplamalar, kütle transferi (nem, O<sub>2</sub>) ve oksidasyon süreçlerini kontrol ederek birçok ürüne uygulanabilen basit, ucuz, biyoyumlu bir teknolojidir. Bu

sebeple yumurtaların yenilebilir filmlerle kaplanması, depolama sırasında yumurtanın kalitesinin korunması sağlamaktadır (Silva Pires vd., 2020).

Mükemmel koruma, parlak yüzey oluşturan ve iyi bir film oluşturma özelliğine sahip olan şellak, ürünlerinin kaplanmasında tercih edilen bir polimerdir. Bu nedenle gıda ürünlerinde şellak kaplamanın optimizasyonu, gıdaların kalite ve raf ömrünü artırmak ve pazanabilirliklerini sağlamak açısından önemlidir (Yuan vd., 2021).

### **Kaplama Olarak Şellak Kullanımının Dezavantajları**

Şellak'ın polimerizasyon ve zayıf mekanik özellikleri gibi temel problemleri nedeniyle birçok alanda kullanımı reddedilmiş olup araştırmacılar bu sorunlar üzerine yoğunlaşmışlardır (Luangtana-anan ve Limmatvapirat, 2019).

Şellak'ın bir dezavantajı, zamanla sertleşmesidir. Bununla birlikte, zamanla kırılabilirlik göstermesi, kendi kendine esterleşmesi, turuncu ve kahverengi renkleri nedeniyle düşük şeffaflığı, alkali veya asidik ortamda çözünmesi ve ambalaj uygulamasında kullanımını sınırlayan organik çözücüler şellağın kullanımını sınırlayan faktörler arasındadır (Ahuja ve Rastogi, 2023).

Şellak, yüksek nemde bile, asla yapışkan veya opak hale gelmezken nişasta bazlı kaplamalar parlaklıklarını kaybetmektedir. Şellak kaplamanın dezavantajları arasında etanol gibi bir çözücü gerektirmesidir. Şekerin yüzeyindeki etanol havaya maruz kalarak uzaklaşsa bile bir kısmı kalabilir ve bu da depolama sırasında ürünün kalitesinde sorunlara neden olabilmektedir (Milani ve Nemati, 2022). Başka bir yaklaşım ise, farklı sıcaklık ve sürelerde bir tavlama işlemiyle şellak ftalat oluşumudur. Tavlama sıcaklığı ve süresi, şellak ve ftalat parçasının hidroksil grupları arasındaki esterleşme sürecini etkilemektedir (Luangtana-anan ve Limmatvapirat, 2019).

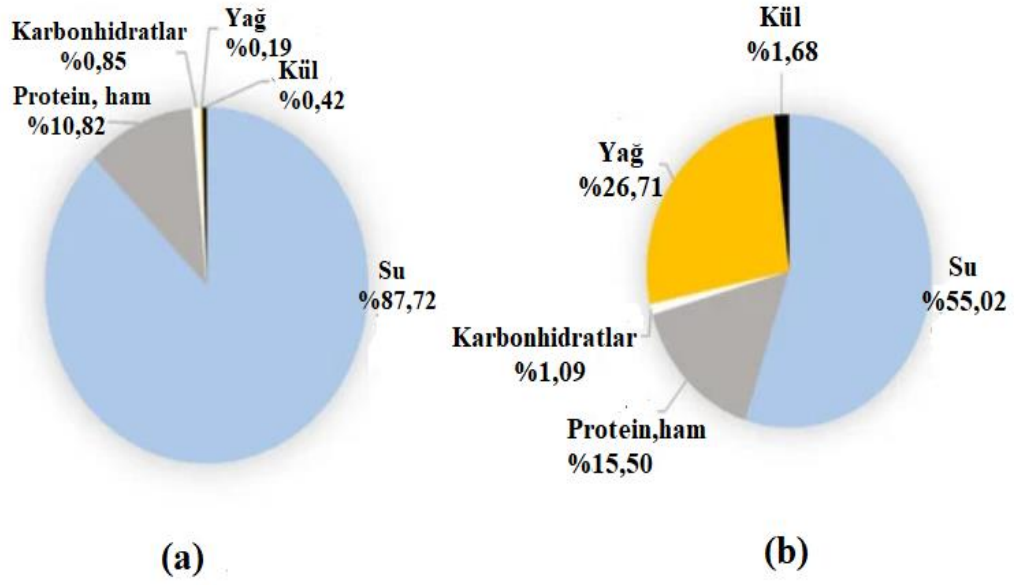
Şellak'ın bir kaplama olarak birçok avantajı olmasına rağmen, polimerizasyon ve zayıf mekanik özellikler gibi temel problemler nedeniyle birçok endüstride şellak kullanımı yaygın değildir. Plastikleştiricilerin uygulanması, polyester zincirlerinin hassas gruplarını korumaya yönelik başka bir yaklaşımdır ve birçok çalışmada araştırılmıştır. Plastikleştirici

bir etkiye sahip olarak; Polietilen glikol, gliserol, sorbitol, trietil asetat, dibütül ftalat, dietil ftalat, propilen glikol gibi çeşitli plastikleştiriciler kullanılmıştır. Genel olarak, plastikleştiricilerin etkisi şellağın mekanik özellik açısından polimer özelliklerini iyileştirmektedir (Luangtana-anan ve Limmatvapirat, 2019).

#### **1.4. Yumurta**

Yumurta, modern insan diyetinin önemli ve ayrılmaz bir parçası, kolay bulunabilen, düşük maliyetli, tüketiciler tarafından temel besin maddelerinin dengesi ile çok yönlü, sağlıklı ve güvenilir bir gıda olarak tanınmaktadır (Chousalkar vd., 2021; Sharaf Eddin ve Tahergorabi, 2019).

Tüm yumurtalar beyaz (albümin) ve yumurta sarısı olmak üzere iki ana yenilebilir kısımdan oluşmaktadır (Fernández-Martín vd., 2018). Yumurtanın ana bileşenleri su (%75,8), proteinler (%12,4) ve lipitlerden (%9,96) ve düşük miktarda karbonhidrat (%0,72), mineral ve vitaminlerden oluşmaktadır (USDA, 2019). Tüm yumurtanın ana bileşeni olan yumurta akı, hacimce %58'ini oluştururken yumurta sarısı ve yumurta kabuğu sırasıyla yaklaşık %31 ve %11'i oluşturmaktadır (Razi vd., 2022; Sharaf Eddin ve Tahergorabi 2019). Albümin ve sarının sırasıyla toplam kuru maddesi yaklaşık %11 ve %51 'dir (Hester, 2016).



Şekil 11. Yumurtanın yenilebilir kısımlarının temel bileşimi. (a) Yumurta akı; (b) Yumurta sarısı (Réhault-Godbert vd., 2019).

Birçok faktör yumurta kalitesini etkilemektedir: hastalıklar, yumurta ve kuş yaşı, besleme programı, sıcaklık, nem, taşıma ve depolama (da Silva Pires vd., 2020). Yumurta akı esansiyel aminoasitler açısından metiyonin hariç diğer tüm aminoasitleri yumurta sarısından daha fazla oranda içermektedir (Çelebi ve Karaca, 2006). Tavuk yumurtasından izole edilen sindirimi kolay yağlar arasında kolin, doymamış yağlar, kolesterol ve sefalin bakımından zengin fosfolipitler bulunmaktadır (Sharaf Eddin ve Tahergorabi 2019).

Tablo 8

Kanatlı yumurtasının besin değeri (100 g yumurta başına değer) (Anonim, 2019).

| Besin            | Birim | Bıldırcın | Ördek | Kaz   | Hindi | Tavuk | Deve kuşu | Emu-devekuşu |
|------------------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------------|
| Ortalama Ağırlık | G     | 9         | 70    | 144   | 79    | 56    | 1400      | 550          |
| Su               | g     | 74,35     | 70,83 | 70,43 | 72,5  | 76,15 | 75,1      | 71,8         |
| Enerji           | Kcal  | 158       | 185   | 185   | 171   | 143   | 151       | 174          |
| Protein          | g     | 13,05     | 12,81 | 13,87 | 13,68 | 12,56 | 12,2      | 12,9         |



Tablo 8'in devamı

|                                  |    |       |       |       |       |       |        |        |
|----------------------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Toplam lipit<br>(yağ)            | g  | 11,09 | 13,77 | 13,27 | 11,88 | 9,51  | 11,7   | 13,8   |
| Kül                              | g  | 1,1   | 1,14  | 1,08  | 0,79  | 1,06  | 1,4    | 1,3    |
| Karbonhidrat                     | g  | 0,41  | 1,45  | 1,35  | 1,15  | 0,72  | 0,7    | 0,7    |
| <b>Mineraller</b><br><b>(mg)</b> |    |       |       |       |       |       |        |        |
| Kalsiyum, Ca                     | Mg | 64    | 64    | 60    | 99    | 56    | 64,7   | 63,9   |
| Demir, Fe                        | Mg | 3,65  | 3,85  | 3,64  | 4,1   | 1,75  | 2,51   | 2,43   |
| Magnezyum,<br>Mg                 | Mg | 13    | 17    | 16    | 13    | 12    | 13,92  | 12,5   |
| Fosfor, P                        | Mg | 226   | 220   | 208   | 170   | 198   | 196,71 | 198,12 |
| Potasyum, K                      | Mg | 132   | 222   | 210   | 142   | 138   | 122,5  | 120,7  |
| Sodyum, Na                       | Mg | 141   | 146   | 138   | 151   | 142   |        |        |
| Çinko, Zn                        | Mg | 1,47  | 1,41  | 1,33  | 1,58  | 1,29  | 1,34   | 0,98   |
| Bakır, Cu                        | Mg | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,062 | 0,072 | 0,54   | 0,43   |
| Manganez,<br>Mn                  | Mg | 0,038 | 0,038 | 0,038 | 0,038 | 0,028 | 0,16   | 0,21   |
| Selenyum, Se                     | µg | 32    | 36,4  | 36,9  | 34,3  | 30,7  | 32,4   | 32     |
| <b>Vitamin</b>                   |    |       |       |       |       |       |        |        |
| Tiamin                           | Mg | 0,13  | 0,156 | 0,147 | 0,11  | 0,04  | 0,15   | 0,15   |
| Riboflavin                       | Mg | 0,79  | 0,404 | 0,382 | 0,47  | 0,457 | 0,24   | 0,24   |
| Niasin                           | Mg | 0,15  | 0,2   | 0,189 | 0,024 | 75    |        |        |

Tablo 8'in devamı

|                             |    |       |       |       |       |       |      |      |
|-----------------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Pantotenik asit             | Mg | 1,761 | 1,862 | 1,759 | 1,889 | 1,533 | 0,75 | 0,75 |
| B-6 Vitamini                | Mg | 0,15  | 0,25  | 0,236 | 0,131 | 0,17  |      |      |
| Folat, toplam               | µg | 66    | 80    | 76    | 71    | 47    | 48   | 48   |
| Kolin, toplam               | Mg | 263,4 | 263,4 | 263,4 |       | 293,8 |      |      |
| B-12 Vitamini               | µg | 1,58  | 5,4   | 5,1   | 1,69  | 0,89  |      |      |
| Vitamin A, RAE              | µg | 156   | 194   | 187   | 166   | 160   | 5,79 | 5,79 |
| Retinol                     | µg | 155   | 192   | 185   | 166   | 160   |      |      |
| Karoten, beta               | µg | 11    | 14    | 13    |       | 0     |      |      |
| Kriptoksantin, beta         | µg | 10    | 12    | 12    |       | 9     |      |      |
| Vitamin A, IU               | IU | 543   | 674   | 650   | 554   | 540   | 383  | 383  |
| Lutein + zeaksantin         | µg | 369   | 459   | 442   | –     | 503   |      |      |
| E vitamini (alfa-tokoferol) | Mg | 1,08  | 1,34  | 1,29  | –     | 1,05  | 0,04 | 0,04 |
| D vitamini (D2 + D3)        | µg | 1,4   | 1,7   | 1,7   | –     | 2     | –    | –    |
| D vitamini                  | IU | 55    | 69    | 66    | –     | 82    | –    | –    |
| K vitamini (fillokinon)     | µg | 0.3   | 0.4   | 0.4   | –     | 0.3   | –    | –    |
| <b>Lipit</b>                |    |       |       |       |       |       |      |      |

Tablo 8'in devamı

|   |    |       |       |       |       |       |       |      |
|---|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Yağ asitleri,<br>toplam<br>doymuş         | g  | 3,557 | 3,681 | 3,595 | 3,632 | 3,126 | –     | 31*  |
| Yağ asitleri,<br>toplam tekli<br>doymamış | g  | 4,324 | 6,525 | 5,747 | 4,571 | 3,658 | –     | 58*  |
| Yağ asitleri,<br>toplam çoklu<br>doymamış | g  | 1,324 | 1,223 | 1,672 | 1,658 | 1,911 | –     | 10*  |
| Kolesterol<br>(mg / gm)                   | Mg | 844   | 884   | 852   | 933   | 372   | 10,3  | 15,7 |
| <b>Amino<br/>Asitler</b>                  |    |       |       |       |       |       |       |      |
| Triptofan                                 | g  | 0,209 | 0.26  | 0.282 | 0.219 | 0.167 | –     | –    |
| Treonin                                   | g  | 0,641 | 0,736 | 0,797 | 0,672 | 0,556 | 1,013 | –    |
| İzoleucine                                | g  | 0.816 | 0.598 | 0.647 | 0.855 | 0.671 | 0.672 | –    |
| Lösın                                     | g  | 1,146 | 1,097 | 1,188 | 1,201 | 1,086 | 1,336 | –    |
| Lizin                                     | g  | 0.881 | 0.951 | 44986 | 0.924 | 0.912 | 0.947 | –    |
| Metiyonin                                 | g  | 0.421 | 0.576 | 0.624 | 0.442 | 0.38  | 0.395 | –    |
| Sistin                                    | g  | 0.311 | 0.285 | 0.309 | 0.326 | 0.272 | –     | –    |
| Fenilalanin                               | g  | 0.737 | 0.84  | 0.91  | 0.773 | 0.68  | 0.6   | –    |
| Tirozin                                   | g  | 0.543 | 0.613 | 0.664 | 0.569 | 0.499 | 0.547 | –    |
| Valin                                     | g  | 0.94  | 0.885 | 0.958 | 0.985 | 0.858 | 0.811 | –    |
| Arginin                                   | g  | 0.835 | 0.765 | 0.828 | 0.876 | 0.82  | 0.527 | –    |
| Histidin                                  | g  | 0.315 | 0.32  | 0.346 | 0.33  | 0.309 | 0.284 | –    |
| Alanin                                    | g  | 0.762 | 0.631 | 0.683 | 0.799 | 0.735 | 0.316 | –    |

Tablo 8'in devamı

|               |   |       |       |       |       |       |       |   |
|---------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| Aspartik asit | g | 1,294 | 0,777 | 0,841 | 1,357 | 1,329 | –     | – |
| Glutamik asit | g | 1,662 | 1,789 | 1,937 | 1,742 | 1,673 | –     | – |
| Glisin        | g | 0.434 | 0.422 | 0.457 | 0.455 | 0.432 | –     | – |
| Prolin        | g | 0.518 | 0.48  | 0.52  | 0.543 | 0.512 | –     | – |
| Serin         | g | 0.992 | 0.963 | 1,043 | 1,04  | 0,971 | 0,832 | – |

#### 1.4.1. Yumurtanın Kimyasal Özellikleri

##### Yumurta Proteinleri

Ağırlığı yaklaşık 60 gr olan bir yumurtada 6 gr protein bulunmaktadır. Yumurtanın esansiyel aminoasitler açısından zengin olduğu için, proteinin biyolojik değeri 100 olduğu varsayılır ve diğer gıda proteinlerinin besin kalitesinin belirlenmesinde ölçüt olarak kullanılmaktadır. Yumurta proteinleri, histidin; izolösin; lösin; lizin; metionin; fenilalanin; treonin; triptofan; valin gibi esansiyel amino asitlerin kaynağıdır. Protein konsantrasyonu, 100 g çiğ taze yumurta başına ortalama 12,5 g iken, vitellin zarlı yumurta sarısı ve yumurta akı, 100 g başına sırasıyla 15,9 g protein ve 10,90 g protein içermektedir. Bu değerler, tavuk genetiği ve yaşı ile biraz değiştirilmektedir (Réhault-Godbert vd., 2019).

Amino asit içeriği bakımından yumurtada en yüksek lizin (509 mg/g), en düşük ise sistein (128 mg/g) bulunmaktadır. Ayrıca yumurtalarda bulunan arginin, serin, sistein ve izo-lösin gibi bazı bireysel amino asitler de diğer hayvansal gıdalardan daha yüksek değerler göstermektedir. Yumurta beyazındaki esansiyel amino asitler arasında en yüksek amino asit içeriği fenilalanin ve tirozin kombinasyonu iken triptofan en düşük değeri göstermiştir (Tela, 2017). Yumurta proteinleri, jelleşme, köpürme ve emülsifikasyon gibi çeşitli fonksiyonel özelliklere sahiptir (Lv vd., 2022).

Yumurta akı, 150'den fazla farklı protein türünden oluşur ve ideal bir protein kaynağı olarak kabul edilir, ancak yumurta akı proteini esas olarak ovalbümin (%54), ovotransferrin

(%14), ovomukoid (%11), globülin (%8), ovomüsin (%3,5) ve lizozimden (%3,5) oluşmaktadır (Bhat vd., 2021).

Yumurta akı proteinleri, lizozim ve avidin hariç, ağırlıklı olarak asidik bir pl'ye sahip globuler proteinlerdir. Major protein olan ovalbümin, yumurta akı proteinlerinin %54'ünü oluşturmaktadır. Gelişmekte olan embriyo için ana amino asit kaynağı olarak hizmet etmektedir. Yumurta akı %12 ovotransferrin ve %11 ovomukoid proteinden oluşmaktadır. Ovomucin, ovoglobulin, ovomakroglobulin, ovoglikoprotein, flavoprotein, ovoinhibitör, avidin ve sistatin yumurta akında bulunan diğer proteinlerdir (Abeyrathne vd., 2013).

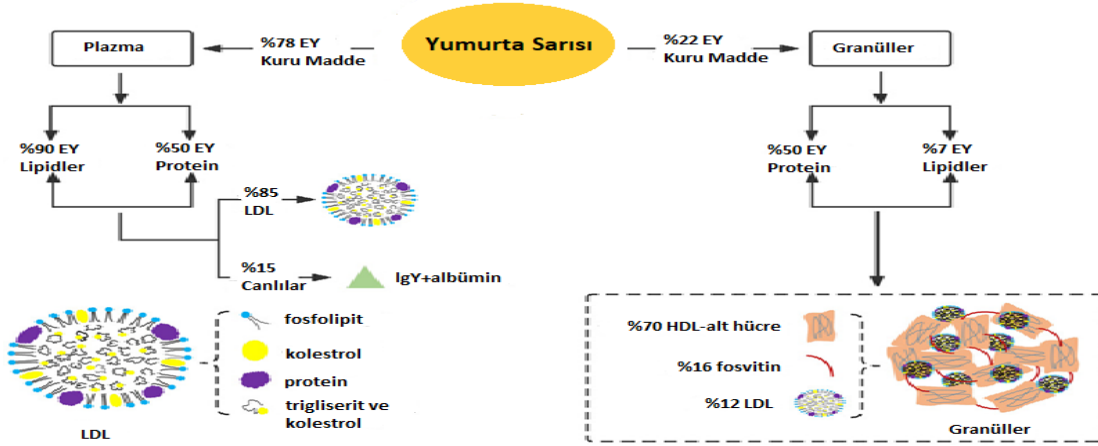
Lizozim, fosfataz ve katalaz gibi enzimler yumurta akında bulunurken lizozimler yumurta akında bulunan enzimlerin yaklaşık %3,5'ini oluşturmaktadır. Lizozimler antibakteriyel etkileri nedeniyle gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Abeyrathne vd., 2013).

Ovalbümin, yumurta akı proteininde, serbest sülfhidril grupları içeren monomer fosforile glikoproteindir. Ovotransferrin, 15 disülfür bağı olan glikozile edilmiş bir proteinken ovomukoid, dokuz disülfür bağı olan bir glikoproteindir. Ovomüsin oldukça viskoz sülfatlanmış bir glikoproteindir ve lizozim 129 amino asit kalıntısından oluşmakta ve dört disülfidit bağına sahiptir. Yumurta akı proteinlerinin disülfür bağları ve sülfhidril grupları jel oluşumunda rol oynamaktadır. İçeriği çok yüksek olmasa da ovomüsünün yüksek viskozitesi de jel oluşumuna katkıda bulunmaktadır (Lv vd., 2022).

Yumurta sarısının %78'i plazma fraksiyonunu ve yumurta sarısı kuru maddesinin %22'si ise granülleri oluşturmaktadır. Sarısında dağılan yumurta proteinleri, düşük yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu lipoproteinler olarak bulunmaktadır. Yumurta sarısı proteinlerinin %65'ini oluşturan düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) yumurta sarısının ana proteindir. Yüksek yoğunluklu lipoprotein, "fosvitin" adı verilen fosfoprotein ile bir kompleks oluşturmaktadır. Yumurtalarda bulunan fosforun yaklaşık %80'i fosvitinde bulunmaktadır (Huang ve Ahn 2019; Suhag vd., 2020).

Düşük yoğunluklu lipoprotein, apo-lipoproteinler ve fosfolipitlerle çevrili nötr bir lipit çekirdeğinden (trigliseritler ve kolesterol) oluşan, ortalama çapı 17-60 nm olan küresel

bir nanopartiküldür ve LDL apo-lipoprotein moleküllerinin etkileşimi Yumurta sarısındaki protein jelyasyon sürecine hakimdir ve granüller Yumurta sarısındaki protein jel ağının gelişimi üzerinde zayıf bir etkiye sahiptir (Lv vd., 2022).



Şekil 12. Yumurta sarısı bileşimi (Lv vd., 2022).

Tablo 9

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.                       |

### Yumurta Lipitleri

Yumurtadaki yağ sadece sarısındadır ve ortalama 60 gr yumurtada 5,5-6 gr yağ içerir. Lipitler, yumurta sarısı katılarının ana bileşenleridir (%32-36). Yumurta sarısı lipitleri genellikle yaklaşık %65 trigliserit, %28-30 fosfolipit ve %4-5 kolesterolden oluşmaktadır. Hemen hemen tüm lipitler, yumurta sarısı lipoprotein kompleksinde bulunmaktadır.

Yumurta sarısı lipitleri esas olarak triaçilgliserol, fosfolipit ve serbest kolesterolden oluşmaktadır. Beyazlarda eser miktarda lipit gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, yumurta sarısı lipitlerinin bileşimi, tavuğun yaşı, genotipi ve tavukların diyetindeki değişiklikler gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilmektedir (Sunwoo ve Gujral, 2015).

Beyin ve sinir dokusunun gelişim ve sağlığı için gerekli olan ve doğal antioksidan özelliğe sahip fosfolipitler, yumurta sarısında önemli miktarda bulunmaktadır (Çelebi ve Karaca, 2006). Doğal membranların temel bileşenlerinden biri olan, amfifilik özelliklere sahip fosfolipitler, yapılarında fosfor içeren, tüm canlı organizmalarda hücre ve organel zarlarının ana yapısal lipit bileşenleridir ve bu nedenle tüm organizmalarda ve türetilmiş gıda ürünlerinde meydana gelirler ve ayrıca kolesterol emilimini azaltmak, karaciğer fonksiyonlarını iyileştirmek ve kardiyovasküler hastalık riskini azaltmak gibi insan sağlığı üzerinde benzersiz besinsel yararlar sağlamaktadır (Ali vd., 2019).

Kolin, fosfolipitlerin sentezini, metil metabolizmasını ve kolinerjik nörotransmisyonu içeren çok sayıda önemli fizyolojik fonksiyona sahiptir (Herron, 2004). Çoklu doymamış bir fosfatidilkolin olan lesitin, tüm biyolojik zarların işlevsel ve yapısal bir bileşenidir ve süperoksit dismutaz gibi zar enzimlerinin aktivasyonunu sınırlandırmada rol oynamaktadır (Miranda, 2015). Yumurta sarısında fazlasıyla bulunan kolin, vücutta sinir iletimini gerçekleştiren ve eksikliğinde Alzheimer hastalığına neden olan asetilkolinin yapılması için vazgeçilmez bir bileşiktir (Çelebi ve Karaca, 2006).

### **Yumurta Mineralleri**

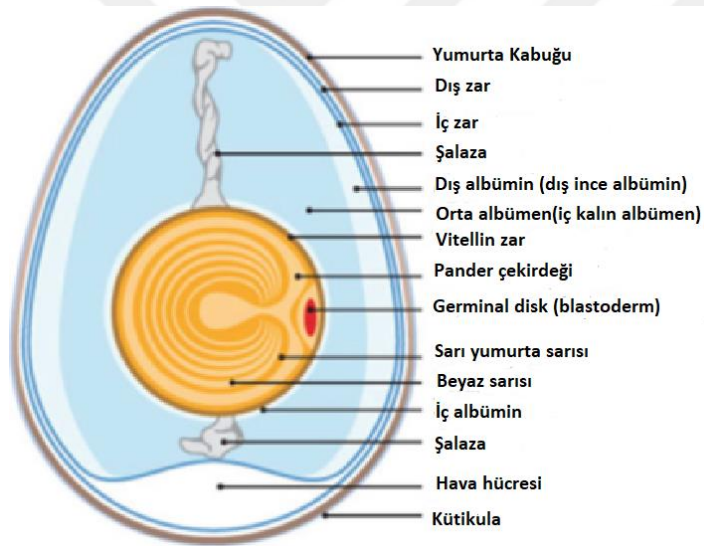
C vitamini dışında çoğu vitamini içeren tavuk yumurtası, hem yağda hem de suda çözünen vitaminler içerir. Yağda çözünen vitaminlerin çoğu yumurta sarısında yoğunlaşmıştır. A, D ve E vitaminleri sadece yumurta sarısında bulunmaktadır. Niasin ağırlıklı olarak beyazda yer almaktadır. Yumurta sarısı yüksek miktarda A, D, E, K, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub> ve B<sub>12</sub> vitaminleri içerirken yumurta akı yüksek miktarda B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> ve B<sub>5</sub> vitaminlerine ve aynı zamanda önemli miktarda B<sub>1</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>8</sub>, B<sub>9</sub> ve B<sub>12</sub> vitaminlerine sahiptir (Réhault-Godbert vd., 2019).



Mineraller yumurta sarısında bulunmaktadır. Yumurta sarısı %1 oranında mineral içerir ve en bol mineral bileşeni fosfordur. Yumurta sarısındaki toplam fosforun %60'ından fazlası fosfolipitlerde bulunurken yumurta beyazının ana inorganik bileşenleri kükürt, potasyum, sodyum ve klorürdür. Fosfor, kalsiyum ve magnezyum ikinci sıradadır (Sunwoo ve Gujral, 2015). Yumurta sarısı iyi bir demir ve fosfor kaynağıdır (Anton vd., 2006).

#### 1.4.2. Yumurtanın Morfolojik Yapısı

Şekil 1'de yumurtanın kısımları şematik olarak gösterilmiştir. Genel olarak bir tavuk yaklaşık 2 haftada yumurta üretebileceği kabul edilmektedir. Yumurtanın sarısı, yumurtlamadan önceki son 10-12 gün içinde oluşmaktadır. Yapısı, latebra, germinal disk ve vitellin zarla çevrili eş merkezli ışık ve karanlık katmanlarından oluşmaktadır.



Şekil 13. Yumurtanın şematik çizimi (Sunwoo ve Gujral, 2015).

Yumurta sarısı, toplam yumurta ağırlığının %30-33'ünü oluştururken albümin birkaç saat içinde oluşur ve yumurtanın toplam ağırlığının yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır. Yumurta beyazı (albümin), çoğu tavuk yumurtasında yapısal olarak dört katman halinde bulunmaktadır. Bunlar çok yoğun iç albümin, az yoğun dış albümin, çok yoğun dış albümin, az yoğun dış albüminden oluşmaktadır. Yumurta tavuğunun türüne, tavuğun yaşına ve yumurtanın yaşına bağlı olarak katmanlarda bulunan toplam beyaz yüzdesi değişmektedir. Yumurtanın sonraki katmanları iç ve dış kabuk zarlarıdır. Bu nispeten ince keratin benzeri zarlar, yumurtanın bakteri istilasına karşı başlıca savunmalarından biri olarak hizmet

etmektedir. Dış zardan daha ince olan iç zar, dış zarla birlikte yalnızca 0,01 ile 0,02 mm arasındaki kalınlıktadır. Dış kabuk esas olarak kalsiyum karbonattan (%94) ve magnezyum karbonat (%1), kalsiyum fosfat (%1) ve çoğunlukla protein (%4) olan organik madde gibi diğer bileşenlerden oluşur. Kabuk yüzeyine biriken pigmentler (ooporfinler), renkli yumurtaların kabuk rengini belirlemektedir. Kabuk, gaz değişimi için gözeneklerden oluşmaktadır. Gözenekler, karbondioksit ve nemin kaçmasına izin veren keratin tarafından kısmen kapatılır. Belirli koşullar altında bu gözenekler, bakterilerin yumurta kabuğu zarına girmesine de izin vermektedir (Mahmoud vd., 2023).

Yumurta akının yaklaşık %12'si kuru madde olup bunun %10,6 civarı protein yani glikoproteinlerden oluşur. Sırasıyla bu proteinler; aminoasit deposu olan köpük oluşturma özelliği bulunan ovalbümin (%54), demir bağlama yani şelat özelliği ile bakteri gelişimini önleyen ovotransferrin (%12-13), proteaz ve tripsin enzimini inhibe eden ovomucoid (%11), yumurta akının viskozitesi ve köpük stabilitesinden sorumlu olan ovomüsin (%1,5)dir. Köpük oluşumuna ayrıca globulin (%8), bakteri gelişimini engelleyen ve biotin inhibitörü olan avidin (%0,05), mikroorganizmaların hücre duvarlarını yok eden lizozim enzimi (%3-3,4) ve ovoinhibitor (%1,5), ovoflavoprotein (%0,8), ovomikroglobulin (%0,5) katkı sağlamaktadır (Yaşkır, 2019).

### **Yumurta Kabuğu**

Tipik olarak üç katmanlı bir yapı, yani dış yüzeydeki kütikül, süngerimsi (kalkerli) bir tabaka ve bir iç lamel (veya mamil) tabakadan oluşan ve esas olarak kalsit kristalleri halinde düzenlenmiş kalsiyum karbonattan oluşan yumurta kabuğu, büyüyen embriyo için temel metabolik ve beslenme ihtiyaçlarını sağlarken patojenik ve fiziksel saldırılara karşı da koruma sağlamaktadır (Ahmed vd., 2021; Tsai vd., 2006).

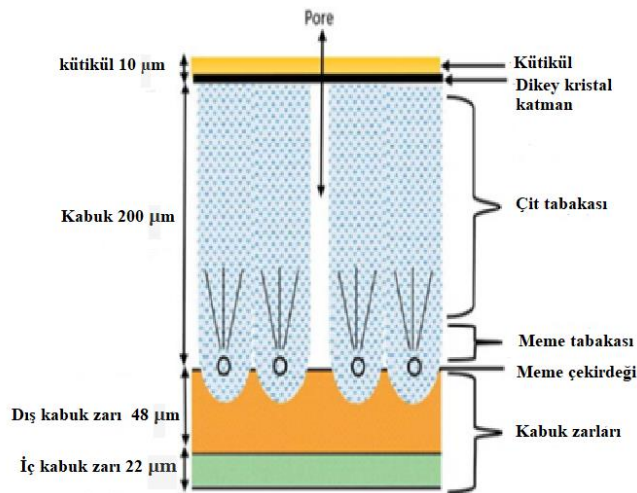
Yumurta kabukları, iç içe geçmiş protein liflerinden ve interstisyel kalsiyum karbonat kristalleri ile küresel kütlelerden oluşan bir matristen oluşmaktadır. Matrisin kristal malzemeye oranı yaklaşık 1:50'dir (Masuda ve Hiramatsu, 2008).

Yüksek miktarda kalsiyum karbonat (%94) ile az miktarda magnezyum karbonat (%1), kalsiyum fosfat (%1) ve başta protein olmak üzere organik maddelerden (%4) oluşan

yumurta kabuğu, toplam yumurta ağırlığının %9 ila 12'sini oluşturmaktadır (Stadelman vd., 2017). Esas olarak kalsiyum ve fosfattan oluşan yumurta kabuğu, iç mekâna hava ve su geçişini sınırlayan geçirgenliğine izin veren gözenekli bir yapıya (~17.000 küçük gözenek) sahiptir (Jalili-Firoozinezhad vd., 2020; Hester, 2016).

Genellikle atık olarak kabul edilen, yumurta kabuğu ve yumurta akı arasındaki protein bakımından zengin zar olan yumurta kabuğu zarı, iç (albümin ile temas halinde) ve dış tabakalardan oluşan ince, yüksek oranda kollajenize fibröz bir zardır ve gelişmekte olan fonksiyonel mühendislik platformları olarak kabul edilmektedir (Park vd., 2016; Torres vd., 2010).

Yumurta kabuğu kalitesi, genotip, yaş, yumurtlama süresi ve barındırma sistemi, yeterli Ca, P ve iz mineral takviyesi ile dengeli beslenme dahil olmak üzere iç ve dış faktörlerden etkilenmektedir (Ketta ve Tůmová, 2016).



Şekil 14. Bir yumurta kabuğunun enine kesit yapısı (Hamilton ve Bryden, 2021).

## Kütikül

Yumurta kabuğu, gözeneklerini kapatan ve bakteri girişini ve nem kaybını önlemeye yardımcı olan doğal bir örtüye veya kütiküle sahiptir. Bununla birlikte, bu kütikül tabakası kırılğandır ve yıkama prosedürleri sırasında kolayca kaybolmaktadır (Wardy vd., 2010).

Fosfor bakımından zengin olan kütikül, esas olarak %85-90 arasında glikoproteinlerden ve daha az oranda lipit ve polisakkaritlerden oluşmaktadır (Rodríguez-Navarro vd., 2013).

### **Kabuk Zarı**

Yumurta kabuk zarı %70 organik madde, %10 inorganik madde ve %20 nemden oluşmaktadır (Yamamoto vd., 1996). Yumurta kabuğunun en içteki bileşeni olan yumurta kabuğu zarı, çapraz bağlı kolajenlerden (I, V ve X), glikozaminoglikanlardan, yumurta akı proteinlerinden (yani Ovotransferrin, Lizozim) ve yumurta kabuğu matris proteinlerinden (yani Ovokaliksin-36) oluşmaktadır (Shi vd., 2021). Dış membran yaklaşık 0.05 mm kalınlığındadır. Kalınlığı yaklaşık olarak 0,015 mm olan iç membran ise yumurta akını çevrelemektedir (Anar, 2016).

Yumurta kabuğu membranı, enzim ve protein oluşumunu desteklemektedir. Aynı zamanda albümini tutar ve lifli ağları sayesinde bakterilerin penetrasyonunu engellemektedir (Park vd., 2016).

Yumurta kabuğu membranı birçok avantaja sahiptir:

- Ucuzdur, tedarik edilmesi kolaydır ve bol miktarda endüstriyel ve evsel atık olduğu için kullanıma hazırdır;
- Çevre dostudur ve toksik değildir;
- Bol miktarda amino asit içeren birçok doğal proteinden oluşur, bu nedenle yumurta kabuğu membranı yüzeyinde çok sayıda fonksiyonel grup bulunur, bu da fonksiyonelleştirme ve adsorpsiyon ile sonuçlanır;
- Karbonizasyon ve çözünme ile kolayca modifiye edilebilir ve çeşitli sentezler kimyasal zayıflıkları telafi edilebilir. Bu avantajlardan dolayı yumurta kabuğu membranlar, kimya mühendisliği, malzeme mühendisliği, elektrik mühendisliği, çevre mühendisliği, biyomedikal mühendisliği gibi birçok teknik alanda kullanılmaktadır.

## **Vitellin Membran**

Vitellin zar (VM), yumurta sarısını koruyan, ona şekil veren ve yumurta beyazından ayıran çok katmanlı bir yapıdır. Şalaza ile VM, yumurta sarısını yumurtanın orta kısmında tutarak kabuk zarları ile bütünleşmesini engellemektedir (Damaziak vd., 2020). Zar, yumurta sarısını girebilecek mikroorganizmalara engellemektedir. Fiziksel bir engel olmanın yanı sıra, küçük moleküllerin zarları geçmesine izin vererek embriyonik gelişimde önemli bir rol oynarlar. Zarın kuru ağırlığı, yumurta boyutuna bağlı olarak yumurta başına 5-10 mg'dır. Vitellin zar dış katman, sürekli zar ve iç katmandan oluşur. Dış tabaka, yumurta beyazında da bulunan ovomusin ve lizozim içermektedir. Dış zarın diğer bileşimleri lektin, vitellin zar dış proteini I ve II'dir. İç katman, her ikisi de iç katmanda yapısal bir rol oynayan membran glikoprotein I (27 kDa) ve II'yi (240 kDa) içermektedir (Sunwoo ve Gujral, 2015).

## **Yumurta Akı (Albümin)**

Yumurta akı, Latince "beyaz" anlamına gelen "albus"tan gelen albümin olarak bilinir. Birbirini takip eden kalın ve ince albümin tabakası, su ile birlikte yumurta beyazının ana bileşenleri olan yaklaşık 40 farklı protein içermektedir (Anonim, 2013).

Yumurta akı, kuluçkanın ilk yarısında (0-12. gün), yumurta akının embriyo tarafından oral olarak emilecek amniyotik sıvıya transferinden önce, yumurtaların bakteriyel kontaminasyonlara karşı korunmasına önemli bir katkıda bulunmaktadır. Bu koruyucu sistem, genellikle antimikrobiyal proteinlere ve bakteri üremesine ve yayılmasına elverişsiz olan doğal fizikokimyasal özelliklere dayanmaktadır (Guyot vd., 2016).

Yumurta akının (albümin) çoğu, yaklaşık %84 ila %89 arasında değişen sudur. Proteinler, esas olarak albüminin ana bölümünü (~%10) oluştururken karbonhidratlar, lipitler ve mineraller gibi diğer bileşenler, albüminin küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Albümin proteininin ana bileşenleri olan ovalbümin, ovotransferin, ovomukoid, ovoglobulinler, ovomusin ve lizozimlerin sırasıyla %54, %12-13, %11, %2,0, %1,5-3,0 ve %3,5 oranlarıdır. Enzimler (Isozim, fosfataz, katalaz ve glikozidazlar), vitaminler ve mineraller de yumurta akının bileşenleri arasında yer almaktadır. Yumurta akında bulunan

majör protein "Ovalbümin" olarak bilinir ve yumurta akında serbest SH grupları içeren tek proteindir (Sharif vd., 2018).

Tavuk yumurtası akı, ovalbümin ve lizozim gibi önemli proteinlerin bol, ucuz ve doğal bir kaynağıdır. Ayrıca yumurta akı yüzyıllardan beri biyoaktivitesi, kolay kullanımı, antibakteriyel aktivitesi ve biyolojik olarak parçalanabilirliği sayesinde, çeşitli bozuklukların tedavisinde kümes hayvanlarının yardımcı maddesi olarak kullanılmaktadır (Jalili-Firoozinezhad vd., 2020). Suda çözünen biotin, niasin ve riboflavinler, yumurta aklarında önemli miktarda bulunmaktadır (Sharif vd., 2018).

Albümin, ikinci bir koruyucu tabaka görevi görerek bakterilerin yumurta sarısına girmesini engellemektedir (Jalili-Firoozinezhad vd., 2020). Albümin, mekanik ve kimyasal olarak yumurtanın antimikrobiyal savunmasına iki katkı sağlamaktadır (Stadelman vd., 2017).

### **Albüminin Başlıca Proteini**

Yumurta akı en az kırk farklı protein içerir ve on dört proteinin, toplam yumurta akı proteinin yaklaşık %90-95'ini oluşturan, yumurta beyazının ana bileşeni olduğu bilinmektedir. Bunlara: ovalbümin, %54; ovotransferrin, %12-13; ovomukoid, %11; lizozim, %3,4-3,5; ovoglobulin G3, %1,0-4,0; ovoglobulin G2, %1,0-4,0; ovomüsin, %1,5-3,5; ovoinhibitör, %0,1-1,5; ovoflavoprotein (riboflavin bağlayıcı protein), %0,8-1,0; ovoglikoprotein, %0,5-1,0; ovostatin, %0,5; ovomakroglobulin, %0,5; avidin, %0,05-0,5; ve sistatin, %0,01-0,05 dahildir, geri kalan bileşenler ise henüz tanımlanmamıştır (Abeyrathne vd., 2013).

### **Ovalbümin**

Yumurta beyazında en bol bulunan protein bileşeni (%55-65) olan ve yumurta beyazının işlevselliğinin büyük çoğunluğunu oluşturan OVA, 45 kDa moleküler ağırlığa ve 4.5 izoelektrik noktasına (pI) sahip tipik bir globüler fosfolipoproteindir (Sheng vd., 2019).

Karbonhidrat ve fosfat kısımlarının polipeptide bağlanması sebebiyle bir fosfoglikoprotein olarak sınıflandırılan ovalbümin, 385 amino asit içerir. N-terminal amino asit, asetillenmiş glisindir ve C-terminal amino asit, prolindir. Polipeptitin moleküler ağırlığı 43.669 Da'dır. Ovalbumin, fosfatazlar tarafından giderilebilen serin 68 ve 344 üzerinde iki fosfat kalıntısı içerir. Saflaştırılmış ovalbümin, tümü fosfor içeriği bakımından farklılık gösteren A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> ve A<sub>3</sub> şeklinde üç bileşenden oluşur (Sunwoo ve Gujral, 2015).

Çözelti içindeki ovalbümin, yeni yüzeye maruz bırakıldığında (örn. çalkalama) kolayca denatüre olur ve pıhtılaşır, ancak termal denatürasyona dirençlidir. Albüminin pH 9 ila 62 °C'de 3,5 dakika ısıtılması ovalbüminin yalnızca %3-5'ini değiştirirken albümini pH 7'de ısıtmak bu proteini ihmal edilebilir düzeyde değiştirmektedir. Yumurta depolaması sırasında, ovalbümin'in bir kısmı, S-ovalbümin adı verilen daha termostabil bir proteine dönüşmektedir. Taze yumurtada S-ovalbümin içeriği %5 iken 6 ay soğukta saklanan yumurtada %81'e kadar çıkmaktadır (Sunwoo ve Gujral, 2015).

### **Ovotransferrin**

Yumurta kanalındaki avian transferrin geni tarafından sentezlenen ovotransferrin, toplam yumurta akı proteinlerinin yaklaşık %12-13'ünü oluşturmaktadır (Wu ve Acero-Lopez, 2012). Ovotransferrin, toplam yumurta akı proteinlerinin %12-13'ünü oluşturan yumurta beyazındaki ikinci ana proteindir. Ovotransferrin, çoklu biyolojik aktivitelerden sorumlu önemli bir yumurta beyazı fonksiyonel proteindir (Rathnapala vd., 2021).

Ovotransferrin, 686 amino asitlik tek polipeptit zincirinden oluşan monomerik bir glikoproteindir ve aynı zamanda demir bağlayıcı bir proteindir (Wu ve Acero-Lopez, 2012). Mikropların hayatta kalmak için ihtiyaç duyduğu demiri tutma kabiliyeti nedeniyle, ayrılmış ovotransferrin gıdalarda mikrobiyal büyümeyi engellemek için kullanılabilir (Abeyrathne 2017). Ovotransferrinin moleküler ağırlığı yaklaşık 78 kDa'dır; bu da yumurta beyazındaki toplam proteinin %13'ünü oluşturmaktadır (Sunwoo ve Gujral, 2015). İmmünomodülatör, antikanserojenik ve antioksidan özelliklere sahip olan ovotransferrin sadece kendisi değil, aynı zamanda ovotransferrinden türetilen peptitler, anjiyotensin dönüştürücü enzimi inhibe etme ve antikanser etkileri gibi mükemmel biyolojik aktiviteler göstermektedir. Bu nedenle, ovotransferrin ve türetilmiş peptitlerin, gıda ve ilaç

endüstrilerinde fonksiyonel proteinler olarak potansiyel kullanımlara sahiptir (Abeyrathne, 2017). Isıya duyarlı yumurta akı proteinlerinin en bol olanıdır ve termal kararlılığı, demir veya alüminyum ile kompleksler oluşturarak büyük ölçüde geliştirilmektedir (Sunwoo ve Gujral, 2015).

### **Ovomüsin**

Ovomüsin, taze yumurta beyazlarının jelleşme özelliklerinden sorumlu biyoaktif yumurta beyazı glikoproteinidir ve depolama sırasında meydana gelen yumurta beyazının incelmeye dahil olduğu düşünülmektedir (Offengenden vd., 2011). Ovomüsin, moleküler kütlesi yaklaşık 165 kDa olan minör bir yumurta akı glikoproteinidir (%3,5 w/w) (Sunwoo ve Gujral, 2015). Su ile kapsamlı hidrojen bağlarının oluşması üzerine karakteristik bir jel benzeri yapıya yol açabilen O-bağlı karbonhidrat parçaları içermektedir (Sunwoo ve Gujral, 2015). Ovomüsin iki alt birimden oluşur: 400-610 kDa moleküler ağırlığa sahip yüksek karbonhidratlı bir  $\beta$ -ovomüsin ve 254 kDa moleküler ağırlığa sahip düşük karbonhidratlı bir  $\alpha$ -ovomüsin (Offengenden vd., 2011). Ovomüsin, O-bağlı glikanlar hakkında sınırlı bilgiye ek olarak, N-glikanların yapısı veya N-glikosilasyon bölgeleri hakkında herhangi bir çalışma yoktur (Offengenden vd., 2011). Ovomüsin, yumurta akı albümin yapısını ve viskozitesini korumak, böylece mikroorganizmaların yayılmasını önlemek ve iyi köpürme ve emülsifiye edici özelliklere sahip olmak gibi fiziksel işlevlere hizmet eder. Ovomüsin, yumurta depolama sırasında koyu yumurta aklarının viskozitesini azaltmada rol oynamaktadır (Sunwoo ve Gujral, 2015).

### **Ovomukoid**

Ovomukoid, 28 kDa'lık yüksek düzeyde glikosile edilmiş bir proteindir (%20-25 karbonhidrat, ağırlık/ağırlık). Yumurta akı proteinlerinin %11'ini oluşturmaktadır. Moleküler kütlesi yaklaşık 28.0 kDa olan ve toplam yumurta akı proteinlerinin yaklaşık %11'ini oluşturan bir glikoproteinidir. İki ana alerjen, ovomukoid ve ovalbümin olarak bilinir. Yumurta alerjisine en sık neden olan proteindir (Besler, 1999).



## **Lizozim**

Şu anda en iyi bilinen enzimlerden biri olan, tavuk yumurta akı, kabuk ve vitellin zarında bulunan, gram-pozitif bakterilerin hücre duvarlarını parçalayan bir enzim sınıfına ait olan, Muramidaz veya N-asetilmuramik hidrolaz olarak da bilinen, tavuk yumurtaları dışında insan ve hayvan organizmalarının salgılarında, bazı bakteri, bakteriyofaj ve bitkilerden de izole edilen lizozim, enzimatik küresel bir proteindir (Lesnierowski ve Stangierski, 2018; Sunwoo ve Gujral, 2015).

Lizozimin ana aktivitesi, gram-pozitif bakterilerin hücre duvarlarındaki glikanları stabilize eden, N-asetilmuramik asit ve N-asetilglukozamin arasındaki beta 1,4 bağlarının hidrolizini katalize etmektir. Lizozim dört disülfid bağına sahip olduğundan, bu küçük protein molekülü çok kompakt ve ısıya karşı kararlıdır. Lizozim esas olarak Gram-pozitif bakterilere karşı etkili olmasına rağmen denatürasyon, kimyasal modifikasyon veya diğer koruyucu maddelerle kombinasyon, spektrumunu Gram-negatif bakterilere doğru genişletilebilmektedir. Avrupa Birliği'nin alerjen mevzuatı etiketleme gerektirmesine rağmen, lizozimin güvenliği ve teknik stabilitesi onu gıda uygulamaları için ideal bir koruyucu yapmaktadır (Sunwoo ve Gujral, 2015).

## **Ovoglobulinler**

Yumurta beyazında bulunan ovoglobulinler, gıda işlemede yumurta akının köpürme özellikleri için gerekli kabul edilir ve hareketli sınır elektroforezi ile ölçülen elektroforetik hareketlilik farklılıklarına dayalı olarak temel olarak G1, G2 ve G3 olarak üç tipte sınıflandırılır (Kinoshita vd., 2016). Ovoglobulinin bileşimi %13,6 heksoz, %13,8 heksosamin ve %3 sialik asit içerir. Heksoz 2:1 oranında mannoz ve galaktoz olarak, heksosamin glukozamin olarak ve sialik asit N-asetilnöraminik asit olarak bulunmaktadır (Sunwoo ve Gujral, 2015).

## **Kalın ve İnce Albüminler**

Taze yumurta akı üç fraksiyondan oluşur: Şalazaya ek olarak dış ince beyaz, kalın beyaz olarak bilinen jel ve iç ince beyaz. Sert bir jel olan koyu yumurta akı, yumurtalarda tercih edilirken ince beyaz yumurta akı bayatlığı gösteren düşük kalitenin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir ve bu nedenle, yumurtada kalın beyaz yüzdesinin artırılması kanatlı üretimi için avantajlı olabileceği düşünülmektedir (Wan vd., 2017). Yumurtada bulunan toplam yumurta akı proteininin ~%3,5'ini oluşturan ovomüsin, sıvı yumurta akının kalın jel özelliklerinden sorumludur (Omana vd., 2010).

### **Şalaza**

Şalaza, esas olarak müsin benzeri bir proteinin şeritlerinden oluşmaktadır. Orijinal olarak oluşturulan ve kısmen sağlam albümin olarak tutulan heterojen jelin yapısal bileşeni olduğu gösterilmiştir (Almquist, 1936).

Şalaza, yumurtanın büyük ucunda saat yönünde ve küçük ucunda saat yönünün tersine bükülmüş iki bükülmüş ip benzeri kordona benzer ve uzun eksen uçlarının görevi yumurta sarısını merkezde tutmaktır (Belitz vd., 2009; Huğu, 2015). Şalazanın bir ucu yumurta sarısının vitellin zarına, diğer ucu ise iç organ kabuğu zarına bağlıdır (Huğu, 2015). Kırılmış bir yumurtada, şalaza yumurta sarısında kalmaktadır (Belitz vd., 2009).

### **Yumurta Sarısı**

Toplam taze yumurta ağırlığının yaklaşık %36'sını yumurta sarısı oluşturmaktadır (Xiao vd., 2020). Yumurta sarısı %16 protein, %32 lipit ve %50 sudan oluşmaktadır. Yaklaşık üçte biri fosfolipitlerden oluşan lipitlerin, başlıca fosfolipiti yaklaşık %80 oranında bulunan fosfatidilkolindir. Yumurta sarısı fosfolipitlerinin lipaz tarafından lizofosfolipitlere dönüştürülmesi emülsiyonun stabilitesini arttırmaktadır (Negi, 2019).

Yumurta sarısı, bir kısmı plazma (sulu faz) ve granüller (0.3µm–2 mm çözünmeyen daha yoğun yapılar) olarak adlandırılan iki kısma ayrılan kısmen su içinde yağ emülsiyonudur (Guilmineau ve Kulozik, 2006). %65 yağ, %31 protein ve %4 karbonhidrat,

vitamin ve mineraller olmak üzere %52 kuru maddeden oluşmaktadır (Guilmineau vd, 2005). Yumurthanın sarı kısmı, vitamin (B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, A, D, E ve K) gibi temel besinleri ve zengin mineral kaynaklarını (kalsiyum, magnezyum, demir ve selenyum) taşıyan bir kapsüldür. Yumurta sarısı ayrıca sarımsı bir renk veren ve görmeyi iyileştirmeye yardımcı olan antioksidan görevi gören karotenoidler içermektedir. Ayrıca yumurta sarısında bulunan suda çözünen vitamin (kolin) nedeniyle anti-enflamatuar gösterir ve vücudun kardiyovasküler fonksiyonunun düzenlenmesine yardımcı olmaktadır (Huizen, 2017). Yumurta sarısındaki önemli proteinler başlıca fosvitin ve lipovitellindir. Fosvitin, embriyonik gelişim için önemli olan en fosforile proteindir ve demir, kalsiyum ve diğer katyonları bağlayarak etki etmektedir. Lipovitellin öncelikle metal ve lipid depolamasında yer alır ve çoğunlukla yaklaşık %16 (a/a) kovalent olarak bağlı olmayan lipidlerin heterojen bir karışımını içermektedir (Sunwoo ve Gujral, 2015).

Yumurta sarısının ana bileşimi olan fosfolipitlerde biriken fosfatidilkolin %80,5'tir. Bu fosfolipitler biyoaktiviteyi artırarak yağ asitlerinin kristalleşmesini engellerler. Fosfatidiletanolamin ve fosfatidilkolin farmasötik önemlerinden dolayı birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Yumurta sarısı fosfatidilkolin'in (yüksek saflıkta) emülgatör veya lipozom olarak kullanıldığı endüstrinin en büyük ilgi alanıdır. Kolinin önemi, birçok biyolojik süreçte yer alması ve fosfatidilkolin formunda serbest baz olarak alınabilmesidir (Patil vd., 2022).

Yumurta sarısı, düşük yoğunluklu lipoproteinler (LDL'ler) ve çözünen proteinler içeren berrak sarı bir sıvı (plazma) içindeki süspansiyonda çözünmeyen protein agregalarından (granüller) oluşan farklı yapılandırma seviyelerine sahip karmaşık bir sistemdir. Yumurta sarısı esas olarak granüller ve plazmadan oluşmaktadır. Plazma, düşük yoğunluklu lipoproteinler olarak yapılandırılmış büyük miktarlarda lipid içerirken granüller esas olarak mikrometrik bileşikler halinde toplanmış proteinlerden oluşmaktadır. Plazma, yumurta sarısının önemli emülsifiye edici özelliklerinden sorumluyken granüller, agregalar tuz varlığında misel formunda olduğunda ilginç emülsifiye edici özellik sağlamaktadır (Anton, 2013).

Yumurta sarısı, %68 LDL, %16 yüksek yoğunluklu lipoproteinler (HDL'ler), %10 livetinler ve diğer çözümlü proteinler ve %4 fosvitinler içeren karmaşık bir ortamdır (Réhault-Godbert vd., 2019).

Yumurta sarısında bulunan bir sterol olan kolesterol, kısmen tavuk yeminden ve kısmen de lipoproteinleri işlerken karaciğerdeki sentezden gelmektedir. Toplam lipitlerin yaklaşık %5'i serbest (%85-90) veya esterlenmemiş (%10-15) formda bulunmaktadır. Kolesterol esterleri LDL'nin lipit çekirdeğinde bulunur ve %35 oleik asit, %33 palmitik asit, %12 linoleik asit ve %11 stearik asit içermektedir (Kuksis, 1992; Huopalahti vd., 2007). Yumurtada bulunan kolesterolün insanlarda kan kolesterolünü değiştirmediği yapılan araştırmalarda bildirilmiştir (Aydın vd., 2014).

Karotenoidler, tavuk yumurta sarısına, çok soluk sarıdan koyu parlak turuncuya kadar değişebilen sarı rengini veren doğal pigmentlerdir (Miranda vd., 2015).

Tablo 10

Tavuk yumurtası kuru sarısı bileşimi (Xiao vd., 2020).

| Unsur           | Ana Bileşenler      | Göreceli Yüzde (% , w/w) |
|-----------------|---------------------|--------------------------|
| Lipit           |                     | 62,5                     |
|                 | Trigliserit         | 38,7                     |
|                 | Fosfolipitler       | 20,6                     |
|                 | Kolesterol          | <3,1                     |
| Karotenoidler   |                     | <0,6                     |
| Protein         |                     | 33                       |
|                 | LDL'deki proteinler | 7,6                      |
|                 | HDL'deki proteinler | 11,6                     |
|                 | Livetin             | 9,9                      |
|                 | Fosfoprotein        | 3,6                      |
|                 | Diğer Proteinler    | 0,3                      |
| Karbonhidratlar |                     | 1,2                      |
| Mineraller      |                     | 3,5                      |

Yumurta sarısının fonksiyonel karakterizasyonu, fizikokimyasal ve arayüzey özellikleri, agregasyon davranışı, köpürme, şişme ve hidrasyon ve faz ayırma davranışı hakkında bilgi verir. Bu emülsiyon veya köpük oluşturma kapasitesi ve kararlılığı, proteinlerin yüzey hidrofobikliği ve çözünürlüğü gibi fizikokimyasal özelliklerin yanı sıra bileşim ve sıcaklık gibi işleme parametrelerinden de etkilenmiştir. Unlu mamul endüstrisinde yaygın olarak kullanılan yumurta akı proteininin iyi kalitede köpürme özelliklerinin olması nedeniyle, ancak yumurta sarısının çok az miktarı, unlu mamullerin kalitesini değiştiren köpürme kapasitesini etkilemektedir (Patil vd., 2022).

### **Gelasyon/Agregasyon Davranışı**

Doku ve şekil gibi gıdaların kalitesindeki artış, yumurta sarısı proteinlerinin zorunlu bir fonksiyonel özelliği olan jel oluşumundaki gelişmeden kaynaklanmaktadır (Martin vd., 2016). Dondurma ve ısıtma gibi çeşitli gıda işlemleri, protein jelleşmesinde önemli roller oynamaktadır (Au vd., 2015). Yumurta sarısı fosfolipitlerinin lipazlar aracılığıyla lizofosfolipitlere dönüştürülmesi emülsiyonun stabilitesini artırmaktadır. Fosfolipazlar, yumurta sarısının emülsifiye edici gücünü artırmak için kullanılır, bu da yalnızca yumurta lipitlerinin performansını iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda soslar ve mayonez benzeri ürünler gibi gıda işlemede yumurta sarısı oranlarına olan ihtiyacı da azaltmaktadır. Yumurtaların emülsifiye edici özellikleri, lipitlerinden kaynaklanmaktadır. Fosfolipaz, yumurta lesitini hidrolize etmekte ve ayırmaktadır. Yumurta sarısının işlenmesi, yumurta sarısının emülsifiye etme kapasitesini ve sıcaklık stabilitesini artırmaktadır. Bu nedenle işlenmiş yumurta sarısı mayonez, muhallebi, bebek maması, sos vb. üretiminde kullanılmaktadır (Aravindan ve ark., 2007).

### **Yumurta Sarısının Lipitleri**

Yumurtada bulunan lipitlerin çoğu yumurta sarısında konsantre halde bulunur. Yumurta sarısında fosfatidiletanolamin, lizofosfatidiletanolamin, fosfatidilkolin, lizofosfatidilkolin ve sfingomyelin olmak üzere beş fosfolipit bulunmaktadır (Patil vd.,2022). Campos ve ark. (2016), tavukların farklı diyetlerine (sebze karşı hayvan) ve yetiştirme ortamına (serbest gezine karşı kapalı alana) göre yumurtaların lipit kalitesi ve lipit

profilini etkilediğini bulmuşlardır. Diyet alışkanlıklarına ek olarak yetiştirme alışkanlıklarının da tavuk yumurtasının lipid profilini etkilediğini bildirmişlerdir.

Lipitler yaklaşık %63 esansiyel yağ asitleri (polienoik yağ asitleri ve oleik asit), %33 fosfolipitler (lesitin ve sefalinler) ve %5'ten az kolesterol dahil olmak üzere yumurta sarısının kuru maddesinin yaklaşık %65'ini oluşturmaktadır (Huğu, 2015; Xiao vd., 2020). Bununla birlikte, yumurta sarısı lipitlerinin bileşimi, tavuğun yaşı, genotipi ve tavukların diyetindeki değişiklikler gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilmektedir (Patil vd., 2022).

### **Yağ Asitleri**

Yumurtalardaki baskın doymuş yağ asitleri palmitik (C16:0) ve steariktir (C18:0). Palmitik ve stearik asidin içeriği tavuk yumurtasında sırasıyla %22 ila %26 ve %8-10 arasında değişebilmektedir. Palmitik ve stearik asidin yanında, az miktarda C14 ve C20 de vardır. Toplam doymuş yağ asitleri, yumurta sarısındaki toplam yağ asitlerinin %30-35'ini oluşturabilmektedir (Sunwoo ve Gujral, 2015).

### **Fosfolipitler**

Yumurta sarısı fosfolipitlerinin (PL) ana bileşenleri, yumurta sarısı lesitininin ~%81'i fosfatidilkolin (PC) ve %12'sini oluşturabilen fosfatidiletanolamindir; lizofosfatidilkolin, lizofosfatidiletanolamin ve sfingomyelin de yumurta sarısı fosfolipitlerin bilinen bileşenleridir. Yumurta PC'sindeki ana yağ asitleri %32 palmitik asit, %26 oleik asit, %16 stearik asit ve %13 linoleik asittir; ayrıca %4,8 ile araşidonik ve %4 ile dokosaheksaenoik asitler de önemli miktarlarda mevcuttur (Sunwoo ve Gujral, 2015).

#### **1.4.3. Yumurta Reolojisi**

Reoloji, maddenin akışı ve deformasyonu bilimidir ve kuvvet, deformasyon ve zaman arasındaki karşılıklı ilişkileri tanımlamaktadır. Terim, akmak anlamına gelen Yunanca rheos'tan gelmektedir (Adebowale, 2009). Reolojik değerlendirmenin anahtarı temel gerilme (alan başına kuvvet) ve gerinim (uzunluk başına deformasyon) dir. Gerilim

( $\sigma$ ) her zaman birim alan başına bir kuvvet ölçüsüdür ve Pascal (Pa) cinsinden ifade edilmektedir (Tabilo-Munizaga ve Barbosa-Cánovas, 2005).

İşlenmiş gıda ürünlerinin özellikleri, tüketici ihtiyaçlarını ve faydalarını göz önünde bulundurularak daha fazla çalışılmaktadır. Özel geliştirilmiş ürün özellikleri, molekülerden makroskopik ölçeklere kadar yapı ve bunun işleme ve algılama üzerindeki sonuçları göz önünde bulundurularak yapı-özellik ve süreç-yapı kılavuzları doğrultusunda tasarlanır ve yapı bağlamında en dikkat çekici özelliklerden biri olarak da reoloji devreye girmektedir. Reoloji ve yapının yakın ilişkisi, gıdaların aktığı dinamik koşulları belirleyen akış işleme ile olan ilişkisini de ortaya koymaktadır. Akış özellikleri, üretim(fabrika) veya hazırlık(mutfak) sırasında ve fizyolojik olarak gıda yapısının algılandığı ve sindirildiği ağız, mide ve bağırsakta gıda yapısını tanımlamasından dolayı gıda sistemleri için reoloji önemli bir rol oynamaktadır (Fischer ve Windhab, 2011).

Gıda endüstrisinde reolojik verilere ihtiyaç duyulan çok sayıda alan vardır (Adebowale, 2009).

- a- Boru hatları, pompalar, ekstrüderler, karıştırıcılar, kaplayıcılar, ısı eşanjörleri, homojenleştiriciler ve çevrimiçi viskozimetreler gibi çok çeşitli ekipmanı içeren proses mühendisliği hesaplamaları;
- b- Ürün geliştirmede bileşen işlevselliğini belirleme;
- c- Ara veya nihai ürün kalite kontrolü;
- d- Raf ömrü testi;
- e- İçerikleri ve nihai ürünleri karakterize etmenin yanı sıra ürün performansını ve tüketici kabulünü tahmin etmek için.
- f- Duyusal verilerle korelasyon yoluyla gıda dokusunun değerlendirilmesi;
- g- Durum veya bileşen denklemlerinin reolojik denklemlerinin analizi.
- h- Ayrıca bir konakçı veya ürün özelliklerini, son kullanım performansını ve malzeme davranışını ve ayrıca gıdaların duyu analizi ve kalite kontrolünü tahmin etmenin ve kontrol etmenin bir yoludur.

Yukarıda sayılan tüm bu sebeplerden dolayı gıda reolojik özellikleri gıda sanayisi tarafından büyük ilgi görmektedir. Üretim tesislerinde proses mühendisliğinde ve gıda

ürünlerinin kalite kontrolünde reolojik teknikler kullanılmaktadır. Gıda reolojik özellikleri, (i) gıda bileşenlerinin üretim hattında işlenebilirliğini, (ii) üretilen sıvı ve yarı katı gıdaların çeşitli saklama koşulları altında stabilitesini, (iii) işlenmiş gıdaların duyu özelliklerini, (iv) gıda bileşenlerinin insan sindirim sisteminde sindirilme ve emilme yeteneğini belirleyebilmektedir (Zheng, 2019).

Araştırmacılar gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan yumurtanın reolojik özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak istemiş ve yumurtanın hem Newtoncu hem de zamana bağlı Newtoncu olmayan akış davranışını bildirmiştir. Ancak çoğu araştırmacı genellikle yumurta sarısının reolojik özelliklerini araştırdıklarından sıvı yumurta akı ve bütün yumurtanın farklı sıcaklık aralıklarındaki reolojik davranışları hakkında bilgi eksikliği vardır (Kumbár vd., 2015).

### **Newton Akışkanlar**

Bir Newton sıvısı, gerilime karşı gerinim oranı eğrisi doğrusal olan ve orijinden geçen bir sıvıdır. Bu sıvı, üzerine etki eden kuvvetlerden bağımsız olarak akmaya devam etmektedir. Gazlar, yağlar, su ve çoğu sıvı çay, kahve, bira, gazlı içecekler, meyve suları ve süt gibi %90'dan fazla su içerenler Newton davranışı göstermektedirler (Singh, 2012).

### **Newton Olmayan Akışkanlar**

Newton'un viskozite yasasına uymayan sıvılar, Newton olmayan sıvılar olarak bilinir. Kayma gerilmesine karşı kayma hızı grafiğinin doğrusal olmayan eğimini gösteren sıvılara Newton olmayan sıvılar denir (Singh, 2012).

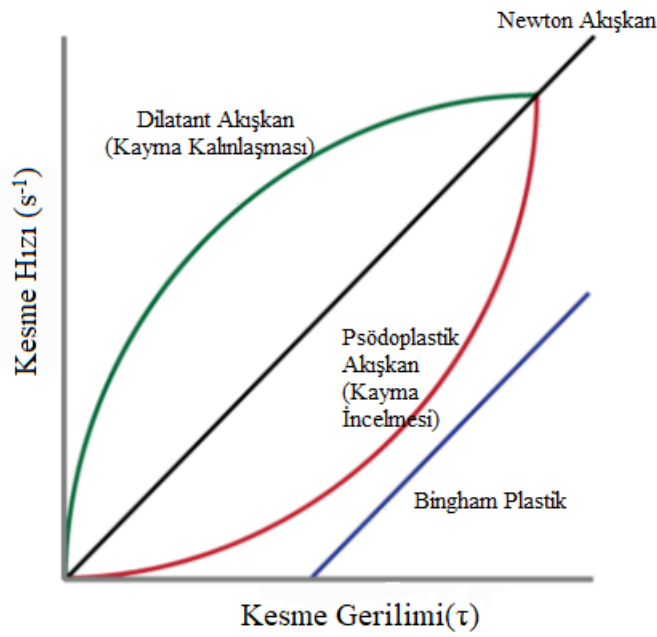
#### **1) Kesmeyle İncelen (Psödoplastik) Akışkanlar**

Psödoplastik akışkanlarda viskozite, kayma hızının artmasıyla azalma eğilimindedir ve geçici viskozite kaybıyla sonuçlanmaktadır (Singh, 2012).



## 2) Kesme Kalınlaştırıcı Akışkanlar

Kayma koyulaştırıcı sıvılarda, mikroyapının tekrar düzenlenmesi, akışa karşı direncin kayma hızı ile artması şeklinde gerçekleşmektedir. İç sürtünme ve görünür viskozite, kesme hızındaki artışla doğrusal olarak artmaktadır. Viskozitedeki artışa hacimdeki bir artış eşlik ediyorsa kesme kalınlaştırıcı sıvılara dilatant sıvılar denir (Singh, 2012).



Şekil 15. Newton olmayan akışkanlar (Singh, 2012).

### 1.4.4. Fonksiyonel Özelliklerin İyileştirilmesi (Jelleşme, Köpürme)

Tavuk yumurtası, sayısız fonksiyonel özelliği, özellikle de jel ağlarının oluşumu yoluyla gıda maddelerini bünyesine katma yeteneği nedeniyle, gıda üretiminde popüler bir bileşendir ve yumurta jeli, yumurta akı ve yumurta sarısının kombine jelasyonundan oluşmaktadır (Zheng, 2019). Yumurta akı proteinleri kuru maddeni %80'den fazlasını oluşturur ve temel olarak köpürme ve jelleşmeden sorumludur (Singh, 2012). Yumurta akında en çok sırasıyla ovalbümin, ovotransferrin ve ovomukoid bulunmaktadır. Ovotransferrin, pıhtılaşmayı başlatan ilk yumurta akı proteindir, dolayısıyla jelleşmede de önemli bir rol oynamaktadır (Croguennec vd., 2002). Yumurta akı proteinlerinden olan

ovalbümin, ovomusin, ovotransferrin ve lizozim köpürme için önemliyken ovalbümin, yumurta akı köpürme yeteneklerinde merkezi bir rol oynamaktadır (Singh, 2012).

Reolojik özellikler, gıda proteinlerinin işlevselliğini ve dolayısıyla teknik kalitesini belirlemektedir. Sıvı yumurta ürünlerinin fizikokimyasal özelliklerinin ve akış davranışının karakterizasyonu, işlendikten sonra yumurtaların fonksiyonel özelliklerinin değerlendirilmesi için özellikle önemlidir ve çeşitli çalışmalara konu olmuştur (de Souza ve Fernández 2013). Punidadas ve McKellar (1999), sıvı yumurta ürünlerinin reolojik özelliklerini ve yoğunluğunu pastörizasyon sıcaklıklarında incelemişler ve tüm ürünlerin Güç Yasası modeli ile açıklanabilecek psödoplastik akış davranışı sergilediğini bildirmiştir. Eş merkezli bir silindir vizkozimetre kullanılarak 277-333 K sıcaklık aralığında yumurta sarısının reolojik davranışı incelenmiş ve psödoplastik olduğu gözlenmiştir (Telis-Romero vd., 2006).

Sıvı yumurta ürünlerinin termal pastörizasyonu sırasında farklı sıcaklıklarda farklı davrandığı ve bileşimlerinin (bütün yumurta, yumurta akı veya sarısı) reolojik özelliklerini etkilediği bildirilmiş olup sıvı bütün yumurtanın 60 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda psödoplastikken daha düşük sıcaklıklarda Newton akışkanı gibi davranmaktadır (Icier ve Bozkurt, 2011).

Abbasnezhad ve ark. (2015), yaptıkları bir çalışmada sıvı yumurta akı ve sarısının farklı pastörizasyon sıcaklıklarında (50, 55 ve 60 °C) ve ortam sıcaklığında (25 °C) eş merkezli silindir viskozimetre kullanılarak akış eğrileri ve zamana bağlı akış özelliklerini değerlendirmiştir. Kayma hızı aralığı sıvı yumurta akı için 7,92–54,12 s<sup>-1</sup> ve sıvı yumurta sarısı için 1,02–33,6 s<sup>-1</sup> olduğunu, her iki sıvı yumurta akı da incelenen kesme hızlarında psödoplastik ve tiksotropik davranış gösterdiğini belirtmiştir. Yumurta sarısı için kıvam katsayısı artan sıcaklıkla azalırken, yumurta akının kıvam katsayısı biraz artarken, 25 °C'den 60 °C'ye artan sıcaklıkla birlikte akış davranış indeksi azalırken, yumurta akının kıvam katsayısı bir artış göstermiştir.

Xu ve ark. (2020), 72, 76, 80, 84 °C'de 2, 4, 6, 8, 10, 12 dakika boyunca yumurta sarısının reolojik, mikroyapısal, protein yapıları ve 3D baskı özellikleri üzerindeki etkileri

araştırılmış ve depolama modülünün ( $G'$ ), kayıp modülünün ( $G''$ ) ve viskozitenin artan ısıtma süresiyle birlikte artan bir eğilim sergilediğini göstermiştir.

Yumurta akı proteinlerinin fonksiyonel, reolojik ve yapısal özellikleri üzerine hidrodinamik kavitasyon ve akustik kavitasyon/ultrason etkisinin araştırıldığı bir çalışmada her iki kavitasyon tedavisi de moleküller arası hidrojen ve hidrofobik bağları açığa çıkararak yumurta akı proteinlerinde yapısal değişikliklere neden olarak yumurta akı proteinlerinin köpüklenmesi, jelleşmesi ve emülsifikasyonu gibi fonksiyonel özelliklerini geliştirmiştir. En iyi köpürme, emülsifiye etme ve jelleşme özelliği, 15 dakika hidrodinamik kavitasyon ile muamele edilmiş numuneler için elde edilmiştir (Asaithambi vd., 2022).

Sheng ve ark. (2021), yüksek basınçlı karbondioksitin (HPCD) sıvı bütün yumurtanın (LWE) fizikokimyasal, arayüzeysel ve reolojik özellikleri üzerindeki etkisini araştırdıkları bir çalışmada, HPCD işleminin, LWE'nin çözünürlüğünü, serbest sülfhidril gruplarını ve yüzey hidrofobikliğini arttırdığını, düşük kesme hızında LWE'nin görünür viskozitesini azalttığını ve dinamik viskoelastik özellikler, HPCD işlemi altındaki LWE'nin hem  $G'$  hem de  $G''$  modüllerinin herhangi bir frekansta kontrol grubundan daha düşük olduğunu gözlemlemiştir.

## İKİNCİ BÖLÜM

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Caner (2005a), taze yumurta kalitesinin (ağırlık kaybı, pH, Haugh ünitesi, yumurta sarısı indeksi ve renkleri) peynir altı suyu protein izolatu kaplamalarının üç farklı konsantrasyonunun (%6, 12 ve 18) oda sıcaklığında raf ömrü üzerindeki etkilerinin araştırmıştır. Bu çalışmada, peynir altı suyu protein izolatu ile kaplanan yumurtalarda daha az ağırlık kaybı olduğunu, Haugh birimleri, kaplanmış yumurtaların 3 haftalık depolama boyunca "A" sınıfında kaldığı, kaplanmamış (kontrol) yumurtalarda ise 1 haftalık depolamadan sonra "A" sınıfından "B" sınıfına değiştiği bildirilmiştir. Peynir altı suyu protein izolatu ile kaplanan yumurtaların Haugh birimi ve yumurta sarısı indeksi değerleri, kontrole kıyasla istatistiksel olarak önemli ölçüde yüksek olduğu gözlenmiştir. Kaplanmış yumurtalar arasında, Haugh Birimlerinde önemli farkın olmadığı ancak %12 ve %18 peynir altı suyu protein izolatu kaplı yumurtaların, peynir altı suyu protein izolatu %6 kaplı ve kontrol den daha yüksek yumurta sarısı indeksine sahip olduğu gözlenmiştir.

Song (2016) yılında yaptığı bir çalışmada natamisin-şellak kaplamasının ticari olarak yıkanmış yumurtalar ve pastörize yumurtalar üzerindeki antifungal etkinliğini araştırmıştır. Yumurtalar üç gruba hazırlanmış; kaplanmamış yumurtalar (kontrol), sadece şellak ile kaplanmış yumurtalar (uygulama 1) ve 400 µg/ml natamisin içeren şellak ile kaplanmış yumurtalar (uygulama 2) sınıflandırılmıştır. Yumurta grupları küf sporları ile inoküle edilmiş ve 18 gün boyunca 25 °C'de depolanmış ve küf büyümesi patates dekstroz agar (PDA) üzerinde numaralandırılarak izlenmiştir. Bu çalışmada *Mucor*, *Cladosporium* ve *Penicillium* üç cins küf test edilmiştir. Deney üç kez tekrarlanmış ve sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Kaplanmamış yumurta ve şellak kaplanmış yumurtalar arasındaki parametre karşılaştırmasına göre, şellak kaplama yıkanmış yumurtada mantar büyümesini engellemiş, pastörize yumurtalarda da *Mucor* ve *Penisilyum*'a karşı antifungal etkinlik gösterdiği bildirilmiştir. Şellak kaplamada natamisin varlığı hem ticari olarak yıkanmış yumurtalarda hem de pastörize yumurtalarda mantar bulaşmasını önemli ölçüde engellemiştir. Bu çalışmada, şellak kaplamanın natamisin taşıyıcısı olarak yumurta küfü oluşumuna karşı etkili bir şekilde koruma sağlamak için kullanılabileceğini, böylece antifungal ajanın işlenmiş yumurtaların raf ömrünü uzatabileceği ve ekonomik kaybı en aza indirebileceği sonucuna varılmıştır.

Al-Hajo vd. (2011), %5, %7,5 ve %10 şellak solüsyonu ile kapladığı tavuk yumurtalarını 25 °C'de 7 hafta depolamış ve şellak kaplamaların yumurtaların iç kalitesine etkisini araştırmıştır. Depolama süresince kaplanmış yumurtalara kıyasla kaplanmamış yumurtalarda ağırlık kaybının fazla olduğu ve HU değerlerinin daha düşük olduğunu gözlemlemiştir. Araştırmacılar ayrıca şellak film kaplamanın yumurtanın yüzey pürüzsüzlüğünü, yüzey kokusunu ve depolama sonunda genel tüketici kabul edilebilirliğini etkilemediğini ve şellak kaplamanın raf ömrünü 7 gün uzattığını belirtmiştir.

Saeed F. vd. (2017), kahverengi ve beyaz yumurtaları, %2, %3, %5 kitosan ve %2, %3, %5 şellak ile kaplamış ve 4 hafta boyunca oda sıcaklığında (25±2°C) saklamıştır. Çalışmada yumurtaların iç kalite özellikleri ve duyu özellikleri incelenmiştir. Yenilebilir kaplamalar, yumurtaların raf ömrünü etkin bir şekilde uzatmıştır. Kitosan ve şellak kaplamalar, yumurtalarda ağırlık kaybını en aza indirmiş ancak kitosan kaplamanın ağırlık kaybını en aza indirmede şellak kaplamaya göre daha az etkili olduğunu bildirmiştir. Kitosan ve şellak kaplamalar, yumurtaların yumurta sarısı ve yumurta sarısı kalitesini, kaplanmamış yumurtalara kıyasla en az 3 hafta daha uzun süre koruduğu rapor edilmiştir.

Akın ve Berber (2021), çalışmada portakal ve limon meyvelerine karnauba vaks bazlı, karnauba vaks-şellak bazlı ve şellak bazlı üç farklı türde dört farklı kaplama formüle ederek uygulamış ve meyveler 12 gün boyunca +4 °C buzdolabında ve oda koşullarında gözlenmiştir. Kuru filmlerin suda çözünürlüğün de diğer kaplamalara kıyasla en iyi çözünme şellak bazlı kaplama ile elde edilirken depolama şartlarında, oda sıcaklığında bulunan limon hariç, şellak kaplanan meyvelerde en yüksek kütle kaybı gözlenmiştir. Morfolin içeren %20-25 Karnauba vaks bazlı emülsiyon formülleri ve %0-20 şellak bazlı emülsiyon formülleri gıda kaynaklı bakterilere karşı antimikrobiyal aktivite göstermiştir.

Ma vd. (2021), şellak ve tannik aside dayalı yenilebilir kompozit kaplamanın oda sıcaklığında mangoların raf ömrünü uzatmadaki etkinliğini incelemiştir. Tannik asit-şellak'ın mangoların raf ömrünü uzattığını ve genel kalitesini kontrollere kıyasla daha yüksek bir ölçüde iyileştirdiğini, bunun da raf ömrünün yaklaşık 10 gün uzatılmasına, doku sıkılığının ve ağırlık kaybının korunmasına, solunum hızının yavaşlamasına, fiziksel özelliklerin ve kimyasal niteliklerin iyileştirilmesine, kahverengileşmenin baskılanmasına, lipit peroksidasyonunun azaltılmasına yansıdığını bildirmişlerdir. Şellak kaplamaya tannik

asit eklenmesi, formülasyonun antifungal etkisini de iyileştirdiğini, tannik asit ve şellak arasında sinerjik bir etkinin gerçekleştiğini ve bu formülasyonun mangolarının raf ömrünü uzatma ve kalite iyileştirme potansiyelinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Khorrām vd. (2017), kontrol grubu, ticari balmumu, 5,6,7 %jelatin, %3, 5, 4 ve %4,5 %İran gamı ve 9,10,11 %şellak kaplama kullanılarak “Valencia” portakalının kalite özelliklerinin değişimi araştırmışlardır. Ürünler kaplandıktan sonra 5 °C’de 60 güne kadar depolanmıştır. 132 meyvenin numuneleri her 20 günde bir alınarak 48 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra kalite değerlendirmesi yapılmıştır. En düşük meyve ağırlık kaybı ticari balmumu ile kaplanan meyvelerde gözlenirken, ticari balmumu ve şellak kullanılan tüm konsantrasyonlarda ağırlık kaybının önemli ölçülerde olmadığı görülmüştür. Çalışma sonucuna göre doku katılığını ve aroma açısından kaliteyi en çok koruyan ürün yine şellak kaplamalı meyveler olduğu bildirilmiştir. Şellak koku bırakmadan en hızlı kuruyan ve yapışkanlık bırakmayan özellikleriyle beraber ürün görünüşünde yüksek parlaklıkla ticari numular arasında en iyi alternatif olarak görülmüştür.

Aday ve Caner (2010), raf ömrü kısa olan kirazları çeşitli yenilebilir kaplamalarla (peynir altı suyu proteini izole, kitosan ve şellak) kaplayarak depolama sırasında taze kiraz kalitesinin korunmasına ve ağırlık kaybı, pH, Briks, titrasyon asitlik, askorbik asit içeriği açısından en uygun kaplamaların belirlenmesine etkilerini araştırmışlardır. Kaplamaların etkilerini karşılaştırmak için 1, 2, 4, 6, 9 ve 11’inci günlerde periyodik ölçümler yapılmıştır. Şellak kaplı kirazlarda, en düşük ağırlık kaybı ve toplam çözünür kuru madde değerleri gözlenirken en yüksek askorbik asit içeriği ve dokuda sıklık gözlenmiştir. Bu araştırmada, şellak kaplamanın solunum oranını azaltmada ve kirazların kalite parametrelerini korumada kitosan ve peynir altı suyu proteini izole kaplamalara göre daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Nanglia vd. (2022), litchi meyvelerinde perikarp kahverengileşmesini ve kalite özelliklerini incelemek için şellak balmumu ile hidroklorik asit (0.1 ve 0.2 M), sitrik asit (0.1 ve 0.2 M), askorbik asit (2.3 M ve 90.95 M) ile farklı organik asitler kullanılarak kaplamışlardır. Yapılan çalışma sonucunda soğuk hava koşullarında HCL (0.5 M)+şellak balmumu, fizyolojik ağırlıkta minimum kayıp, en yüksek sertlik ve minimum çürüme ile raf ömrünü 14 gün artırmıştır. Ayrıca bulunan polifenol oksidazların (PPO), peroksidaz (POD)

ve fenilalanin amonyak liyaz (PAL) testinin minimum enzimatik aktiviteleri ve biyoaktif bileşiklerin maksimum tutulumu, HCL+şellak ile kaplanmış litchi meyvelerinde kaydedilmiş ve HCL+şellak'ın litchi meyvelerinin kalitesini korumada ve raf ömrünü artırmada en etkili olduğunu belirtmiştir.

Beyaz Leghorn tavuğunun yumurtaları akrilik reçine, polivinil alkol, poliviniliden klorür, polivinil asetat, kazein, zein ve epolen mumu ile kaplanmıştır. Yapılan çalışmada kaplanmamış yumurtalara göre kabuk mukavemetini artıran kaplamalar polivinil alkol (5.97 Ibs), akrilik reçine (5.81 Ibs) ve zein (5.66 Ibs) dir. 13 °C'de 14 günlük depolamanın ardından, epolen mumu, polivinil klorür, akrilik reçine ve polivinil alkol ile kaplandığında nem kaybını %50 den fazla azalttığını belirtmiştir (Meyer ve Spencer, 1972).

Copur vd. (2008), 4 haftalık depolama sırasında %5, %8 ve %10 propolis konsantrasyonu ile kaplanmış taze yumurtaların iç kaliteleri üzerine yaptığı bir araştırmada, depolama sırasında albümin yüksekliğinin azaldığını, bütün yumurtalarda albümin pH'ının arttığını ancak kontrol albümin pH'ının kaplanmış yumurtalardan istatistiksel olarak yüksek olduğu belirtmiştir. Propolisin yumurta sarısı indeksi değerine etki etmediği, %10 konsantrasyonla kaplanmış yumurtanın diğer yumurtalara göre 2 hafta daha uzun süre muhafaza edildiğini belirtmiştir.

Pires vd. (2019), mineral yağ ve %5, %10 ve %15 konsantrasyonlarında pirinç proteini konsantresi ile kaplanmış taze yumurtaların iç kalitesini ve yumurta kabuğu kırılma direncini korumadaki etkinliğini 20 °C'de 8 hafta boyunca araştırmıştır. HU ve YI kaplanmış yumurtalarda daha yüksekken ağırlık kaybı en çok kaplanmamış yumurtada gerçekleşmiştir. Kaplama kullanılarak yumurta iç kaliteleri (HU, YI ve pH) kaplanmamış yumurtalara göre 4 haftaya kadar daha uzun süre korunmuştur. Kaplamalı yumurtalar arasında depolama sonrası en iyi HU (70.54), pH (8.48) ve YI (0.35) değerlerine mineral yağ sahip olurken %5, %10 ve %15 oranında pirinç proteini ile kaplanmış yumurtalar, tüm depolama süresi boyunca aralarında benzer sonuçlar vermiştir. Taramalı elektron mikroskopu ile kaplanmış yumurta kabuğunda daha düşük bir yüzey gözenekliliği gözlemlenmiş ve bu da araştırmacıların kaplama olarak kullanılan mineral yağ ve pirin proteini konsantresinin gazların ve nemin transferine karşı koruyucu bir bariyer sağlayabileceğini ifade etmiştir.

Suresh vd. (2015),  $22 \pm 1$  ve  $32 \pm 1^\circ\text{C}$  %60-70 bağıl nemde 5 haftalık depolama süresince kitosan kaplı yumurtaların iç, fiziksel ve mikrobiyolojik kalitelerini değerlendirmiştir. Kitosan karideslerden elde edilen kitinin deasetillenmesiyle elde edilmiştir. Kaplama solüsyonu için 2206 mPa.S vizkoziteye sahip kitosan kaplama solüsyonu için kullanılmış ve yumurtaların raf ömrünü  $22 \pm 1$  °C'de yaklaşık 4 hafta ve  $32 \pm 1$  °C'de 3 hafta kadar uzattığını belirtmiştir. Yumurtaların 2206 mPa.S kitosan ile üç kez kaplanması iç kaliteyi korumada ve ağırlık kaybını önlemede, yumurta üzerine bir kez kitosan kaplamaya göre daha etkili olmuştur.

Yumurtanın iç kalitesini korumak için kaplama malzemesi olarak mineral yağlar uzun zamandır kullanılmaktadır. Haugh birimi ve yumurta sarısı indeksine göre kaplanmamış yumurtalara göre  $25$  °C'de yumurtaların raf ömrünü en az 3 hafta daha uzatmıştır. Mineral yağ ile kaplanmış yumurtalarda 15 haftalık depolamadan sonra bile ağırlık kaybının azaldığı, ak pH'ının 5 haftaya kadar kaplanmamış yumurtalardan daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Yenilebilir yağlardan olan hindistan cevizi, hurma, pirinç kepeği, soya fasulyesinin yumurta iç kalitesini kaplanmamış yumurtalara göre en az 4 hafta daha uzun süre koruyabildiğini ve  $25$  °C'de 5 haftalık depolama sonunda mineral yağ, kanola yağı, mısır yağı, üzüm çekirdeği yağı, zeytinyağı, soya fasulyesi yağı ve ayçiçek yağının yumurtaların iç kalitesini korumada eşit derecede etkili olduğunu belirtmiştir (Jirangrat vd., 2010).

Shittu ve Ogunjinmi (2011), kabuk kaplama malzemelerinin (kokusuz vazelin ve parafin mumu) ve depolama koşullarının (ortam ve soğutulmuş) Haugh birimi, yumurta sarısı indeksi, ak pH, akı çözünür katılar gibi iç kalite ve haşlanmış yumurtaların duyu nitelikleri (kolaylık) üzerindeki etkisi kabuklanma, yüzey düzgünlüğü ve katı ve soyulmuş yumurtaların kokusu) 9 haftalık depolama boyunca gözlemlenmiştir. Kaplanmış yumurtaların soğutma sırasında oda sıcaklığındaki depolamaya göre daha düşük ağırlık kaybı yaşadığı, soğutulmuş yumurtaların 2 hafta boyunca etkili bir şekilde "A" derecesinde dururken oda sıcaklığında tutulan yumurtaların depolamanın 1.haftası bitmeden "B" dercesine düştüğü ve depolama koşullarından bağımsız olarak, kaplanmamış kabuklu yumurtaların daha iyi yüzey görünümüne, soyulma kolaylığına, yüzey düzgünlüğüne ve soyulduktan sonra kokuya sahip olduğu belirtmiştir. Çalışmanın sonunda kaplama ve soğutma kombinasyonunun, yumurtaların iç kalite stabilitesini (HU, YI, pH ve ağırlık kaybı) ve mikrobiyal stabiliteyi



iyileştirebileceğini ve bununla birlikte ortam sıcaklığında depolama, daha iyi soyma kaliteleri ile sonuçlanmıştır.

Caner ve Yüceer (2015), çeşitli kaplamaların (peynir altı suyu proteini izolatu, peynir altı suyu proteini konsantresi, zein ve şellak) taze yumurtaların fonksiyonel özellikleri, iç kalitesi ve yumurta kabuğu kırılma direnci üzerindeki etkinliğini 24 °C'de 6 hafta boyunca depolama sırasında değerlendirmişlerdir. Kaplamaların ve depolama süresinin Haugh birimi, yumurta sarısı indeksi, ak pH'ı, kuru madde (DMA), bağıl çırpma kapasitesi (RWC) ve ak viskozitesi üzerinde önemli etkileri olduğunu belirtmiştir. Kaplanmamış yumurtalar, depolama sırasında daha yüksek ak pH'ına ve ağırlık kaybına ve daha düşük ak viskozitesine, Haugh birimine ve sarı indeksine sahip olduğunu belirtmiştir. Kaplanmış yumurtalar arasında, şellak ve zein kaplı yumurtalar, depolamadan sonra en yüksek ak viskozite, Haugh birimine ve sarı indeksine sahip olduğunu belirterek depolama sırasında taze yumurtaların iç kalitesini korunmasında daha etkili olduklarını bildirmişlerdir. Şellak ağırlık kaybını önlemede diğer kaplamalardan daha etkili bulunmuştur. Tüm kaplamalar, kaplanmamış yumurtalara kıyasla kabuk mukavemetini önemli ölçüde artırdı. Ayrıca depolamanın sonunda taze yumurtaların içeriğini ölçmek için 800-2500 nm yansıma spektrumlarında yakın kızılötesi Fourier dönüşümü (FT-NIR) kullanılmıştır. Depolamanın sonunda şellak veya zein ile kaplanmış yumurtalar, sırasıyla 970 ve 1,197 nm'de (suyun OH titreşimi) WPI veya WPC ile kaplanmış yumurtalar ve kaplanmamış grup ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir absorbanans sergilemiştir. Kaplamalar, fonksiyonel özellikleri ve ayrıca kabuk mukavemetini iyileştirdi ve uzun süreli depolama sırasında yumurtaların iç kalitesini korumak için uygun bir alternatif teknoloji olduğu bildirilmiştir.

Musa vd. (2011), taze tavuk yumurtaların kalitesinin korunmasında yenilebilir bir kaplama olarak 40 °C'de 0, 10, 20 ve 30 gün boyunca depolanan taze tavuk yumurtalarında %1, %3, %5 şellak konsantrasyonlarına ilişkin çalışma yapmış ve taze tavuk yumurtasının 40 °C'de 30. gün sonunda ağırlık kayıplarını sırası ile %25,27; %21,32, %13,61 ve %6,47 olarak tespit etmiş olup %5 şellak konsantrasyonunun kontrol ve diğer kaplamalara kıyasla yumurtanın ağırlık kaybında önemli bir azalma sağladığı sonucuna varmıştır. Tüm saklama dönemleri için kaplanmış yumurtaların albümin pH değerleri kaplanmamış yumurtaya göre daha yüksek olduğu, 30 günün sonunda %5 şellak kaplamalı yumurtanın HU birimlerinin

110.65-87,42 arasında değişirken kaplanmamış tavuk yumurtasında HU biriminin 110.65-75,54 arasında değiştii gözlenmiştir.

Alleyne ve Hagenmaier (2000), elmaları kaplamak için deneysel bir kandelilla-şellak formülasyonu geliştirmiş ve kalite özellikleri, solunum ve iç atmosferler üzerindeki etkileri belirleyerek "Gala" ve "Lezzetli" elmalar üzerindeki ticari şellak bazlı ve karnauba-şellak bazlı kaplamalarla karşılaştırmıştır. Meyveler 5 °C'de 7 gün, ardından 21 °C'de 14 gün saklanmıştır. %7 ila %34 şellak içeren kandelilla- şellak formülasyonları ile kaplanmış "Lezzetli" elmaların parlaklığı, artan şellak konsantrasyonlarıyla birlikte artmış ve %34 şellak içeren bir kandelilla formülasyonu ile kaplanan "Gala" ve "Lezzetli" elmaların parlaklık, sertlik, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve etanol seviyeleri ticari karnauba- şellak bazlı kaplamalarla kaplanarlara benzer solunum hızı, kilo kaybı ve lezzet göstermiştir. Şellak kaplı meyvelerin çalışma süresi boyunca en yüksek parlaklık sağladığı ve 21 günlük depolama süresi boyunca parlaklığını daha az kaybettiğini belirtmiştir. Şellak kaplı elmalar diğer kaplamalara kıyasla daha sert, daha fazla etanol içerdiği ve diğer kaplama işlemi uygulanan elmalardan daha yüksek lezzet puanı aldığı belirtilmiştir. Parlaklık, sıklık, meyve solunumu, etanol, kilo kaybı ve lezzet analizi, %34 şellak içeren kandelilla formülasyonunun mevcut ticari karnauba bazlı elma kaplama ürünü ile rekabet ettiğini belirtmiştir.

Chauhan vd. (2015), domatesin raf ömrünü uzatmak için şellak ve aloe vera jeli kaplama malzemelerini kullanmıştır. Kaplamalar, domateslere uygulandığında, depolama sırasında solunum ve etilen sentez oranlarındaki sınırlı değişikliklerle karakterize edilen yaşlanmayı geciktirdiği ve şellak, aloe vera jeli ve kompozit kaplama (şellak + aloe vera jeli) kaplamalı meyveler domateslerin raf ömrünü sırasıyla 10, 8 ve 12 gün uzattığı gözlenmiştir. Şellak kaplı domates meyvelerinde fizyolojik ağırlık kaybı, şellak ve aloe vera jeli ile kaplanmış ve kaplanmamış olanlara göre daha düşük bulunmuştur. Bununla birlikte, sadece şellak ile kaplanmış meyvelerde, şellak ve aloe vera jeli ile değişikliklerin önemli olmadığı bulunmuştur. Kaplamaların enstrümantal renk (L\*, a\* ve b\* değerleri) üzerine benzer değerler görülmüştür.

En büyük avantajları ürünün kendisiyle birlikte tüketilebilen yenilebilir kaplamalar, nanoteknolojinin ortaya çıkmasıyla çıplak gözle bile görülemeyen nano ölçekte (5nm) geliştirilmiştir (Poonia ve Mishra 2021).

Baek vd. (2023), bağırsak iletimi için bir taşıyıcı malzeme olarak pH'a duyarlı doğal bazlı şellak (Sh) ve selüloz nanokristaller (CNC) kullanarak sürdürülebilir, biyouyumlu, sert ve uzun ömürlü enterik bir kaplama sistemi geliştirmişlerdir. Bunun kanıtı olarak da model olarak *Saccharomyces cerevisiae*, CaCl içeren şellak-selüloz nanokristal (ShCNC) mikrokapsüllerinde kapsüllenmiştir. ShCNCCa mikrokapsüllerinin 3D yapısı konfokal lazer mikroskop kullanılarak aydınlatılmış ve şellak-selüloz nano kompleksinden oluşan 1-1.3 µm'lik bir kabuk, mayayı koruyarak mayayı koruyarak zorlu biyolojik koşullar altında yüksek canlılık ve %602,4 oranında tutma sağlamıştır. İşleme, depolama ve gastrik ortamdan taşınma sırasında mayalar korunmuş ve pH' 7-8 olan bağırsak ortamında salınmıştır. Araştırmacılar yapılan çalışmada mikrokapsüllerin mukus zarına güçlü bir şekilde bağlandığını ortaya koymuştur.

Aji Muhammad vd. (2020), tarçın özünün kapsülleme verimliliği, antioksidan özellikleri ve nanopartiküllerin özellikleri üzerindeki etkisini araştırdıkları bir çalışmada anti-solvent çöktürme yoluyla ksantan zamkı kullanılarak tarçın kabuğu özütü içeren kararlı şellak nanoparçacıkları hazırlamışlardır. Sonuç olarak, ksantan sakızın elektrosterik stabilizasyon ile gastrik pH'daki şellak nanopartikülleri stabilize edebildiğini, kapsüllenmiş tarçın polifenollerinin alkali pH koşullarında tamamen serbest bırakıldığını gözlemlemiştir. Serbest bırakma çalışmasında, tarçınlı polifenollerin %90'ından fazlasının bağırsak pH'larında salındığı tespit edilmiştir. Nanoenkapsülasyonun, polifenol bakımından zengin tarçın ekstraktının termal stabilitesini etkili bir şekilde geliştirdiği ve tarçın özü içeren nanopartiküllerin, yüksek antioksidan aktivite sergilediğini, bunun da şellak-ksantan zamkı nanopartikül sisteminin, gıdaların sağlığı geliştirici özelliklerini geliştirmek için bir polifenol taşıyıcısı olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Sun vd. (2017), kurkumin yüklü zein-şellak kompozit kolloidal parçacıkların stabilitesinin araştırıldığı çalışmada zein-şellak ikili matrisi, kurkuminin tek tek bileşenlerden daha yüksek kapsülleme verimliliği sağladığı, kurkumin kapsülleme verimliliği zein parçacıklarında %82,7 iken zein-şellak kompleks parçacıklarında %93,2'ye yükseldiğini tespit etmiştir. Zein'in şellak'a kütle oranı 1:1 olduğunda, kurkumin yüklü zein-şellak kompozit parçacıklar, termal tedavi ve UV ışık radyasyonunun neden olduğu kurkumin bozulmasına karşı en etkili önlemeyi gösterdiği, kurkumin yüklü zein-şellak

kompleks parçacıkları, hem fosfat tamponlu tuzlu su ortamında hem de simüle edilmiş gastrointestinal sıvılarda kurkumin kontrollü salınımını sağladığı görülmüştür.

Doost vd. (2018), biyoaktif bileşiklerin kapsüllemesi için model olarak doğal bir biyoflavonoid olan quercetin'in kullanıldığı, biyopolimerler olarak badem sakızı ve şellak kombinasyonu içeren yeni bir nanopartikül dağıtım sistemi tasarlamıştır. Çalışma sonunda formüle edilen nanopartiküllerin kapsülleme verimliliği, yüzey aktif maddelerinin eklenmesiyle %78'den %98'e yükseldiğini gözlemlemiştir. Morfolojik analizler biyopolimer nanopartiküllerin oluşumunu ortaya çıkarırken, diferansiyel taramalı kalorimetre ve FTIR analizleri quercetin'in nanopartiküller içinde katı bir çözelti olarak bulunduğunu göstermiştir.

Wang vd. (2022), kurkumini pH 13.0'da birlikte çözünme ve glukono-delta-lakton kullanılarak nötrleştirme sonrasında şellak misellerinde çözdürmüştür. 5% w/v şellak ve 0,5–5 mg/mL kurkumin ile yükleme kapasitesi ve kapsülleme verimliliği sırasıyla %8,0 ve %92,6'ya kadar çıkmış ve nanokapsüllerin ortalama çapı 20 nm olarak belirtmiştir. Yapılan analizlerde kurkuminin şellak misellerinde amorf bir durumda kapsüllendiğini doğrulamıştır. Nötr nanokapsül dispersiyonları partikül boyutunu korumuş ve 4 °C'de 4 haftalık depolama sırasında %10'dan daha az kurkumin bozulması gerçekleşmiştir. Nanokapsülleyici kurkumin, kolon kanseri hücrelerine karşı in vitro biyoyararlanımı ve antiproliferasyon aktivitesini artırdığı ifade etmiştir. Simüle edilmiş sindirimden sonra, nanokapsülenmiş kurkuminin ~%60'ı bağırsak emilimi için mevcut olmadığı, nanokapsüllerin yapılarını koruduğu ve nanokapsülenmiş kurkumin, kolon kanseri hücrelerine karşı aktif kalarak kolorektal kanseri önleme için potansiyel teslimat olduğunu belirtmiştir.

Zou vd. (2022), yüksek oranda kapsülenmiş kurkumin yüklü şellak nanoparçacıklarını dönen bir dolgulu yatak yoluyla hazırlamış ve kurkumin-şellak nanopartiküllerin morfolojisi, yüksek yerçekimi seviyesini, antisolvent hacmini ve şellak konsantrasyonunu içeren deneysel parametreler altında sistematik olarak araştırmıştır. Şellak'ın yüksek düzeyde yapılandırılmış polimerik ester matrisleri ve dönen bir dolgulu yataktan mikro ölçekte getirilen yeterli aşırı doygunluk sayesinde, elde edilen kurkumin-şellak homojen boyuttaki nanopartiküller %96'nın üzerinde yüksek kapsülleme verimliliği

sergilemiştir. Oda sıcaklığında 2 ay saklandıktan sonra, sulu kurkumin-şellak nanodispersiyonlar, aglomerasyon veya çökeltme olmadan uzun süreli stabilite sergilemiş ve kurkuminin nihai tutma oranı %85 üzerine çıkmıştır.

Sun vd. (2021), rezene esansiyel yağı/tarnamalehit nanoemülsiyonunun antibakteriyel özelliği hazırlanmış ve ilk olarak domuz eti köftelerinin korunmasında kullanılan reolojik, boyut ve mikroyapıları açısından karakterize edilmiştir. Nanoemülsiyonun daha düşük vizkoziteye, daha yüksek zeta potansiyeline (31.42) ve yüzeyi daha pürüzsüz, partikül dağılımı daha üniform (PDI = 0.264) olan yarı saydam bir görünüme sahip ve kompozit nanoemülsiyonun hem *Escherichia coli* hem de *Staphylococcus aureus* üzerinde inhibitör etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Kontrol domuz eti köftelerinin kalitesi, depolama sırasında kademeli olarak düştüğünü ve 6.günde tamamen bozulduğunu ifade edilmiştir. Nanoemülsiyonun ile kaplananlarda ise küf ve maya sayısı, TBARS değeri ve TVB-N içeriği dahil olmak üzere en düşük toplam canlı sayılara sahip olduğu, ayrıca numunelerin nem durumunu, lezzetini ve dokusunu koruyarak raf ömrünü 6 günden 10 güne çıkardığı belirtilmiştir.

Pinto vd. (2015), nişasta ve kaju ağacı sakızından filmler, iki değişkenli (MMT konsantrasyonu ve sonikasyon süresi) merkezi bir bileşik tasarıma göre geliştirilmiştir. 5–10 g/100 g MMT konsantrasyonları gerilme mukavemetini ve elastik modülü artırırken daha yüksek MMT konsantrasyonları bu özellikleri bozduğu belirtilmiştir. MMT'li veya MMT'siz nişasta-kaju ağacı sakızı kaplamaları, 120 günlük depolama boyunca (özellikle nanokompozit kaplama ile kaplanmış olanlar) nem emilimini azalttığı ve kaplamaların tanelerin doku değişikliklerini azaltabileceğini göstermiştir.

Indumathi ve Rajarajeswari (2019), mahua yağı bazlı poliüretan/kitosan filmine ZnO nanoparçacıklarının eklenerek biyobozunur gıda paketleme filmleri oluşturulmuştur. Çinko oksit nanoparçacıklarının dahil edilmesi, filmin antibakteriyel özelliklerini, bariyer özelliklerini ve hidrofobikliğini arttırdığı görülmüştür. Mahua yağı bazlı poliüretan/kitosan+ ZnO nanoparçacık filmi paketlenmiş havuç dilimlerin raf ömrünün 9 güne kadar artırdığı ve ticari polietilen film ile karşılaştırıldığında bakteriyel kontaminasyonu azaltmada etkili olduğunu gözlemlemiştir.

de Araújo Soares vd. (2021),  $25 \pm 3$  °C'de ve  $70 \pm 5$  bağıl nemde 8 haftalık depolama boyunca WPI, sodyum montmorillonite nanopartikülleri ve sodyum metabisülfid ile yapılan protein bazlı kaplamanın yumurtaların iç kalitesine etkisini değerlendirmişlerdir. Kaplanmış yumurtalar, A derecesini 5 haftaya kadar korurken, kontrol yumurtalarının derecesi A derece seviyesi yaklaşık bir hafta sürmüştür. Kaplanmış yumurtalarda 8 haftalık depolamanın ardından kontrole göre önemli ölçüde daha düşük ağırlık kaybı gözlenmiştir. Protein bazlı kaplama, 5 haftalık depolamanın ardından albüminin pH'ındaki küçük değişiklikler nedeniyle kontrole (%43,45) kıyasla köpük stabilitesini ( $>75$ ) iyileştirmiştir. Kontrol yumurtaları bu çalışmanın saklama koşullarında sadece 5 hafta dayanmış, dolayısıyla bu süreden sonra iç kalite belirlenmemiş, kaplanmış yumurtalar ise 8 haftaya kadar bütünlüğünü korumuştur. Geliştirilen kaplamanın, soğutma deposunun yerini alma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir.

Echeverría vd. (2018), soya proteini izolatu-montmorillonit-karanfil esansiyel yağına dayalı aktif nanokompozit filmlerin mavi yüzgeçli orkinosun kas filetolarının korunmasına yönelik potansiyel uygulamasını değerlendirdiği çalışmasında, nanokompozit filmin *Pseudomonas* büyümesini ve lipit otooksidasyonunu azalttığı ve 2 °C depolamada ton balığı kalitesini iyileştirdiği, ayrıca montmorillonitin karanfil esansiyel yağının ton balığının raf ömrünü uzatan aktif ilkelerinin serbest bırakılmasını desteklediği ve nanokil minerallerinin (Si ve Al), nanokompozit filmlerden balık kasına yayılmadığını gözlemlemiştir.

The vd. (2008), Yenilebilir bir film olarak agar ve manyok nişastasının kullanımını, şellak ilavesiyle geliştirmiş ve agar ve manyok nişasta filmlerin WVP'si %50 şellak eklenmesiyle sırasıyla  $7,21 \times 10^{-11}$  ve  $5,58 \times 10^{-11}$  'den  $0,35 \times 10^{-11}$  ve  $1,13 \times 10^{-11}$  g/msPa'ya önemli ölçüde azaldığını gözlemlemiştir.

Neme karşı korumayı iyileştirmek için optimum şellak konsantrasyonuna sahip bir kompozit kaplama gereklidir, çünkü daha yüksek şellak konsantrasyonlarında kaplamanın homojenliği yoktur ve nem korumasında bir azalma gözlemlenebilir (Byun vd., 2012).

Luangtana-anan vd. (2017), pektinin yüksek nem koruma kabiliyetini ve kararlılığını geliştirmek için değişik şellak konsantrasyonlarına dayalı kompozit film üretmiştir. %50

şellak içeren kompozit film, 90 gün depolamadan sonra pektin filmin nem koruma kabiliyetini geliştirdiği, ancak daha yüksek şellak içeriğinin daha düşük mukavemet ve gerinim sergilediğini gözlemlemişlerdir.

Sittipaisankul (2015), ejder meyvesini şellak kaplama üzerine modifiye edilmiş hindistan cevizi yağının eklenmesiyle elde edilen kaplamayla kaplandığını ve kaplanmış meyvelerin 26 gün süreyle mantar gelişiminin önlendiği belirtmiştir.

Jitareerat vd. (2018), mangolarda antraknoz büyümesini inceleyerek modifiye hindistancevizi yağı içeren şellak kaplamanın mikroorganizmaları sınırlayabileceğini gösterdi.

Soradech vd. (2017), şellak/jelatin kompozit film ile kaplanan muzlarda, depolama sırasında renk, ağırlık kaybı, sertlik, titre edilebilir asitlik ve toplam çözünür şeker (TSS) değişiklikler bakımından kaplanmamış muzlara göre daha az değişiklik gözlemlemiştir.

Chauhan vd. (2011), elma dilimlerini ağartılmış şellak, aloe jeli (AG) ve ağartılmış şellak ve AG'den oluşan bir bileşik solüsyon gibi çeşitli kaplamalarla kaplamış ve kaplamaların solunum ve etilen sentez hızlarının yanı sıra elektrolit kaybını da önemli ölçüde azalttığı, solunum hızındaki azalmanın şellak >şellak/AG kompozit> AG> kaplama açma sırasına göre en yüksekten en düşüğe doğru olduğunu gözlemlemiştir.

Yenilebilir kaplamalarda nanopartikül kullanımının vücut ve atmosfer üzerindeki etkileri son zamanlarda daha çok araştırılmaktadır. Nanomalzemelerin kullanım kaygıları, yeni alerjenlere, çeşitli zehirli suşlara neden olabilir ve ayrıca nanomalzemelerin çevre tarafından adsorpsiyon derecelerini artırabileceği gibi nanokompozitleri kullanmanın en büyük sorunu, nanomalzemelere dayalı tüketici ürünlerinin büyük difüzyon hızının, nanomalzemelerin biyolojik sistemler üzerinde sahip olabileceği olası etkiler etrafında daha iyi bir düşünceye ihtiyaç duymasındır (Yousef vd., 2018).

Şellak ve MMT ile kaplanan yumurtanın kalite kriterlerinin incelenmesi üzerine sınırlı sayıda yayına rastlanılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, şellak kaplamanın üç farklı konsantrasyonunun (%1, %4 ve %8-a/a) ve ayrıca biyo-nanokompozit (montmorillonit-

MMT) ile kombine edilmiş Şellak (%1-a/a) etkinliğini değerlendirmektir. 24 °C’de 30 günlük depolama boyunca taze yumurtalarda periyodik olarak ağırlık kaybı, pH, kuru madde, haugh birimi (HB), sarı indeksi (SI), relatif köpük kapasitesi (RWC), renk (L\*, a\* ve b\*), kabuk mukavemeti analizleri gerçekleştirilmiştir.





## **ÜÇÜNCÜ BÖLÜM**

### **ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Materyal**

##### **3.1.1. Yumurta**

Çalışma için beyaz kabuklu yıkanmamış yumurtalar Dibako Gıda İçecek Makine Tur.San.ve Tic.Ltd.Şti. (Afyonkarahisar, Türkiye) tarafından temin edilmiştir.

##### **3.1.2. Şellak**

Şellak, Hindistan'dan ithal eden İstanbul'da yerel bir firmadan temin edilmiştir.

##### **3.1.3. MMT**

Organik olarak modifiye edilmiş montmorillonit-MMT nanokiller Southern Clay Products'dan (Gonzales, Texas, ABD) temin edilmiştir. MMT (%1- wt) konsantrasyonunda şellak (Deepika Bajoria, Batı Bengal, Hindistan) çözeltisine (%1 w/w) eklendi.

#### **3.2. Metot**

##### **3.2.1. Kaplama Materyalinin Hazırlanması**

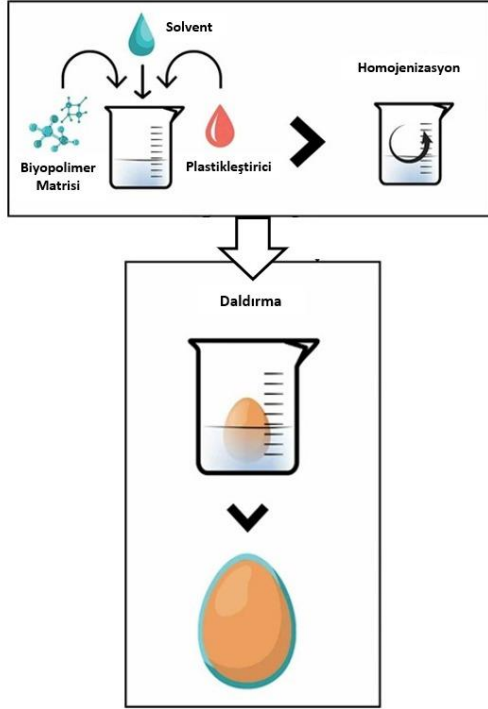
Şellak ve Şellak-MMTK10 filmlerin hazırlanmasında yaklaşık olarak şellak, etil alkol, gliserol, 2 mm ortalama partikül boyutlu (partiküllerin %20'si <100 nm) MMTK10 nanokili kullanılmıştır.

Şellak çözeltileri (%1, %4, %8 şellak) 10, 40 ve 80 g miktarda granüller halinde etil alkol içerisine 1000 ml'lik behere aktarıldı. Hazırlanan kaplama çözeltilere gliserol plastikleştirici (2.5:1 w/w) olarak eklendikten ve 24 saat karıştırılmıştır.

Şellak nanopartikülleri (MMTK10 nanokil %1) ilavesi ve karıştırıcı kullanılarak homojen olana kadar karıştırılmıştır (Luangtana-Anan vd., 2010).

### 3.2.2. Yumurtaların Kaplanması

Taze yumurtalar beşli gruplar halinde kaplama solüsyonlarına 1 dakika batırıldı, bir kez daha tekrarlandı ve kurutuldu. Kaplamadan sonra, tüm yumurtalar viollere yerleştirilerek oda sıcaklığında depolanır. Analizler sıfır, 10., 20. ve 30. günlerde tekrarlanmıştır.



Şekil 16. Yumurtalara kaplama uygulamak için deneysel yöntem

### 3.2.3. Yapılan Analizler

Haugh birimi, yolk indeksi, albümin pH'sı, yolk pH'sı, renk analizleri (kabuk, albumin ve yolk), albümin ve yolk suda çözünür kuru madde miktarları, yumurta kabuk mukavemet analizi, albümin relatif köpük oluşturma kapasitesi, köpük stabilitesi ve yumurtanın reoloji özellik analizleri depolama süresince 10., 20. ve 30.günlerde yapılmıştır.

### **Haugh Birimi Analizleri**

Katı albuminin, yumurta sarısı etrafından yaklaşık 1 cm uzaklığındaki 4 noktadan, yerden yüksekliği mikrometre (AMES S-6428, Waltham, Mass, ABD) ile ölçülmüştür. 5 noktanın ortalaması alınarak, formülasyona yerleştirilip, haugh birimi hesaplanmıştır (Cansız 2006).

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

$$H = \text{Katı albuminin yerden yüksekliği (mm)} \quad (3.1)$$

$$G = \text{Yumurta ağırlığı (g)}$$

### **Yolk İndeksi Analizleri**

Yumurta sarısının, yüksekliği mikrometre (AMES S-6428, Waltham, Mass, ABD) ve genişliği bir dijital kumpas (CD-20B, Mitutoyo, Japonya) ile ölçülüp, aşağıdaki formülasyona yerleştirilmesi ile hesaplanmıştır (Cansız 2006).

$$\text{Yolk İndeksi: } \frac{h}{d}$$

$$h = \text{Yumurta sarısı yüksekliği (mm)} \quad (3.2)$$

$$d = \text{Yumurta sarısı çapı (mm)}$$

### **pH Analizleri**

HU ve YI' yi ölçüldükten 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 ölçülmüştür.

### **Yumurta Kabuk Mukavemet Analizi**

Kabuklarının kırılmaya karşı mekaniksel dirençleri (kg/f), Texture Analyzer (TA-XT2 Plus, Texture Technologies Cor., Scarsdale, NY, ABD) kullanılarak

gerçekleştirilmiştir. Bireysel yumurta örnekleri aletlin platform üzerine yerleştirilerek prob (3 mm) ile baskı modunda 5 mm/s hızda ve 30 kg basınçta altta (geniş uçta) ve üstünde (küçük uç) ayrı ayrı yumurta kabukları delinmiştir (Yüceer ve Caner, 2014). 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 üç paralelli olarak analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar briks olarak ifade edilmiştir (Caner ve Yüceer, 2015).

### **Renk Analizleri**

Yumurtanın ak (albümin) ve sarı örnekleri ile yumurta kabuğu dış yüzeyinde renk analizleri 4 farklı yerden, Minolta CR-400 renk ölçüm cihazı ile (Minolta Chroma Meter, Model CR-400, Minolta. Co. Ltd., Japonya) “L” (beyazlık, parlaklık/siyahlık), a(kırmızılık/yeşillik), b (sarılık/mavilik) değerleri için okuma gerçekleştirilir (Caner, 2005b; Yuceer ve Caner, 2014). Çalışmada ayrıca  $\Delta E^*_{ab}$ , Chroma ve Hue açısı da hesaplanır (Caner ve Cansız, 2008).

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

$$\Delta L = L_{uygulama} - L_{kontrol}, \Delta a = a_{uygulama} - a_{kontrol}, \Delta b = b_{uygulama} - b_{kontrol}$$

$$\text{Chroma değerleri; Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}; \quad (3.3)$$

$$\text{Hue angle değerleri; Hue angle} = \tan^{-1} \left[ \frac{b^*}{a^*} \right].$$

### **Relatif Köpük Oluşturma Kapasitesi Analizleri**

Kabuklu yumurtanın el ile kırılması sonrasında ak ve bütün yumurta örneklerinin ( $20^{\circ}\text{C}$ ) 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.

$$RWC = \frac{\text{oluşan köpük} \times 100}{75} \quad (3.4)$$

### **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).

$$S = [1 - \text{Dibe çöken miktar} / 75 \times \text{yumurtanın yoğunluğu} \times 100] \quad (3.5)$$

### **Reoloji Analizleri**

Kaplamalı ve kaplamasız yumurtaların reolojik özellikleri, TA Instruments, New Castle, DE reometresi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve 40 mm paralel plaka geometrisi ile birleştirilen salınım ve kesme testi aracılığıyla değerlendirilmiştir. Tüm reolojik analizlerde boşluk 1 mm olarak ayarlanmış ve vizkozite, 25 °C'de 60 s için 0,01 ila 100 s<sup>-1</sup> kayma hızı aralığında ölçülmüştür (Yuceer, 2020).

### **İstatistiksel Analizler**

Bu araştırma sonunda tespit edilecek kalite kriterlerine, söz konusu faktörlerin etkilerinin araştırılmasında varyans analizi tekniğinden yararlanılacaktır. Hesaplamalar,

SAS (SAS Institute, Cary, NC, ABD) istatistiksel paket programlarından yararlanılarak yapılacaktır (Caner, 2009).

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



## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 4.1. Depolama Boyunca Fiziko-Kimyasal Değişimler

Yumurta kabuğu, yumurta başına 7000 ila 17.000 gözenek içeren organik ve inorganik bileşenlerden yapılmış katmanlı bir yapıdır ve yumurtaların depolanması sırasında yumurtanın içinde ürün kalitesini etkileyen çeşitli fizikokimyasal değişiklikler meydana gelmektedir (Solomon, 2010). Yumurta kabuğu, yumurtanın içi ve çevresindeki ortam arasında sürekli gaz (yani karbondioksit) ve nem alışverişine izin veren gözenekli bir yapıya sahiptir. Gözenekli yumurta kabuğu ayrıca yumurtanın dışından bakteri ve kokuların girişine izin vermektedir. Tüm bu değişimler yumurta içinde kimyasal reaksiyonları teşvik etmekte, ak ve sarıda değişimler gözlenerek kalite düşmektedir (Caner ve Yüceer, 2015).

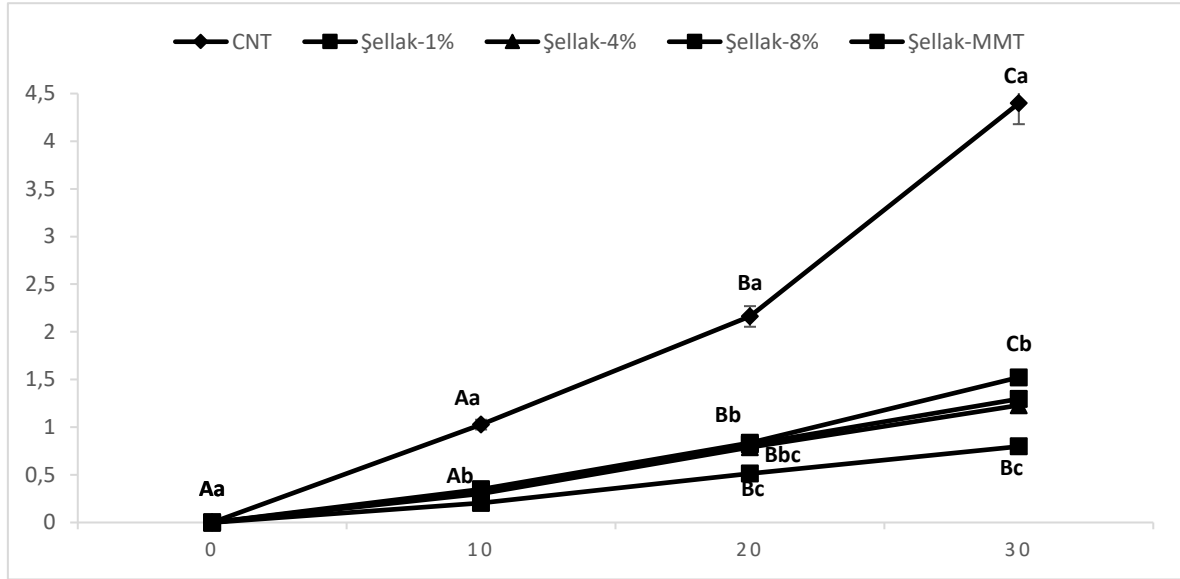
##### 4.1.1. Ağırlık Kaybı

Yumurta ağırlık kaybı, yumurta kalitesini ve raf ömrünü değerlendirmek için doğru bir ölçümdür. Yumurtaların depolanması sırasında su ve CO<sub>2</sub> kaybı doğal ve sürekli bir işlemdir (Araújo Soares vd., 2021).

Depolama sırasında yumurta ağırlığı kademeli olarak azalmaktadır. Ancak kaplanmış yumurtaların kaybı kaplanmamış yumurtalara göre daha yavaştır. Yumurta ağırlık kaybı, yumurtayı kırmadan ölçülebilen bir parametredir ve zamanla taze yumurta kalitesinin değerlendirilmesi için önemli bir özelliktir (Caner, 2005a). Yumurta ağırlık kaybı, organik bileşenlerin kimyasal ayrışması sırasında üretilen olası amonyak, nitrojen ve hidrojen sülfür kayıplarından da kaynaklanabilmektedir (Solomon, 1997).

Şellak kaplı yumurta grupların ağırlık kaybı oranı, depolama sırasında kaplanmamış gruplardan önemli ölçüde düşük çıkmıştır ( $p < 0,05$ ). Şellak-%8 (%1.28), şellak %1-MMT (%2.04) ve şellak-%1 (%2.46)'den önemli ölçüde daha düşük ağırlık kaybına sahiptir. Kaplamasız kontrol grupları (%7.86) istatistiksel olarak en yüksek ağırlık kaybını göstermiştir. Şellak-%8 kaplı yumurtalar, şellak-MMT, şellak-%4 (%1.89) ve şellak-%1 kaplı numunelere kıyasla istatistiksel olarak önemli ölçüde daha düşük ağırlık kayıpları

sergilemiştir. Şellak %1-MMT ile %4 şellak kaplı yumurtaların ağırlık kaybı birbirine benzer olduğu ve %1 şellaktan ise daha az ağırlık kaybı olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, yumurtanın kütle transferini önlemede ve yumurtanın depolanma süresini uzatmada bir avantaj sağlaması açısından tek başına şellak kaplama önceki kaplama deneyleri ile uyumludur (Saeed vd., 2017).



Şekil 17. Şellak ve şellak %1-montmorillonit kombinasyonlarının 30 günlük depolama süresince yumurtaların kilo kaybı üzerine etkisi

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

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

Rachtanapun vd. (2022), yumurtaları manyok nişastası (CS), karboksimetil selüloz (CMC) ve parafin (%6/1/0.5 w/v) çözeltisinden oluşan karışım ile kaplamıştır. Farklı sıcaklıklarda (4, 25, 30 °C) 4 hafta depolama sonunda kaplanmış yumurtalar, tüm depolama sıcaklıklarında kaplanmamış yumurtalarinkinden daha düşük ağırlık kaybı göstermiştir. Kaplama malzemeleri, 4 °C'lik (%2,8) bir depolama sıcaklığında bir yumurta ağırlığını korurken, 25 °C (%3,3) ve 30 °C'de (%4,6) ağırlık kaybı önemli ölçüde artmıştır.

Saeed vd. (2017), kahverengi ve beyaz yumurtaları, %2, %3, %5 kitosan ve %2, %3, %5 şellak ile kaplamış ve 4 hafta boyunca oda sıcaklığında (25±2 °C) saklamıştır. Depolama süresi arttıkça yumurtaların ağırlık kaybı kademeli olarak arttığı ancak şellak ve kitosan ile kaplanan yumurtaların 4 haftalık depolama süresi boyunca kaplanmamış yumurtalara göre



önemli ölçüde daha az ağırlık kaybına sahip olduğunu belirtmiştir. Araştırmacılar ayrıca şellak kaplamanın ağırlık kaybını en aza indirmede kitosan kaplamaya göre daha etkili olduğunu bildirmişlerdir.

#### 4.1.2. Haugh Birimi Analiz Değerleri

Taze yumurtalarda, kalın ak yumurta ağırlığının yaklaşık %60'ını temsil eder ve pH'ı (5,6 ila 7,5) çevre ile gaz ve nem alışverişine bağlıdır. Yumurtaların depolanması sırasında ak yüksekliğini azaltabilen zaman ve sıcaklık kritik faktörlerdir. Kalın ak, ovomüsin lizoziminin enzimatik aktivitesi,  $\alpha$  ve  $\beta$  ovomüsinler arasındaki disülfid bağları veya reaksiyonları ve ürünün pH'ındaki genel bir artış nedeniyle yumurta bayatladıkça incelmektedir (Caner ve Yüceer, 2015; Li vd., 2017; Wang vd., 2019).

Haugh (1937), yumurta kalitesinin kalın ak yüksekliği ve yumurta ağırlığının logaritmasına göre değiştiğini bir denklemle belirlemiştir. Yoğun albüminin sıvılaşması, HU değerlerinin azalmasıyla kanıtlanır.

Haugh birim skoru (HU), yumurta iç kalitesinin geleneksel bir belirleyicisidir (Valeriy G. Aruşin, 2021). Yumurta ağırlığı ve ak yüksekliğine bağlı olan Haugh birimi (HB), ak kalitesini ve dolayısıyla yumurta kalitesini ifade eden bir ifadedir ve HU değeri ne kadar yüksekse yumurtanın ak kalitesi o kadar iyidir (Musa vd., 2011). Düşük HU, ovomüsünde meydana gelen yaşlanma nedeniyle kalın albüminin incelmelerinden kaynaklanır ve kalın beyazın incilmesi, CO<sub>2</sub> kaybı pH'ı yükselttiğinde lizozimin ovomüsin ağı üzerindeki etkisine bağlı olabilmektedir. Yumurtalar yaşlandıkça, depolama sırasında vitellin zarının mukavemetini azaltan su beyazdan sarıya yayılır (Yüceer ve Caner, 2020). Genç tavuklardan elde edilen taze yumurtaların HU'su 85 ve üzerindedir (DSM, 2018); bu değer yumurta yaşlandıkça azalmaktadır (Caudill vd., 2010).

Depolama süresi arttıkça yoğun kısım aleyhine sıvı ak oranı artmaktadır. Yoğun yoğunluklu albüminin akışkanlaşması ve viskozitesinin azalması, büyük protein moleküllerine bağlı suyu serbest bırakan amino asit zincirlerinin hidrolizi yoluyla gerçekleşmektedir (Moreng ve Avens, 1990).

Hem kaplanmamış hem de şellak ve şellak %1-MMT ile kaplı yumurtalarda depolama süresinin artmasıyla haugh birim değeri azalmıştır. Ancak depolama süresince şellak ve MMT ile kaplanan yumurtalar, kaplanmamış kaplanan yumurtalardan daha yüksek haugh birimi değerleri vermiştir. 30 günlük depolama süresi sonunda kontrol yumurtaları 45,69 HU, %1 şellak kaplama 55,31 HU, %4 şellak kaplama 60,24 HU, şellak %1-MMT kaplama 58,04 HU değerindeyken %8 şellak kaplamanın 63,75 HU olduğu gözlenmiştir. (Çizelge 4.1.). Şellak kaplanmış yumurtalar 20.gününün sonuna kadar A (HU=71-60) değerini korurken kontrol yumurtalar 10.günün sonuna kadar A değerini korumuştur. Depolama süresi sonunda %4 şellak ile şellak %1-MMT kaplamanın benzer özellikler gösterdiği ancak %8 şellak kaplamanın yumurtaların HU değerini istatistiksel olarak daha iyi koruduğu tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar, şellak ve MMT ile kaplamanın depolama boyunca yumurta tazeliğini koruduğunun bir göstergesi olup, Al-Hajo (2011), Musa vd., (2011) ve Yüceer ve Caner (2020) çalışmaları ile uyumlu olarak depolama süresinin artmasına bağlı olarak kaplanmamış yumurtaların Haugh birimi değerleri şellak kaplı olanlara kıyasla daha fazla azalmıştır.

Tablo 11

Depolama sırasında (30 günlük) şellak ve şellak %1-montmorillonit kombinasyonlarının Haugh Birimi (HU) üzerindeki etkisi

| U*            | 0.GÜN                        | 10.GÜN                        | 20.GÜN                       | 30.GÜN                       |
|---------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| KONTROL       | 75.97(AA)±1.49 <sup>Aa</sup> | 66.74(A)±1.85 <sup>Ba</sup>   | 57.14(B)±1.87 <sup>Ca</sup>  | 45.69(B)±1.12 <sup>Da</sup>  |
| SH-%1         | 75.92(AA)±0.91 <sup>Aa</sup> | 70.16(A)±1.10 <sup>Bb</sup>   | 66.53(A)±1.35 <sup>Cb</sup>  | 55.31(B)±1.94 <sup>Db</sup>  |
| SH-%4         | 76.20(AA)±0.65 <sup>Aa</sup> | 72.17(AA)±0.87 <sup>Bbc</sup> | 69.02(A)±1.02 <sup>Cbc</sup> | 60.24(A)±0.86 <sup>Dc</sup>  |
| SH-%8         | 76.60(AA)±0.61 <sup>Aa</sup> | 73.66(AA)±0.69 <sup>Ac</sup>  | 70.18(A)±0.61 <sup>Bc</sup>  | 63.75(A)±0.45 <sup>Cd</sup>  |
| SH %1-<br>MMT | 76.91(AA)±0.37 <sup>Aa</sup> | 70.81(A)±1.11 <sup>Bbc</sup>  | 67.58(A)±1.75 <sup>Cbc</sup> | 58.04(B)±0.83 <sup>Dbc</sup> |

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 SH: %1 Şellak uygulanması, %4 SH: %4 Şellak uygulanması, %8 SH: %8 Şellak uygulanması, SH %1-MMT: %1 Şellak-MMT uygulanması

Yumurta sınıfları: AA, HU > 72; A, HU = 71–60; B, HU = 59–31; C, HU < 30.

Bazı araştırmacılar, yumurtaların HU değeri azalmasını farklı kaplamaların geciktirdiğini gözlemlemiştir (Caner, 2005a; Pires vd., 2019; Shittu ve Ogunjinmi, 2011). Caner ve Yüceer (2020), tarafından yapılan çalışmada, şellak kaplı yumurtaların depolama süresince albümin kalitesini korumak için en etkili olduğu ve kontrol yumurtaları için 68,27 HU (lizozim-kitosan kaplama) ve 61,21 HU (ozon), 57,14 HU (ultrason) ve ayrıca 50,04 HU ile karşılaştırıldığında, şellak kaplı yumurtalar altı haftalık depolamadan sonra bile 72,37 HU'da kaldığı gözlemlenmiştir.

Musa vd. (2011), taze tavuk yumurtaların kalitesinin korunmasında yenilebilir bir kaplama olarak 40°C'de 0, 10, 20 ve 30 gün boyunca depolanan taze tavuk yumurtalarında %1, %3, %5 şellak konsantrasyonlarına ilişkin çalışma yapmış ve 30 günün sonunda %5 şellak Kaplamalı yumurtanın HU birimlerinin 110,65-87,42 arasında değişirken kaplanmamış tavuk yumurtasında HU biriminin 110,65-75,54 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Al-Hajo vd. (2011), bildircin yumurtalarının %1, %3 ve %5 şellak ile kaplanması ve 40°C 'de muhafazası üzerine yaptıkları bir çalışmada 70 gün sonra %5 şellak kaplamalı

yumurtanın HU birimlerinin 73,16-55,37 arasında değişirken 42 gün sonra kaplanmamış tavuk yumurtasında HU biriminin 72,21-40,93 arasında değiştiği gözlenmiştir. Aynı araştırmacının 2012 yılında yaptığı bir diğer çalışmada taze tavuk yumurtasını jelatin, şellak ve rek otu yağı kaplama materyalleriyle kaplayarak yumurtanın iç kalite özelliklerini incelenmiş ve %5 şellak ile kaplanmış yumurtaların HU değişimi 30 günlük depolama süresince 82,77 ile 81,11 arasında değişirken, kaplanmayan yumurtaların 30 günlük depolamada 82,74 ile 57,57 arasında değişmiştir. Aynı çalışmacının 2011 yılında yaptığı bir çalışmada %5, %7,5 ve %10 şellak solüsyonu ile kapladığı yumurtaları 25  C'de 7 hafta saklamış ve depolama süresi sonunda %10 şellak kaplamanın HU değerini 65,72 olarak gözlemlemiştir.

#### 4.1.3. Yolk İndeks Değerleri

Yumurta sarısı indeksi, yumurta sarısı kalitesinin ve tazeliğinin kritik bir göstergesidir ve Yumurta sarısı indeksi ne kadar yüksek olursa, yumurta sarısının kalitesi o kadar iyi olmaktadır (Wardy vd., 2010). YI, yumurta tazeliğinin bir ölçüsüdür ve sarı yksekliliğinin sarı çapına oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu değer depolama sırasında azalmaktadır. Başlıca nedenleri vitellin zarın elastikiyetini kaybetmesi ve yumurta sarının sıvılaşmasıdır. Bu süreç aktaki suyun sarıya difüze olması ve sarının düzleşmesi ile gerçekleşmektedir (Caner ve Yüceer, 2015; Li vd., 2017). YI, yumurta sarının viskozitesini ifade eder; daha yüksek değerler daha iyi kalite anlamına gelmektedir (Li vd., 2017). 0,28'den küçük bir YI, normal bir yumurta olarak kabul edilir; 0,28 ile 0,38 arasında değişen değerler taze yumurta, 0,38'in üzerindeki değerler ultra taze yumurtalar içindir (DSM, 2018).

Taze, yüksek kaliteli yumurtaların YI'si yaklaşık 0.45 iken, daha yaşlı bir yumurta daha düşük bir YI'ye sahip olacaktır (Xu vd., 2017). Yumurta sarısının küresel yapısı, sarı yüksekliliği ve genişliği ölçülerek sarı indeksi (YI) olarak ifade edilmektedir. Yumurta sarısını çevreleyen vitelin membran, yumurta sarısı içeriğini albmenden ayrı tutmaktan sorumludur (Marzec vd., 2019). Suyun albüminden yumurta sarısına difüzyonu, vitelin membranın zayıflaması ve bunun sonucunda depolama sırasında yumurta sarısının dzleşmesinde rol oynayan ana faktördür. Albüminin amino asitlerinin hidroliz reaksiyonu sırasında salınan su, yumurta sarısına aktarılır ve sonuç olarak ağırlılığı artan, merkezi olmayan ve daha az yoğun hale gelen sarıdır (Wardy vd., 2010).

YI değerleri 30 günlük depolama süresince tüm yumurtalarda düşüş göstermesine rağmen kaplanmamış yumurtaların (0,28) sarı indeks değerleri kaplanmışlardan daha düşüktür. şellakla kaplanmış olan yumurtalarda yolk indeks değeri 30.günde 0,35 ile 0,39 arasında, şellak %1-MMT ile kaplama 0,37 iken bu değerler kaplanmamış yumurtanın 20.günde vermiş olduğu yolk indeks değerinden daha yüksektir.

Tablo 12

Depolama sırasında (30 günlük) şellak ve şellak %1-montmorillonit kombinasyonlarının Sarı İndeksi (YI) zerindeki etkisi

| U*        | 0.GÜN                    | 10.GÜN                    | 20.GÜN                    | 30.GÜN                    |
|-----------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| KONTROL   | 0.46±0.006 <sup>Aa</sup> | 0.41±0.011 <sup>Ba</sup>  | 0.33±0.012 <sup>Ca</sup>  | 0.28±0.008 <sup>Da</sup>  |
| SH-%1     | 0.46±0.006 <sup>Aa</sup> | 0.42±0.001 <sup>Bab</sup> | 0.38±0.006 <sup>Cb</sup>  | 0.35±0.006 <sup>Db</sup>  |
| SH-%4     | 0.45±0.006 <sup>Aa</sup> | 0.44±0.006 <sup>Bbc</sup> | 0.40±0.006 <sup>Cbc</sup> | 0.38±0.015 <sup>Ccd</sup> |
| SH-%8     | 0.47±0.006 <sup>Aa</sup> | 0.45±0.008 <sup>Ac</sup>  | 0.41±0.005 <sup>Bc</sup>  | 0.39±0.007 <sup>Cd</sup>  |
| SH %1-MMT | 0.45±0.006 <sup>Aa</sup> | 0.43±0.006 <sup>Bb</sup>  | 0.39±0.001 <sup>Cb</sup>  | 0.37±0.014 <sup>Dbc</sup> |

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

A-E Aynı stnda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (p < 0.05).

\*U: Uygulamalar, %1 SH: %1 şellak uygulanması, %4 SH: %4 şellak uygulanması, %8 SH: %8 şellak uygulanması, SH %1-MMT: %1 şellak-MMT uygulanması

Song vd. (2022), çam iğnesi esansiyel yağının (PNEO) dahil edilmesiyle indüklenen kitosan ve şellak biyobazlı emülsiyonların yapısal değişiklikleri, kaplamaların fiziksel, fonksiyonel ve antibakteriyel özelliklerindeki gelişmelerin yumurta muhafazası üzerindeki etkisini araştırdığı bir şalışmada farklı kaplama emülsiyonları ile kaplanmış yumurtaların sarı indeksinin, depolamanın artmasıyla azaldığını, kontrol grubu sarı indeksinin %76.3 azalırken kitosan-şellak-PNEO ile kaplanmış yumurtaların sarı indeksi %36.8 azaldığını gözlemlemiştir.

Yüceer ve Caner (2020), gaz halindeki ozon (6-ppm/4-dakika), ultrason (450 W/4 dk) şellak ve lizozim-kitosan (L-C) kaplaması dahil olmak üzere farklı tedavilerin ortam sıcaklığında altı hafta boyunca depolanması sırasında taze yumurtaların i kalitesi üzerindeki etkisini araştırdıkları şalışmada, depolamadan sonra kontrol yumurtalarının yolk indeks

değerinin 0.45'ten 0.27'ye düştüğünü, şellak kaplı, kitosan-lizozim, ozon ve ultrasonik işlemin yolk indeks değerlerinin sırayla 0.41, 0.36, 0.34, 0.33 olduğunu ve 6. haftadaki şellak kaplı yumurtaların YI değerleri, 2. haftadaki kontrol yumurtalarının YI değerlerine benzediğini gözlemlemiştir.

#### 4.1.4. Albümin pH Değerleri

Depolama yoluyla, albüminde pH'ın artması, proteinin incilmesi, su ve karbondioksit kaybı gibi çeşitli değişiklikler olmaktadır. Lizinoalanin, lantionin oluşumu ve amino asitlerin rasemizasyonu, işleme sırasında albümin alkali bir ortamda olduğunda meydana gelmektedir (Quan ve Benjakul, 2019). Bununla birlikte, albümin nötr pH'ta kararlı görünmekte ve tuz ilavesi ısı hasarını azaltabilmektedir (Garibaldi vd., 1968).

Albümin pH'ı, taze yumurta kalitesinin bir göstergesi olarak kullanılabilir. Tavuğun yaşı veya ırkından etkilenmediği için yumurtaların tazeliğini bu önyargı olmaksızın ölçmek mümkündür (Scott ve Silversides, 2000). Taze serilmiş yumurtalar %0,5 karbondioksit içerir ve albümin pH değeri 7.6 ile 8.5 arasındadır (Waimaleongora-Ek vd., 2009). Depolama sırasında albümin pH'ındaki artış, kabuğun gözenekleri yoluyla yumurtalardan CO<sub>2</sub> kaybından kaynaklanır ve ak pH'sı 7,6 civarında bir değere sahipken depolama esnasında pH'sı yaklaşık 9,5 değerine yükselir, ardından uzun bir depolama döneminden sonra düzleşir veya hatta biraz düşmektedir (Kemps vd., 2007). Oda sıcaklığında depolama esnasında albümin pH'sı sürekli olarak artmaktadır. Ancak bu değer, şellak ve MMT kaplama materyalleri ile azaltılmıştır (Tablo 13). Depolama sonunda kontrol grubu kaplanmamış yumurtaların albümin pH'sı, şellak ve şellak %1-MMT ile kaplanmış olan yumurtaların albumin pH'sı göre yüksek çıkmıştır. Kontrol grubu yumurtalarda, 30.günde albümin pH'sı 9,39 değerini verirken; %1 şellak ile kaplananlar için pH 9,33; %4 şellak ile kaplananlar için 9,21; %8 şellak ile kaplananlar için pH 9,15 ve şellak %1-MMT ile kaplananlar için 9,24 olarak saptanmıştır. Al-Hajo ve ark. (2011) ile uyumlu olarak depolama sonunda şellak konsantrasyonu arttıkça daha düşük pH gözlemlenmiştir.

Tablo 13

Şellak ve şellak %1-MMT kaplamaların 30 günlük depolama süresi boyunca yumurtanın albümin pH değeri üzerine etkisi

| U*       | 0.GÜN                   | 10.GÜN                   | 20.GÜN                    | 30.GÜN                  |
|----------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| KONTROL  | 8.51±0.12 <sup>Aa</sup> | 8.97±0.04 <sup>Ba</sup>  | 9.28±0.01 <sup>Ca</sup>   | 9.39±0.01 <sup>Ca</sup> |
| SH-%1    | 8.53±0.12 <sup>Aa</sup> | 8.95±0.02 <sup>Bab</sup> | 9.15±0.02 <sup>BCb</sup>  | 9.33±0.01 <sup>Cb</sup> |
| SH-%4    | 8.52±0.12 <sup>Aa</sup> | 8.92±0.01 <sup>Bbc</sup> | 9.11±0.01 <sup>Babc</sup> | 9.21±0.01 <sup>Bc</sup> |
| SH-%8    | 8.50±0.12 <sup>Aa</sup> | 8.88±0.03 <sup>Bc</sup>  | 9.06±0.04 <sup>BCc</sup>  | 9.15±0.04 <sup>Cd</sup> |
| SH%1-MMT | 8.51±0.12 <sup>Aa</sup> | 8.95±0.01 <sup>Bab</sup> | 9.13±0.01 <sup>BCb</sup>  | 9.24±0.01 <sup>Cc</sup> |

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 SH: %1 Şellak uygulanması, %4 SH: %4 Şellak uygulanması, %8 SH: %8 Şellak uygulanması, SH %1-MMT: %1 Şellak-MMT uygulanması

Waimaleongora-Ek vd. (2009), 25 °C'de 5 haftalık depolama süresince 6 farklı viskoziteye (7, 11, 14, 18, 22 ve 26 cP) sahip mineral yağ ile kaplanmış yumurtaların kalitesinin ve raf ömrünün araştırıldığı çalışmada, kaplanmamış yumurtaların pH sınırın 8,71'den 9,42'ye yükseldiği, 7 ile 14 cP vizkoziteye sahip mineral yağı ile kaplanmış yumurtaların depolama sonunda albümin pH'sının 8,71'den sırasıyla 9,37 ve 8,95'e yükseldiği ancak bu durumun 18 ile 26 cP yüksek vizkoziteye sahip mineral yağ ile kaplanmış yumurtalar için gözlemlenmediğini bu sonuçlarla daha yüksek viskoziteye sahip mineral yağın, 5 haftalık depolama süresince kaplanmış yumurtaların albümin pH'ını stabilize ettiğini belirtmiştir.

#### 4.1.5. Yumurta Sarısı pH Değerleri

Taze bırakılmış bir yumurtadan elde edilen yumurta sarısının pH'ı, depolama sırasında 6.4 ile 6.7'ye yükselebilmektedir (Yüceer ve Caner, 2020).

Depolama boyunca yumurta sarılarının pH değerleri hem kaplanmış hem de kontrol örneklerinde artmıştır. Kontrol grubu yumurtaların sarısının pH'sı, şellak ve şellak %1-MMT ile kaplanan yumurtaların pH'sından daha yüksek çıkmıştır. 30 günlük depolama

sonunda Kontrol grubu yumurtaların sarısının pH'sı 6,43; %1 şellak ile kaplananlar için pH 6,29; %4 şellak ile kaplananlar için 6,27, %8 şellak ile kaplananlar için 6,25 ve şellak %1-MMT ile kaplananlarda ise 6,28 olarak saptanmıştır.

Tablo 14

Şellak ve şellak %1-MMT kaplamaların 30 günlük depolama süresi boyunca yumurta sarısının pH değeri üzerine etkisi

| U*        | 0.GÜN                   | 10.GÜN                   | 20.GÜN                  | 30.GÜN                   |
|-----------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| KONTROL   | 5.98±0.02 <sup>Aa</sup> | 6.22±0.01 <sup>Ba</sup>  | 6.33±0.01 <sup>Ca</sup> | 6.43±0.02 <sup>Da</sup>  |
| SH-%1     | 5.99±0.02 <sup>Aa</sup> | 6.14±0.01 <sup>Bb</sup>  | 6.24±0.04 <sup>Cb</sup> | 6.29±0.01 <sup>Cb</sup>  |
| SH-%4     | 5.98±0.02 <sup>Aa</sup> | 6.09±0.01 <sup>Bbc</sup> | 6.22±0.02 <sup>Cb</sup> | 6.27±0.01 <sup>Cbc</sup> |
| SH-%8     | 5.97±0.02 <sup>Aa</sup> | 6.07±0.04 <sup>Bc</sup>  | 6.20±0.01 <sup>Cb</sup> | 6.25±0.04 <sup>Cc</sup>  |
| SH %1-MMT | 5.99±0.02 <sup>Aa</sup> | 6.14±0.01 <sup>Bb</sup>  | 6.23±0.02 <sup>Cb</sup> | 6.28±0.01 <sup>Cb</sup>  |

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 SH: %1 Şellak uygulanması, %4 SH: %4 Şellak uygulanması, %8 SH: %8 Şellak uygulanması, SH %1-MMT: %1 Şellak-MMT uygulanması

Biladeau vd. (2009) tarafından parafin mumu, mineral yağ, SPI, WPI ile kaplanmış yumurtaların 12 haftalık buzdolabında saklama süresi boyunca hiçbir değişiklik göstermediği, tüm tedaviler ve zaman periyotlarında, sarının pH'ındaki değişikliğin minimum düzeyde olduğu belirtilmiştir.

#### 4.1.6. Toplam Kuru Madde Değerleri

Yumurta kuru maddesini etkileyen en önemli yumurta bileşimi özellikleri, sarının oranı ve ak kuru madde konsantrasyonudur (Hartmann vd., 2003).

Albüminin toplam katı (kuru madde) konsantrasyonu, albümin seyreltmesi veya sıvılaştırma açısından yumurta tazeliğinin bir göstergesi olarak da kullanılmıştır. Bu sıvılaşmaya, proteaz enzimlerinin etkileşimi, artan pH değerleri ile hidroksil iyonlarının depolimerizasyonu ve ovomüsin-lizozim kompleksi neden olabilmektedir. Albüminde bulunan su yumurta sarısına nüfuz eder ve yumurta sarısında bulunan bazı besinler albümine



nüfuz eder ve depolama sırasında, yumurta sarısının albümine karışması nedeniyle kuru madde birikimi artmaktadır (Chekh vd., 2021).

Tablo 15

Şellak ve şellak %1-MMT kaplamaların 30 günlük depolama süresi boyunca yumurtanın albümin kuru madde değeri üzerine etkisi

| U*        | 0.GÜN                    | 10.GÜN                    | 20.GÜN                    | 30.GÜN                    |
|-----------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| KONTROL   | 12.87±0.12 <sup>Aa</sup> | 15.30±0.09 <sup>Ba</sup>  | 16.62±0.22 <sup>Ca</sup>  | 17.40±0.25 <sup>Da</sup>  |
| SH-%1     | 12.90±0.12 <sup>Aa</sup> | 14.76±0.08 <sup>Bb</sup>  | 15.50±0.13 <sup>Cb</sup>  | 16.33±0.12 <sup>Db</sup>  |
| SH-%4     | 12.86±0.12 <sup>Aa</sup> | 14.50±0.07 <sup>Bbc</sup> | 15.23±0.08 <sup>Cbc</sup> | 15.96±0.10 <sup>Dc</sup>  |
| SH-%8     | 12.87±0.12 <sup>Aa</sup> | 14.33±0.08 <sup>Bc</sup>  | 15.10±0.09 <sup>Cc</sup>  | 15.60±0.07 <sup>Dd</sup>  |
| SH %1-MMT | 12.85±0.12 <sup>Aa</sup> | 14.62±0.1 <sup>Bbc</sup>  | 15.32±0.19 <sup>Cbc</sup> | 16.15±0.12 <sup>Dbc</sup> |

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 SH: %1 Şellak uygulanması, %4 SH: %4 Şellak uygulanması, %8 SH: %8 Şellak uygulanması, SH %1-MMT: %1 Şellak-MMT uygulanması

Tablo 16

Şellak ve şellak %1-MMT kaplamaların 30 günlük depolama süresi boyunca yumurta sarısı toplam kuru madde değeri üzerine etkisi

| U*        | 0.GÜN                    | 10.GÜN                     | 20.GÜN                    | 30.GÜN                    |
|-----------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| KONTROL   | 47.09±0.36 <sup>Aa</sup> | 45.66±0.11 <sup>Ba</sup>   | 44.50±0.28 <sup>Ca</sup>  | 43.33±0.24 <sup>Da</sup>  |
| SH-%1     | 47.11±0.36 <sup>Aa</sup> | 46.26±0.48 <sup>Bab</sup>  | 45.95±0.26 <sup>Bb</sup>  | 45.10±0.19 <sup>Cb</sup>  |
| SH-%4     | 47.10±0.36 <sup>Aa</sup> | 46.56±0.11 <sup>ABb</sup>  | 46.33±0.37 <sup>Bb</sup>  | 45.87±0.20 <sup>Bc</sup>  |
| SH-%8     | 47.09±0.36 <sup>Aa</sup> | 46.65±0.20 <sup>ABb</sup>  | 46.57±0.70 <sup>ABb</sup> | 46.25±0.54 <sup>Bc</sup>  |
| SH %1-MMT | 47.09±0.36 <sup>Aa</sup> | 46.42±0.47 <sup>ABab</sup> | 46.18±0.08 <sup>BCb</sup> | 45.60±0.16 <sup>Cbc</sup> |

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 SH: %1 Şellak uygulanması, %4 SH: %4 Şellak uygulanması, %8 SH: %8 Şellak uygulanması, SH %1-MMT: %1 Şellak-MMT uygulanması

#### 4.1.7. Relatif Köpük Kapasitesi Değerleri

Birkaç matematiksel denklem köpük hacmini ve köpürme stabilitesini değerlendirmektedir. İlk durumda, albüminin köpürme kapasitesi (%), proteinin çözeltiye hava katma kapasitesini temsil etmektedir.

Yumurta akının çok işlevli özellikleri (jelleşme, köpüklenme, su bağlama ve emülsifiye etme gibi), onu gıda endüstrisi ve biyomedikal uygulamalar için harika bir malzeme haline getirmektedir. İşlevselliklerini etkileyen yumurta akı proteinlerinin emülsifiye edici aktivitesi ve emülsiyon stabilitesi, pH, protein konsantrasyonu ve tuzların varlığına bağlıdır (Jalili-Firoozinezhad vd., 2020).

Köpük, her biri bir protein filmi ile kaplı ve suyla dolu ince lamellerle ayrılmış milyonlarca hava kabarcığından oluşmaktadır. Sıvı yumurta akı çırıldığında yumurta akı köpüğü oluşturulmaktadır (Duan vd., 2017). Yumurta akı proteini (EWP), gıda endüstrisinde, bezeler, içecekler, fermante gıdalar, kekler, çırpılmış krema ve çikolatalı mus gibi havalandırılmış gıdaların doku ve hacmini iyileştirmek ve korumak için bir köpürtücü ajan olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Huang vd., 2017). Yumurta akı, köpürtme sırasında hava-sıvı arayüzünde hızlı absorbe olmak için ve moleküller arası etkileşimler yoluyla yapışkan bir viskoelastik film oluşturma kabiliyeti ile gıdalar arasında mükemmel köpürme özelliği sahiptir ve protein molekülleri hidrofilik ve hidrofobik olarak işlev görek hidrofilik gruplar su fazına, hidrofobik gruplar ise hava fazına doğru düzenlenmektedir (Lomakina ve Mikova, 2006).

Yumurta akı sert ve ince olmak üzere gözle görülebilen iki fraksiyondan oluşur ve sert ak yumurta depolama sürecinde giderek azalırken ince ak içeriği artmakta ve İnce albüminin köpürme kapasitesi daha yüksekken, sert kısmın daha yüksek köpürme kararlılığına sahip olduğu kanıtlanmıştır (Sheng vd., 2018).

Çırpma sırasında hidrofobik bölgeler, ara yüzeyde adsorpsiyonu teşvik ederek kısmi yüzey denatürasyonuna neden olmaktadır. Moleküler bileşimdeki bu değişiklik, sıvı-hava arayüzünde biriken bazı proteinlerin çözünürlüğünün veya çökmesinin kaybolmasına neden olmaktadır (Lomakina ve Mikova, 2006).

Köpük üç ana mekanizma ile çökmektedir. Birincisi, yüksek basınçlı bir bölge olan içeriden hava difüzyonunun kabarcık boyutunu zamanla azalttığı, zamanın bir fonksiyonu olarak kabarcıkların orantısızlığıdır. İkincisi, lamellerin yırtılmasıdır- itme ve çekme kuvvetleri nedeniyle kabarcıklar hızla birleşir ve iki kabarcık arasında delikler oluşmasına neden olmaktadır. Ve üçüncüsü, kabarcıkların etrafındaki drenaj suyu doğal olarak sıvı tabakaya akar ve sonunda balonu desteklemek için çok ince hale gelmektedir ve böylece balonun etrafındaki filmde proteinleri çıkarmaktadır (Lomakina ve Mikova, 2006).

Yumurta beyazı, mükemmel köpük özelliklerine sahip proteinlerin bir karışımıdır ve yapısında bulunan globulinler köpük oluşumunu kolaylaştırırken, ovomüsin-lizozim kompleksi köpüğe stabilite vermektedir (Alleoni ve Antunes, 2004).

EWP'deki ana protein bileşeni olan, %50'si hidrofobik ve %33' ü yüklü olan, 385 amino asitten oluşan ve bu da EWP'nin lipofilik bileşenlerin yüksek verimli bir taşıyıcısı olarak kullanılma potansiyelini gösteren, en sık kullanılan köpürtücü ajanlardan biri olan ovalbümine ferulik asit ilave edilerek köpüklenme özelliği artırılmıştır (Chang vd., 2019; Chang vd., 2020; Żmudziński vd., 2014).

Tablo 17

Şellak ve şellak %1-MMT kaplamaların 30 günlük depolama süresi boyunca yumurtanın relatif köpük kapasitesi üzerine etkisi

| U*        | 0.GÜN                   | 10.GÜN                   | 20.GÜN                   | 30.GÜN                  |
|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| KONTROL   | 906±20.82 <sup>Aa</sup> | 770±14.14 <sup>Ba</sup>  | 706±30.55 <sup>Ba</sup>  | 623±20.82 <sup>Ca</sup> |
| SH-%1     | 905±20.82 <sup>Aa</sup> | 840±14.14 <sup>Bab</sup> | 815±7.07 <sup>Bb</sup>   | 785±7.07 <sup>Bb</sup>  |
| SH-%4     | 908±20.82 <sup>Aa</sup> | 865±21.21 <sup>ABb</sup> | 840±14.14 <sup>Bb</sup>  | 815±7.07 <sup>Bb</sup>  |
| SH-%8     | 911±20.82 <sup>Aa</sup> | 870±28.28 <sup>ABb</sup> | 860±14.14 <sup>ABb</sup> | 835±7.07 <sup>Bb</sup>  |
| SH %1-MMT | 907±16.07 <sup>Aa</sup> | 850±14.14 <sup>ABb</sup> | 830±14.14 <sup>Bb</sup>  | 800±10 <sup>Bb</sup>    |

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 SH: %1 Şellak uygulanması, %4 SH: %4 Şellak uygulanması, %8 SH: %8 Şellak uygulanması, SH %1-MMT: %1 Şellak-MMT uygulanması

Depolama süresi boyunca RWC' de bir düşüş gerçekleşmiştir. 30 günlük depolama sonunda kaplanmamış yumurtanın RWC değeri 623, %1 şellak (785), %4 şellak (815), %8 şellak (835) ve şellak %1-MMT (800) dir.

#### **4.1.8. Köpük Stabilitesi Değerleri**

Köpük stabilitesi (%) köpüğün ilk hacmi ile köpüğü 30 dakika tuttuktan sonraki son hacmi arasındaki karşılaştırmadır; proteinin köpüğün özel görünümünü koruma kapasitesini temsil etmektedir (Bermudez-Aguirre ve Niemira, 2022).

Köpük, dağınık bir faza (genellikle hava) ve sürekli bir faza sahip iki fazlı bir sistemdir (Muthukumaran vd., 2008). Köpürme, köpürtücü ajanların hava-su arayüzünde adsorbe etme ve yüzey gerilimini hızla düşürme kabiliyetinden etkilenirken köpük stabilitesi farklı arayüz özelliklerinden etkilenmektedir (Chang vd., 2020).

Protein köpükleri, köpürme gücü ve köpük stabilitesi olmak üzere iki faktörle karakterize edilir. Köpürme gücü veya köpüklenebilirlik, bir protein çözeltisine gaz verildiğinde gaz fazı hacminin yüksekliği ile ilgilidir ve köpük hacmindeki artış ölçülerek belirlenmektedir. Köpük stabilitesi, sıvının köpükten atılma hızı veya köpüğün hacminin zamanla azalma hızı ölçülerek belirlenmektedir (Raikos vd., 2007). Proteinler için, köpüklenme kapasitesi ve stabilitesi, gazlı gıda ürünleri için uygun olup olmadıklarını belirlemek için kritik değerlendirme kriterleridir (Chang vd., 2021).

Protein köpüklerinin karıştırma, kesme ve ısıtma gibi çeşitli işlemlerden geçerken önce istenen köpünebilirliği elde etmesi ve ardından stabilizeyi koruması önemlidir. Bu nedenle, köpünebilirliği, mekanik ve termal kararlılığı belirleyen faktörler, protein köpüklerinin uygun gıda uygulamaları için önemlidir (Foegeding vd., 2006). Köpüklenme özelliklerinin kalitesini ve düzenliliğini arttırmak için önemli bir yol, genellikle proteinlerin çözünür kalması koşuluyla proteinlerin ısıya bağlı denatürasyonundan oluşmaktadır (Croguennec vd., 2007).

Yumurta akında bol miktarda bulunan protein bileşeni ovalbümini, oldukça istisnai termal ve yüzey özelliklerinden dolayı yumurta akının emülsibilite, köpürme ve jelleşme gibi işlevlerinin büyük bir kısmına katkıda bulunmaktadır (Jin vd., 2023; Sheng vd., 2018).

Yumurta akında bulunan proteinlerden konalbumin, lizozim, ovomüsin 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). Ferreira ve ark. (2001), ovomüsini uzaklaştırılmış yumurta akını taze yumurta akı ile karşılaştırdıklarında daha düşük köpürme ve viskozite özelliklerine sahip olduğunu gözlemlemiştir.

Depolama süresi boyunca köpük stabilitesinde bir düşüş gerçekleşmiştir. 30 günün sonunda kaplanmamış yumurtanın köpük stabilitesi değeri (15), %1 şellak (18,50), %4 şellak (21,50), %8 şellak (22,50) ve şellak %1-MMT (21) dir.

Tablo 18

Şellak ve şellak %1-MMT kaplamaların 30 günlük depolama süresi boyunca yumurtanın köpük stabilitesi üzerine etkisi

| U*        | 0.GÜN                    | 10.GÜN                    | 20.GÜN                    | 30.GÜN                    |
|-----------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| KONTROL   | 30.33±0.58 <sup>Aa</sup> | 23.00±1.00 <sup>Ba</sup>  | 25.50±0.71 <sup>Ba</sup>  | 15.00A±1.00 <sup>Ca</sup> |
| SH-%1     | 30.50±0.71 <sup>Aa</sup> | 27.50±0.71 <sup>Ab</sup>  | 23.50±0.71 <sup>Bab</sup> | 18.50±0.71 <sup>Cb</sup>  |
| SH-%4     | 30.40±0.71 <sup>Aa</sup> | 29.00±1.41 <sup>Ab</sup>  | 25.00±1.41 <sup>Bb</sup>  | 21.50±0.71 <sup>Cbc</sup> |
| SH-%8     | 30.66±0.71 <sup>Aa</sup> | 29.50±0.71 <sup>ABb</sup> | 26.50±0.71 <sup>Bb</sup>  | 22.50±0.71 <sup>Cc</sup>  |
| SH %1-MMT | 30.66±0.71 <sup>Aa</sup> | 28.50±0.71 <sup>Ab</sup>  | 24.50±0.71 <sup>Bb</sup>  | 21.00±1.41 <sup>Cbc</sup> |

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 SH: %1 Şellak uygulanması, %4 SH: %4 Şellak uygulanması, %8 SH: %8 Şellak uygulanması, SH %1-MMT: %1 Şellak-MMT uygulanması

#### 4.1.9. Yumurta Kabuğu Kırılma Mukavemeti Değerleri

Kalsiyum karbonat mineral fazından, lipitlerin ve proteinlerin organik bir fazından oluşan ve en dışında çevre ile temas halinde olan kütikülle kaplı çok işlevli bir biyomineral

kompleksi olan yumurta kabuğu, mikroorganizmaların girişinin yanı sıra su alışverişine karşı bir bariyer görevi görerek yumurtalara mekanik dayanıklılık sağlamaktadır (Wellman-Labadie vd., 2008). Yumurta kabuğu çıplak gözle bakıldığında homojen bir yapıda görünmeli, temiz, düzgün ve çatlaksız olmalıdır. Önemli bir faktör yumurta çatlamasını azaltmaktır. Artan kabuk mukavemeti, çatlamış yumurta sayısını azaltabilir ve bu da endüstri için önemli tasarruf sağlamaktadır (Caner ve Yüceer, 2015). Yumurta kabuğu kırılığandır ve çatlamış yumurtalar sağlık tehlikelerine yol açabilecek bakteriyel enfeksiyonlara karşı daha savunmasızdır; bu nedenle çatlama yumurta kalitesini düşürmekte ve tüketici sağlığını tehdit etmektedir (Deng vd., 2010; Liu vd., 2017). Büyük çatlaklar, kılcak çatlaklar, yıldız çatlakları, sivilceler, iğne delikleri, zımpara kâğıdı ve kösele görünümü ve şekil bozukluğu gibi anormalliklerin oluşumu da dahil bazı kabuk kusurları, toplam yumurta üretiminin yaklaşık %0,5 ila %6'sını oluştururken yıkama, taşıma ve depolama dahil üzere çeşitli seviyelerde toplam yumurta üretiminin yaklaşık %7 ila %8'inin yumurta kabuğu kırılması nedeniyle atılmaktadır (Liu vd., 2017).

Kabuk mukavemeti, kırılmadaki maksimum gerilimdir (Xu, 2017). Sofralık yumurtaların dış kalitesi, kabuk mukavemetinden değerlendirilir ve yumurta kabuğu mukavemeti, depolama ve taşıma nedeniyle yumurta kabuğunun kırılma hassasiyetini azalttığı için çok önemlidir (Sharaf Eddin ve Tahergorabi, 2019).

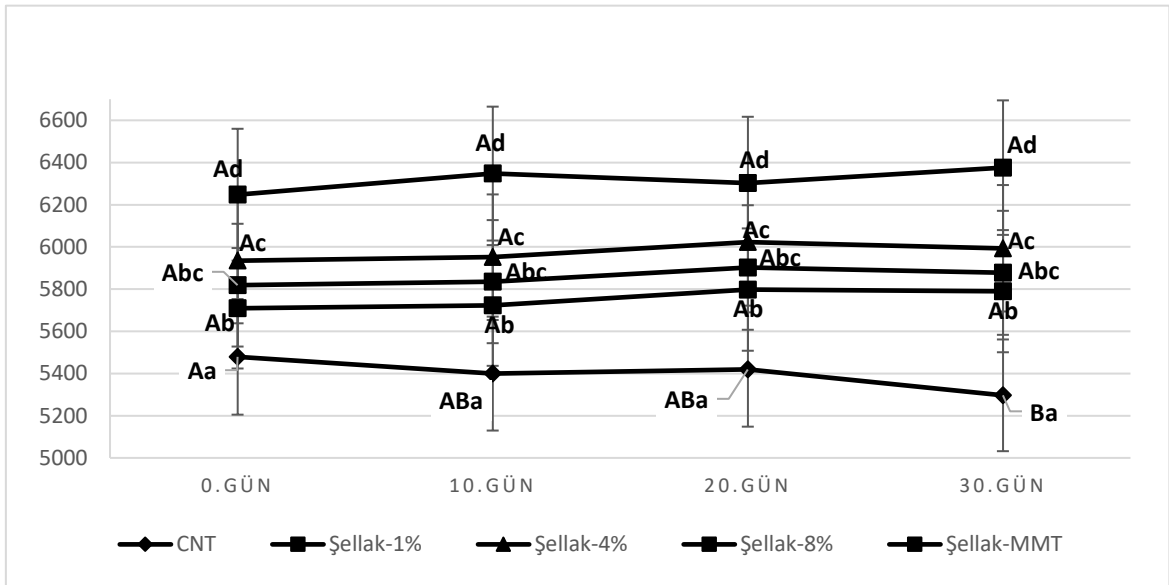
Yumurta kabuğu sofralık yumurtalar için bir ambalaj görevi görürken yumurta içeriğini mekanik darbelerden ve mikrobiyal istiladan korur ayrıca kabuk gözeneklerinden su ve gaz değişimini kontrol etmektedir (Sun vd., 2012). Kabuk kalitesi, tüketici tercihinde önemli bir faktördür ve mümkün oldukça mekanik darbelerle karşı güçlü olmalıdır. Bu nedenle yenilebilir kaplamalar yumurtayı mekanik hasarlardan korurken kabuktan gaz alışverişini de en aza indirgeyebilmektedir.

Bu çalışmada, şellak ile kaplanmış yumurtaların konsantrasyonu arttıkça kabuk mukavemetleri arttığı gözlemlenmiştir.

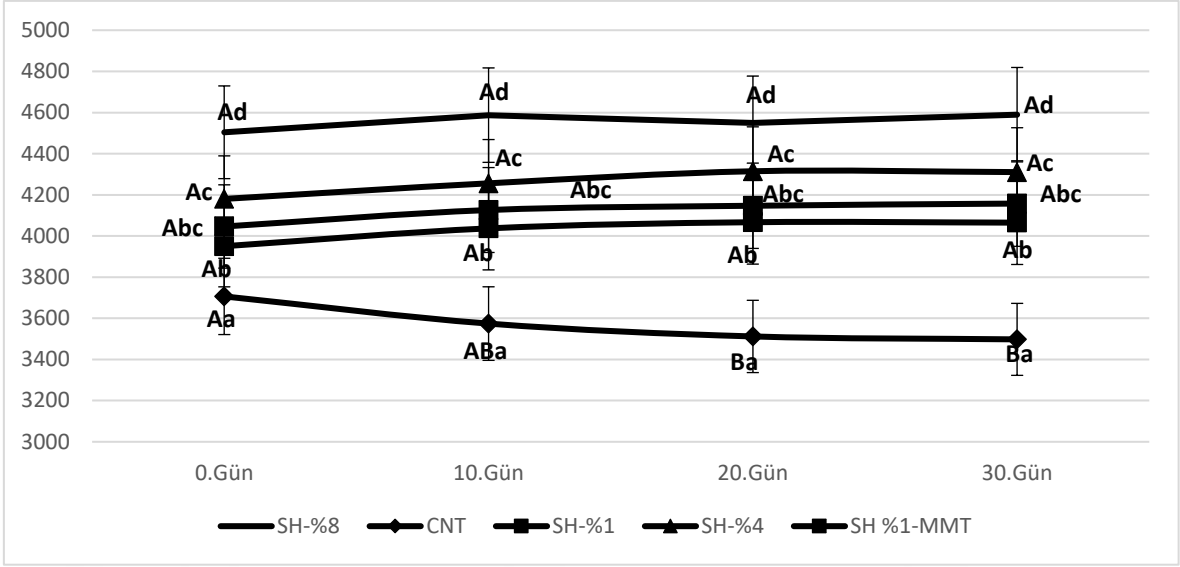
Sharaf Eddin ve Tahergorabi (2019), kekik esansiyel yağı konsantrasyonları dahil edilen tatlı patates nişastası bazlı kaplamaların, kaplanmamış veya sadece tatlı patates

nişastası ile kaplanmış muadillerine kıyasla sofralık yumurtaların kabuk mukavemetini önemli ölçüde artırdığını gözlemlemiştir.

Biladeau ve ark. (2007), balmumu, mineral yağ, SPI, WPI ile kaplanmış yumurtalarda depolama sırasında kabuk mukavemetinde herhangi bir değişiklik bulamamıştır. Balmumu kaplı yumurtaların en yüksek kabuk direncine sahip olduğu, kaplanmamış yumurtaların ise en düşük kabuk direncine sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 18. Depolama süresince (30 günlük) şellak ve şellak %1-montmorillonit kombinasyonlarının yumurtanın üst ucunun yumurta kabuğu delinme mukavemeti üzerine etkisi



Şekil 19. Depolama süresince (30 günlük) şellak ve şellak %1-montmorillonit kombinasyonlarının yumurtanın alt ucunun yumurta kabuğu delinme mukavemeti üzerine etkisi

<sup>a-c</sup> Farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır ( $p < 0.05$ ).

<sup>A-E</sup> Farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır ( $p < 0.05$ ).

#### 4.1.10. Reolojik Özellikler

Reoloji, maddenin akışını ve deformasyonunu inceler ve gıda sistemlerinin temel malzeme özelliklerini karakterize etmek için önemli bir araçtır (Zhong ve Daubert, 2013). Ayrıca reoloji, belirli bir malzemeye etki eden stres ile bunun sonucunda ortaya çıkan deformasyon ve/veya akış arasındaki bir ilişkiyi tanımlamaya çalışmaktadır (Tabilo-Munizaga ve Barbosa-Cánovas, 2005).

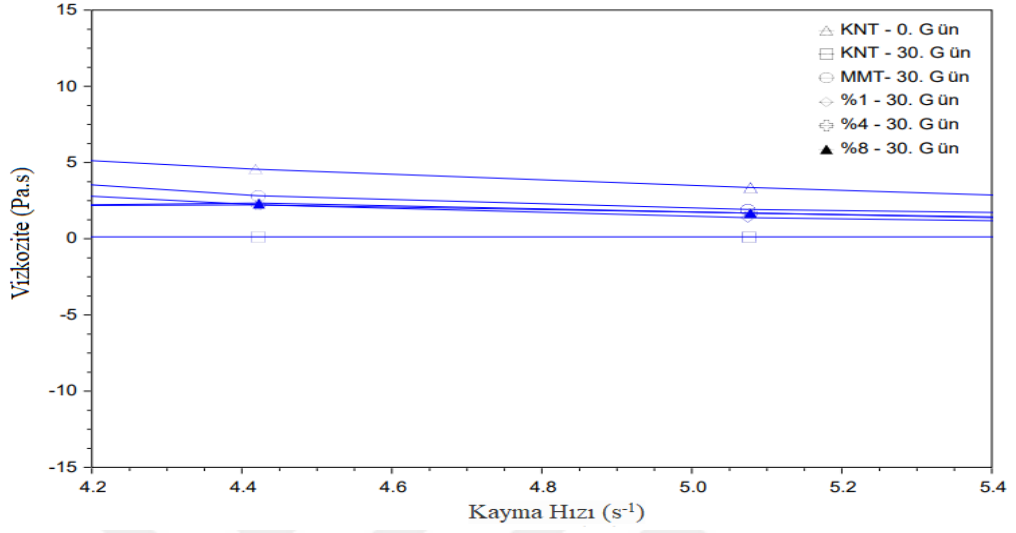
Reolojik bir bakış açısından, gıdalar viskoz, viskoelastik ve elastik olarak karakterize edilebilmektedir. Gıda reolojisi ölçümleri, rotasyonel veya salınımlı modlarda yapılabilir ve gıda akışı ve viskoelastik davranış hakkında değerli bilgiler sağlamaktadır (Zheng, 2019).

Yumurta kabuğundaki gözeneklerden karbondioksit kaybı pH'ı yükselterek elektrostatik bağlantılar tarafından stabilize edilen ve taze yumurta albümeninin üstün viskozitesinden sorumlu olan ovomüsin-lizozim kompleksinin kırılmasını etkiler ve

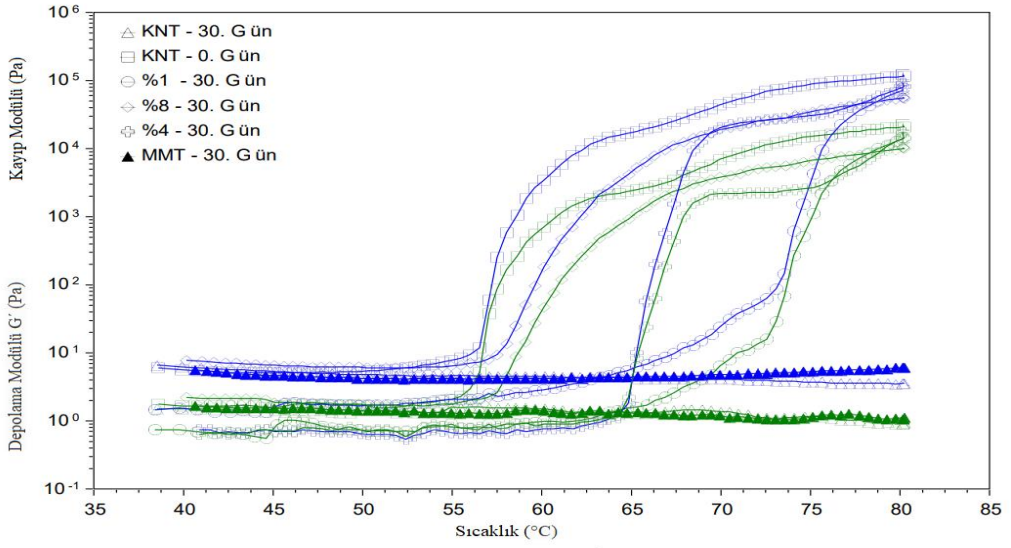


viskozite değerlerinin azalması albümen incelmesine neden olarak yumurtaların raf ömrü ile doğrudan ilişkilidir (Caner ve Cansız, 2008).

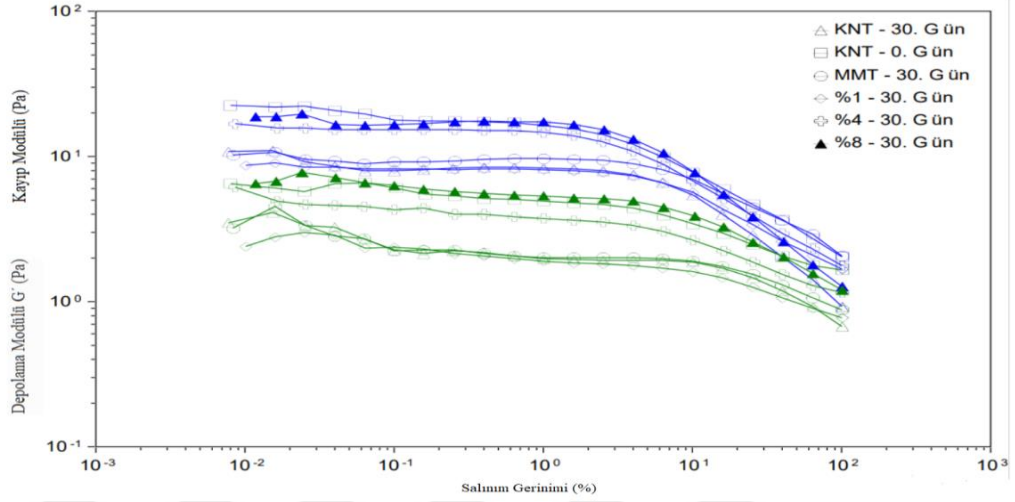
a)



b)



c)



Şekil 20. Depolama sonunda (30 günlük) bütün yumurta kabuğunun (a) şellak ile kaplanmış (%1, %4, %8), şellak-MMT ile kaplanmış ve kaplanmamış (kontrol-KNT) reolojik eğrileri kayma hızı eğrilerine karşı, (b) sıcaklık eğrilerine karşı depolama modülü ve kayıp modülü ve (c) gerinime karşı elastik modülün ve viskoz modülün bir fonksiyonu olarak salınım gerinim tarama testi eğrileri (n = 5)

Depolama sonunda (30 günlük) şellak ve şellak-MMT ile kaplanmış yumurtaların akış davranışları verileri Şekil 20'de sunulmuştur. %1, %4, %8 şellak ile kaplanmış, %1 şellak-MMT ile kaplanmış ve kaplanmamış bütün yumurta kabuğunun reolojik eğrileri: (a) viskoziteye karşı kayma hızı eğrileri; (b) sıcaklık eğrilerine karşı depolama modülü ve kayıp modülü ve (c) gerinime karşı depolama modülü ve kayıp modülün bir fonksiyonu olarak salınım gerinim tarama testi eğrileridir.

24°C'de 30 günlük depolama sonunda kaplanmamış yumurtaların sarı indeksinin 0,46'dan 0,28'e düştüğü gözlemlenmiştir. Hidalgo ve ark. (1996), depolama sonunda su içeriği, pH, furosin, piroglutamik asit ve üridinin arttığını, yumurta sarısının psödoplastikten Newton davranışına aşamalı bir geçişi olduğunu ve yumurta sarısının da görünür vizkozitesinde azalma gözlemlenmiştir. Yumurta beyazının vizkozitesi, yumurta akınınu incelmelerini etkileyen lizozim ovomusunin karmaşıklığına bağlıdır (Caner vd., 2022). 30

günlük depolama sonunda şellak ile kaplanmış yumurtalar kontrole göre daha az akışkan ve daha yüksek jelleşme özelliği göstermiştir.



## BEŞİNCİ BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında üç farklı şellak konsantrasyonu (%1, %4 ve %8) ve biyokompozit (montmorillonit) ile kombine edilmiş şellak (%1) ile kaplama işlemi uygulanmıştır. Elde edilen bu kaplama materyallerinin 30 günlük depolama ( $20\pm 2^\circ\text{C}$ ) 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.

Kaplama olarak kullanılan her türlü malzeme, kaplanmamış yumurtalara kıyasla depolama sırasında yumurta kalitesinin korunmasında tatmin edici etkiler göstermiştir.

Bu çalışmanın bir başka önemli sonucu da, yumurta ağırlığı kaybı, HU ve albümin pH'ının analizinin, yumurtaların tazeliğini doğrulamak için hala önemli ölçütler olmasıdır.

Yapılan analizler doğrultusunda, şellak konsantrasyonunun artmasıyla ağırlık kaybının azaldığı gözlemlenmiştir. Kaplamalar, yumurta kabuğundaki gözenekleri kapatarak gaz ve nem transferini önlemekte ve bu sebeple yumurtanın iç kalitesini korumaktadır Haugh birimi değerleri 30 günün sonunda 45,69 ile 63,75 arasında değiştiği belirlenmiştir. %8'lik şellak uygulaması (63,75 HU), diğer kaplama ve kaplamasız yumurtalara göre en yüksek haugh birimi değerlerini verdiği tespit edilmiştir. Yolk indeks değerleri 30 günlük depolama sonunda 0,28 ile 0,39 arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek yolk indeks değerini %4'lük (0,38), %8'lik şellak (0,39) ve şellak %1-MMT (0,37) kaplamanın verdiği tespit edilmiştir. Çalışma, albümin pH'ının, tazeliğin iç göstergesi olarak uygulanabilirliğini kanıtlar niteliktedir. En düşük pH değerini %8'lik şellak kaplama (9,15) sağlarken albümin pH değeri 9,15 ile 9,39 arasında değişiklik göstermiştir. Yumurta sarısı pH değerleri 6,25 ile 6,43 arasında değişiklik göstermiş ve kaplanmamış yumurtaların yumurta sarısı pH değerinin kaplamalı yumurtalara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Relatif köpük kapasitesi değeri 623 ile 835 arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek relatif köpük kapasitesi %8'lik şellak (835) ile elde edilmiştir. 30 günlük depolama boyunca kaplanmış ve kaplanmamış yumurta numunelerinin köpük stabilitesi değerinde bir azalma yaşanmıştır. 30 günlük depolama sonunda 15,0 ile 22,50 arasında değişim göstermiştir. En yüksek köpük

stabilitesi değerini %4'lük (21,50), %8'lik Şellak (22,50), Şellak %1-MMT (21,00) kaplamalar vermiŐ ve diğerleriyle (%1'lik Şellak kaplama ve kaplanmamış yumurta) arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmuştur. Şellak kaplamalar kabuk delinme mukavemetini arttırmıŐtır. Şellak kaplamalar, özellikle %8 ve %4 konsantrasyon kaplama, kabuk delinme mukavemetini arttırması nedeniyle en verimli kaplamalar olarak bulunmuştur. Ayrıca 24°C'de 30 gnlük depolama sonunda Şellak %1-MMT kaplamanın %4 Şellak kaplama ile HU değerlerinin, EWP, köpük stabilitesi ve ağırlık kaybının, %8 Şellak kaplama ile EWP, köpük stabilitesi ve ağırlık kaybının benzer olduğu gözlenmiştir.

Sonuçlar, Şellak ve Şellak–MMT kaplamaların kabuklu yumurtanın raf ömrünü arttırmak için kullanılabilirliği ortaya koymuştur. Çeşitli Şellak konsantrasyonlarının, yumurtanın fonksiyonel özelliklerini korumak için geleneksel yöntemlere alternatif olabileceğini göstermiştir.

## KAYNAKÇA

Abbasnezhad, B., Hamdami, N., & Khodaei, D. (2015). Modeling of rheological characteristics of liquid egg white and yolk at different pasteurization temperatures. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 9, 359-368.

Abbate, C., Scavo, A., Pesce, G. R., Fontanazza, S., Restuccia, A., & Mauromicale, G. (2023). Soil Bioplastic Mulches for Agroecosystem Sustainability: A Comprehensive Review. *Agriculture*, 13(1), 197.

Abeyrathne, E. D. N. S., & Ahn, D. U. D. (2017). Function and Separation of Ovotransferrin from Chicken Egg. In *Egg Innovations and Strategies for Improvements* (pp. 243-249). Academic Press.

Abeyrathne, E. N. S., Lee, H. Y., & Ahn, D. U. (2013). Egg white proteins and their potential use in food processing or as nutraceutical and pharmaceutical agents—A review. *Poultry science*, 92(12), 3292-3299.

Abhinayaa, R., Jeevitha, G., Mangalaraj, D., Ponpandian, N., & Meena, P. (2019). Toxic influence of pristine and surfactant modified halloysite nanotubes on phytopathogenic bacteria. *Applied Clay Science*, 174, 57-68.

Aday, M. S., & Caner, C. E. N. G. İ. Z. (2010). Understanding the effects of various edible coatings on the storability of fresh cherry. *Packaging Technology and Science*, 23(8), 441-456.

Adebowale D. (2009). *Food Rheology*. Abeokuta: University of Agriculture, Department of Food Science and Technology.

Ahmed, T. A., Wu, L., Younes, M., & Hincke, M. (2021). Biotechnological applications of eggshell: recent advances. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 675364.

Ahuja, A., & Rastogi, V. K. (2023). Shellac: From Isolation to Modification and Its Untapped Potential in the Packaging Application. *Sustainability*, 15(4), 3110.

Akın M., Berber E., (2021), Yenilebilir Kaplama Filmlerinin Oluşturulması ve Karakterizasyonu: Portakal ve Limon Meyvelerinde Uygulanması, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(3): 2041-2050.

Akyurek, H., & Okur, A. A. (2009). Effect of storage time, temperature and hen age on egg quality in free-range layer hens. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(10), 1953-1958.

Alexandre, E. M. C., Lourenço, R. V., Bittante, A. M. Q. B., Moraes, I. C. F., & do Amaral Sobral, P. J. (2016). Gelatin-based films reinforced with montmorillonite and activated with nanoemulsion of ginger essential oil for food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 10, 87-96.

Al-Gousous, J., Penning, M., & Langguth, P. (2015). Molecular insights into shellac film coats from different aqueous shellac salt solutions and effect on disintegration of enteric-coated soft gelatin capsules. *International Journal of Pharmaceutics*, 484(1-2), 283-291.

Al-Hajo, N. N., Rashid, R. S., Musa, T. N., & Ulaiwi, W. S. (2011). Effect Of Shellac Coatings On The Shelf-Life And Internal Quality Of Chicken Eggs Stored At Room Temperature. *J. Food Ind. Nutr. Sci.*, 1, 159-166.

Ali, A. H., Zou, X., Abed, S. M., Korma, S. A., Jin, Q., & Wang, X. (2019). Natural phospholipids: Occurrence, biosynthesis, separation, identification, and beneficial health aspects. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(2), 253-275.

Alizadeh-Sani, M., Khezerlou, A., & Ehsani, A. (2018). Fabrication and characterization of the bionanocomposite film based on whey protein biopolymer loaded with TiO<sub>2</sub> nanoparticles, cellulose nanofibers and rosemary essential oil. *Industrial crops and products*, 124, 300-315.

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, 105-110.

Alleyne, V., & Hagenmaier, R. D. (2000). Candelilla-shellac: an alternative formulation for coating apples. *HortScience*, 35(4), 691-693.

Almquist, H. J. (1936). Formation of the Chalazae in the Hen's Egg. *Poultry Science*, 15(6), 460-461.

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.

Anonim, (2013). What Is Egg Protein?; 2013.  
<https://www.theproteinworks.com/thelockerroom/what-is-egg-protein/>

Anonim, (2015). Tavuk Yumurtası- Kabuklu TS 1068. 2015, Türk Standartları Enstitüsü: Ankara.

Anonim, (2019). Nutritional Value of Poultry Egg: An Overview; 2019  
<https://thepoultrypunch.com/2019/09/nutritional-value-of-poultry-egg-an-overview/>

Anonim, (2023). Edible Films And Coating Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2023 - 2028) <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/edible-films-and-coating-market>

Anton, M. (2013). Egg yolk: structures, functionalities and processes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(12), 2871-2880.



Anton, M., Nau, F., & Nys, Y. (2006). Bioactive egg components and their potential uses. *World's Poultry Science Journal*, 62(3), 429-438.

Asaithambi, N., Singha, P., & Singh, S. K. (2022). Comparison of the effect of hydrodynamic and acoustic cavitations on functional, rheological and structural properties of egg white proteins. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 82, 103166.

Aydın, D., Rashid, S., & Aydın, R. (2014). Tavuk yumurtası ve kolesterol gerçeği. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 17(3), 26-29.

Baek, J., Ramasamy, M., Cho, D. G., Soo, C. C. C., Kapar, S., Lee, J. Y., & Tam, K. C. (2023). A new approach for the encapsulation of *Saccharomyces cerevisiae* using shellac and cellulose nanocrystals. *Food Hydrocolloids*, 134, 108079.

Bar, H., & Bianco-Peled, H. (2021). The unique nanostructure of shellac films. *Progress in Organic Coatings*, 157, 106328.

Baranwal, J., Barse, B., Fais, A., Delogu, G. L., & Kumar, A. (2022). Biopolymer: A sustainable material for food and medical applications. *Polymers*, 14(5), 983.

Begum, F. (2021). Proteomic Measures Of Albumen Degradation As Indicators Of Egg Freshness. *Yayınlanmamış Doktora Tezi*. Sidney Üniversitesi, Bilim Fakültesi, Yaşam ve Çevre Bilimleri Okulu, Avustralya

Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). Eggs. *Food chemistry*, 546-562.

Bermudez-Aguirre, D., & Niemira, B. A. (2022). A review on egg pasteurization and disinfection: Traditional and novel processing technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*.

Bertechini, A. G., & Mazzuco, H. (2013). The table egg: a review. *Ciência e agrotecnologia*, 37(2), 115-122.

Besler, M. (1999). The major allergen from hen's egg white: Ovomuroid (Gal d 1). In *Internet Symposium on Food Allergens* (Vol. 1, pp. 137-146).

Bharadwaj, R. K. (2001). Modeling the barrier properties of polymer-layered silicate nanocomposites. *Macromolecules*, 34(26), 9189-9192.

Bhat, Z. F., Morton, J. D., Bekhit, A. E. D. A., Kumar, S., & Bhat, H. F. (2021). Effect of processing technologies on the digestibility of egg proteins. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(5), 4703-4738.

Bhattacharyya, K. G., & Gupta, S. S. (2008). Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and montmorillonite: a review. *Advances in colloid and interface science*, 140(2), 114-131.

Biladeau, A. M., & Keener, K. M. (2009). The effects of edible coatings on chicken egg quality under refrigerated storage. *Poultry science*, 88(6), 1266-1274.

Blancas-Benitez, F. J., Montaña-Leyva, B., Aguirre-Güitrón, L., Moreno-Hernández, C. L., Fonseca-Cantabrana, A., del Carmen Romero-Islas, L., & González-Estrada, R. R. (2022). Impact of edible coatings on quality of fruits: A review. *Food Control*, 109063.

Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. *International food research journal*, 15(3), 237-248.

Bourtoom, T., & Chinnan, M. S. (2008). Preparation and properties of rice starch–chitosan blend biodegradable film. *LWT-Food science and Technology*, 41(9), 1633-1641.

Bozkurt, S., Altay, Ö., Koç, M., & Ertekin, F. K. (2023). Edible Films and Coatings in Food Systems. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 11(1), 1-9.

Brigatti, M. F., Galan, E., & Theng, B. K. G. (2013). Structure and mineralogy of clay minerals. In *Developments in clay science* (Vol. 5, pp. 21-81). Elsevier.

Buch, K., Penning, M., Wächtersbach, E., Maskos, M., & Langguth, P. (2009). Investigation of various shellac grades: Additional analysis for identity. *Drug development and industrial pharmacy*, 35(6), 694-703.

Butcher, G. D., & Miles, R. (1990). Concepts of eggshell quality. VM01300. PDF, 6.

Byun, Y., Ward, A., & Whiteside, S. (2012). Formation and characterization of shellac-hydroxypropyl methylcellulose composite films. *Food Hydrocolloids*, 27(2), 364-370.

Campos, A. M., Ricardo, F., Alves, E., Reis, A., Couto, D., Domingues, P., & Domingues, M. R. M. (2016). Lipidomic investigation of eggs' yolk: Changes in lipid profile of eggs from different conditions. *Food Research International*, 89, 177-185.

Campos, C. A., Gerschenson, L. N., & Flores, S. K. (2011). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and bioprocess technology*, 4, 849-875.

Can, Ö. G. D. B. A. (2019). Türkiye’de Yumurta Üretimi, Tüketimi, İhracatı ve Geleceği.

Caner, C. (2021). Alternatif Gıda İşleme Metotları Ders Notları. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Caner, C. (2005a). The effect of edible eggshell coatings on egg quality and consumer perception. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(11), 1897-1902.

Caner, C. (2005b). 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., & Cansız, Ö. (2008). Chitosan coating minimises eggshell breakage and improves egg quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(1), 56-61

Caner, C., & Yüceer, M. (2015). Efficacy of various protein-based coating on enhancing the shelf life of fresh eggs during storage. *Poultry Science*, 94(7), 1665-1677.

Caner, C., Coşkun, B. M., & Yüceer, M. (2022). Chitosan coatings and chitosan nanocomposite to enhance the storage stability of fresh eggs during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(7), e16642.

Cansız, 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.

Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J. A., & Vázquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68, 136-148.

Chang, C., Meikle, T. G., Su, Y., Wang, X., Dekiwadia, C., Drummond, C. J., ... & Yang, Y. (2019). Encapsulation in egg white protein nanoparticles protects anti-oxidant activity of curcumin. *Food chemistry*, 280, 65-72.

Chang, K., Liu, J., Jiang, W., Fan, Y., Nan, B., Ma, S., ... & Zhang, T. (2021). Structural characteristics and foaming properties of ovalbumin-Caffeic acid complex. *Lwt*, 146, 111383.

Chang, K., Liu, J., Jiang, W., Zhang, R., Zhang, T., & Liu, B. (2020). Ferulic acid-ovalbumin protein nanoparticles: Structure and foaming behavior. *Food Research International*, 136, 109311.

Chauhan, O. P., Nanjappa, C., Ashok, N., Ravi, N., Roopa, N., & Raju, P. S. (2015). Shellac and Aloe vera gel based surface coating for shelf life extension of tomatoes. *Journal of food science and technology*, 52, 1200-1205.

Chauhan, O. P., Raju, P. S., Singh, A., & Bawa, A. S. (2011). Shellac and aloe-gel-based surface coatings for maintaining keeping quality of apple slices. *Food Chemistry*, 126(3), 961-966.

Chekh, O., Bordunova, O., Chivanov, V., Yadgorova, E., & Bondarchuk, L. (2021). Nanocomposite coatings for hatching eggs and table eggs. *Open Agriculture*, 6(1), 573-586.

Chen, H., Koopal, L. K., Xiong, J., Avena, M., & Tan, W. (2017). Mechanisms of soil humic acid adsorption onto montmorillonite and kaolinite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 504, 457-467.

Chen, H., Wang, J., Cheng, Y., Wang, C., Liu, H., Bian, H., ... & Han, W. (2019). Application of protein-based films and coatings for food packaging: A review. *Polymers*, 11(12), 2039.

Chen, Y., Guo, Z., Das, R., & Jiang, Q. (2020). Starch-based carbon nanotubes and graphene: preparation, properties and applications. *ES Food & Agroforestry*, 2(4), 13-21.

Chen, Y., Yang, J., Mujumdar, A., & Dave, R. (2009). Fluidized bed film coating of cohesive Geldart group C powders. *Powder Technology*, 189(3), 466-480.

Chhikara, S., & Kumar, D. (2021). Edible coating and edible film as food packaging material: a review. *Journal of Packaging Technology and Research*, 1-10.

Chousalkar, K. K., Khan, S., & McWhorter, A. R. (2021). Microbial quality, safety and storage of eggs. *Current Opinion in Food Science*, 38, 91-95.

Copur, G., Camci, O., Sahinler, N., & Gul, A. (2008). The effect of propolis egg shell coatings on interior egg quality. *Archiv fur Geflugelkunde*, 72(1), 35-40.

Croguennec, T., Nau, F., & Brule, G. (2002). Influence of pH and salts on egg white gelation. *Journal of Food Science*, 67(2), 608-614.

Croguennec, T., Renault, A., Beaufils, S., Dubois, J. J., & Pezenec, S. (2007). Interfacial properties of heat-treated ovalbumin. *Journal of Colloid and Interface Science*, 315(2), 627-636.

Çelebi, Ş., & Karaca, H. (2006). Yumurthanın besin değeri, kolesterol içeriği ve yumurtayı n-3 yağ asitleri bakımından zenginleştirmeye yönelik çalışmalar. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 37(2), 257-265.

da Silva Pires, P. G., da Silva Pires, P. D., Cardinal, K. M., & Bavaresco, C. (2020). The use of coatings in eggs: A systematic review. Trends in Food Science & Technology, 106, 312-321.

Damaziak, K., Kieliszek, M., & Buław, M. (2020). Characterization of structure and protein of vitelline membranes of precocial (ring-necked pheasant, gray partridge) and superaltricial (cockatiel parrot, domestic pigeon) birds. Plos one, 15(1), e0228310.

Dastjerdi, R., & Montazer, M. (2010). A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: focus on anti-microbial properties. Colloids and surfaces B: Biointerfaces, 79(1), 5-18.

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 Carvalho, A. P. A., & Junior, C. A. C. (2020). Green strategies for active food packagings: A systematic review on active properties of graphene-based nanomaterials and biodegradable polymers. Trends in Food Science & Technology, 103, 130-143.

de Castro e Silva, P., de Oliveira, A. C., Pereira, L. A., Valquíria, M., Carvalho, G. R., Miranda, K. W., ... & Oliveira, J. E. (2020). Development of bionanocomposites of pectin and nanoemulsions of carnauba wax and neem oil pectin/carnauba wax/neem oil composites. Polymer Composites, 41(3), 858-870.

de Souza, P. M., & Fernández, A. (2013). Rheological properties and protein quality of UV-C processed liquid egg products. Food Hydrocolloids, 31(1), 127-134.

Dehghani, S., Hosseini, S. V., & Regenstein, J. M. (2018). Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food chemistry*, 240, 505-513.

Deng, X., Wang, Q., Chen, H., & Xie, H. (2010). Eggshell crack detection using a wavelet-based support vector machine. *Computers and electronics in agriculture*, 70(1), 135-143.

Depypere, F., Pieters, J. G., & Dewettinck, K. (2009). PEPT visualisation of particle motion in a tapered fluidised bed coater. *Journal of Food Engineering*, 93(3), 324-336.

Derry, J. (2012). *Investigating Shellac: Documenting the Process, Defining the Product.: A study on the processing methods of Shellac, and the analysis of selected physical and chemical characteristics* (Master's thesis).

Dholariya, P. K., Borkar, S., & Borah, A. (2021). Prospect of nanotechnology in food and edible packaging: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 10(5), 197-203.

Díaz-Montes, E. (2022). Polysaccharide-Based Biodegradable Films: An Alternative in Food Packaging. *Polysaccharides*, 3(4), 761-775.

Díaz-Montes, E., & Castro-Muñoz, R. (2021). Edible films and coatings as food-quality preservers: An overview. *Foods*, 10(2), 249.

Doost, A. S., Muhammad, D. R. A., Stevens, C. V., Dewettinck, K., & Van der Meeren, P. (2018). Fabrication and characterization of quercetin loaded almond gum-shellac nanoparticles prepared by antisolvent precipitation. *Food Hydrocolloids*, 83, 190-201.

D.S.M. (2018). DSM egg quality manual. DSM Nutritional Products Ltd.

Duan, X., Li, J., Zhang, Q., Zhao, T., Li, M., Xu, X., & Liu, X. (2017). Effect of a multiple freeze-thaw process on structural and foaming properties of individual egg white proteins. *Food chemistry*, 228, 243-248.

EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ). (2014). Statement on the update of the list of QPS-recommended biological agents intentionally added to food or feed as notified to EFSA 1: Suitability of taxonomic units notified to EFSA until October 2014. *EFSA Journal*, 12(12), 3938.

European bioplastics, What are bioplastics? <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>

Eurostat (2020, November 20) Plastic packaging waste: 38% recycled in 2020, <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/ddn-20221020-1>

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.

Fernández-Martín, F., Pérez-Mateos, M., Dadashi, S., Gómez-Guillén, C. M., & Sanz, P. D. (2018). Impact of magnetic assisted freezing in the physicochemical and functional properties of egg components. Part 2: Egg yolk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 49, 176-183.

Ferreira, M., Oliveira, F. A., & Jost, R. (1999). Application of microfiltration to egg white depleted in ovomucin. *International journal of food science & technology*, 34(1), 27-32.

Fischer, P., & Windhab, E. J. (2011). Rheology of food materials. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 16(1), 36-40.

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.

Gaaz, T. S., Sulong, A. B., Akhtar, M. N., Kadhum, A. A. H., Mohamad, A. B., & Al-Amiery, A. A. (2015). Properties and applications of polyvinyl alcohol, halloysite nanotubes and their nanocomposites. *Molecules*, 20(12), 22833-22847.



Galgano, F. (2015). Biodegradable packaging and edible coating for fresh-cut fruits and vegetables. *Italian Journal of Food Science*, 27(1), 1-20.

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.

Garibaldi, J. A., Donovan, J. W., Davis, J. G., & Cimino, S. L. (1968). Heat Denaturation of the Ovomucin-Lysozyme Electrostatic Complex—A Source of Damage to the Whipping Properties of Pasteurized Egg White. *Journal of Food Science*, 33(5), 514-524.

Gautron, J., Dombre, C., Nau, F., Feidt, C., & Guillier, L. (2022). Production factors affecting the quality of chicken table eggs and egg products in Europe. *Animal*, 16, 100425.

George, A., Sanjay, M. R., Srisuk, R., Parameswaranpillai, J., & Siengchin, S. (2020). A comprehensive review on chemical properties and applications of biopolymers and their composites. *International journal of biological macromolecules*, 154, 329-338.

Giampietro-Ganeco, A., Scatolini-Silva, A. M., Borba, H., Boiago, M. M., Lima, T. M. A., & Souza, P. A. (2012). Comparative Study Of Quality Characteristics Of Egg Stored In Domestic Refrigerators/Estudo comparativo das características qualitativas de ovos armazenados em refrigeradores domésticos. *Ars Veterinaria*, 28(2), 100-104.

Giannakas, A. E., & Leontiou, A. A. (2018). Montmorillonite composite materials and food packaging. *Composites materials for food packaging*, 1-71.

Guillet, C., Martin, O. Y., Meincke, C., Joerg, L., & Schmid-Grendelmeier, P. (2022). Part II: Insect allergies—Inhalation and ingestion: A survey of the literature and our own cases. *Allergo journal international*, 31(7), 257-265.

Guo, F., Aryana, S., Han, Y., & Jiao, Y. (2018). A review of the synthesis and applications of polymer–nanoclay composites. *Applied Sciences*, 8(9), 1696.

Guyot, N., Réhault-Godbert, S., Slugocki, C., Harichaux, G., Labas, V., Helloin, E., & Nys, Y. (2016). Characterization of egg white antibacterial properties during the first half of incubation: A comparative study between embryonated and unfertilized eggs. *Poultry Science*, 95(12), 2956-2970.

Hadidi, M., Jafarzadeh, S., Forough, M., Garavand, F., Alizadeh, S., Salehabadi, A., ... & Jafari, S. M. (2022). Plant protein-based food packaging films; recent advances in fabrication, characterization, and applications. *Trends in Food Science & Technology*.

Hamilton, R. M. G., & Bryden, W. L. (2021). Relationship between egg shell breakage and laying hen housing systems—an overview. *World's Poultry Science Journal*, 77(2), 249-266.

Hammann, F., & Schmid, M. (2014). Determination quantification of molecular interactions in protein films: A review. *Materials*, 7(12), 7975-7996.

Hartmann, C., Johansson, K., Strandberg, E., & Rydhmer, L. (2003). Genetic correlations between the maternal genetic effect on chick weight and the direct genetic effects on egg composition traits in a White Leghorn line. *Poultry science*, 82(1), 1-8.

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.

Haugh, R. R. (1937). The Haugh unit for measuring egg quality. *United States Egg Poultry Magazine*, 43, 552-555.

Hauzoukim, Swain S., & Mohanty, B. (2020). Functionality of protein-Based edible coating. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(4), 1432-1440.

He, Y., Fei, X., & Li, H. (2020). Carboxymethyl cellulose-based nanocomposites reinforced with montmorillonite and  $\epsilon$ -poly-l-lysine for antimicrobial active food packaging. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(23), 48782.

Heldman, D. R. (2011). Food preservation process design. Academic Press.

Hester, P. (Ed.). (2016). Egg innovations and strategies for improvements. Academic press.

Hidalgo, A., Lucisano, M., Comelli, E. M., & Pompei, C. (1996). Evolution of chemical and physical yolk characteristics during the storage of shell eggs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(6), 1447-1452.

Huang, T., Tu, Z. C., Wang, H., Shangguan, X., Zhang, L., Niu, P., & Sha, X. M. (2017). Promotion of foam properties of egg white protein by subcritical water pre-treatment and fish scales gelatin. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 512, 171-177.

Huang, X., & Ahn, D. U. (2019). How can the value and use of egg yolk be increased? *Journal of food science*, 84(2), 205-212.

Huțu, I. (2015). *Farm Animal Productions*.

Icier, F., & Bozkurt, H. (2011). Ohmic heating of liquid whole egg: Rheological behaviour and fluid dynamics. *Food and bioprocess technology*, 4, 1253-1263.

Indumathi, M. P., & Rajarajeswari, G. R. (2019). Mahua oil-based polyurethane/chitosan/nano ZnO composite films for biodegradable food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124, 163-174.

Jafarzadeh, S., Salehabadi, A., Nafchi, A. M., Oladzadabbasabadi, N., & Jafari, S. M. (2021). Cheese packaging by edible coatings and biodegradable nanocomposites; improvement in shelf life, physicochemical and sensory properties. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 218-231.

Jalili-Firoozinezhad, S., Filippi, M., Mohabatpour, F., Letourneur, D., & Scherberich, A. (2020). Chicken egg white: Hatching of a new old biomaterial. *Materials Today*, 40, 193-214.

Jamróz, E., Khachatryan, G., Kopel, P., Juszczak, L., Kawecka, A., Krzyściak, P., ... & Zimowska, M. (2020). Furcellaran nanocomposite films: The effect of nanofillers on the structural, thermal, mechanical and antimicrobial properties of biopolymer films. *Carbohydrate polymers*, 240, 116244.

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.

Jeevahan, J. J., Chandrasekaran, M., Venkatesan, S. P., Sriram, V., Joseph, G. B., Mageshwaran, G., & Durairaj, R. B. (2020). Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 210-222.

Jin, H., Jin, Y., Pan, J., Mi, S., Zeng, Q., Li, Z., ... & Sheng, L. (2023). Comprehensive identification and hydrophobic analysis of key proteins affecting foam capacity and stability during the evolution of egg white foam. *Food Hydrocolloids*, 134, 108033.

Jirangrat, W., Torrico, D. D., No, J., No, H. K., & Prinyawiwatkul, W. (2010). Effects of mineral oil coating on internal quality of chicken eggs under refrigerated storage. *International Journal of food science & technology*, 45(3), 490-495.

Jitareerat, P., Kalaya, S., Thoung, V.T., Uthairatanakij, A., & Limmatvapirat, S. (2018, 7–8 March). Antifungal effects of ethanolic shellac-modified coconut oil (ES—MCO) combined with physical treatments against postharvest disease of mango and mangosteen. Paper presented at the Proceedings of international symposium on innovative crop protection for sustainable protection, Gifu University.

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.

Kampeerapappun, P., Aht-Ong, D., Pentrakoon, D., & Srikulkit, K. (2007). Preparation of cassava starch/montmorillonite composite film. *Carbohydrate Polymers*, 67(2), 155-163.

Kanmani, P., & Rhim, J. W. (2014). Physicochemical properties of gelatin/silver nanoparticle antimicrobial composite films. *Food chemistry*, 148, 162-169.

Kemps, B. J., De Ketelaere, B., Bamelis, F. R., Mertens, K., Decuypere, E. M., De Baerdemaeker, J. G., & Schwägele, F. (2007). Albumen freshness assessment by combining visible near-infrared transmission and low-resolution proton nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Poultry science*, 86(4), 752-759.

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.

Khalaj, M. J., Ahmadi, H., Lesankhosh, R., & Khalaj, G. (2016). Study of physical and mechanical properties of polypropylene nanocomposites for food packaging application: Nano-clay modified with iron nanoparticles. *Trends in Food Science & Technology*, 51, 41-48.

Khalid, M. Y., & Arif, Z. U. (2022). Novel biopolymer-based sustainable composites for food packaging applications: A narrative review. *Food Packaging and Shelf Life*, 33, 100892.

Khorram, F., Ramezani, A., & Hosseini, S. M. H. (2017). Shellac, gelatin and Persian gum as alternative coating for orange fruit. *Scientia Horticulturae*, 225, 22-28.

Khurana, A., Tekula, S., Saifi, M. A., Venkatesh, P., & Godugu, C. (2019). Therapeutic applications of selenium nanoparticles. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 111, 802-812.

Kinoshita, K., Shimogiri, T., Ibrahim, H. R., Tsudzuki, M., Maeda, Y., & Matsuda, Y. (2016). Identification of TENP as the gene encoding chicken egg white ovoglobulin G2 and demonstration of its high genetic variability in chickens. *Plos one*, 11(7), e0159571.

Kotal, M., & Bhowmick, A. K. (2015). Polymer nanocomposites from modified clays: Recent advances and challenges. *Progress in Polymer Science*, 51, 127-187.

Krawczyk, J., & Sokolowicz, Z. (2015). Effect of chicken breed and storage conditions of eggs on their quality. *Acta Scientiarum Polonorum. Zootechnica*, 14(4).

Kuksis, A. (1992). Yolk lipids. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Lipids and Lipid Metabolism*, 1124(3), 205-222.

Kumar, A., Hasan, M., Mangaraj, S., Pravitha, M., Verma, D. K., & Srivastav, P. P. (2022). Trends in edible packaging films and its prospective future in food: a review. *Applied Food Research*, 100118.

Kumar, L., Ramakanth, D., Akhila, K., & Gaikwad, K. K. (2022). Edible films and coatings for food packaging applications: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 1-26.

Kumar, S., Shukla, A., Baul, P. P., Mitra, A., & Halder, D. (2018). Biodegradable hybrid nanocomposites of chitosan/gelatin and silver nanoparticles for active food packaging applications. *Food packaging and shelf life*, 16, 178-184.

Kumari, A., Tripathi, U. K., Maurya, V., & Kumar, M. (2020). Internal quality changes in eggs during storage. *Int. J. Sci. Environ. Techn*, 9(4), 615-624.

Kumbár, V., Nedomová, Š., Strnková, J., & Buchar, J. (2015). Effect of egg storage duration on the rheology of liquid egg products. *Journal of Food Engineering*, 156, 45-54.

Küçüköner, E. (2020). Koşineal (Karmin) ve şellak üretimi ve helallik açısından değerlendirme. *Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi*, 2(1), 39-49.

Lacroix, M., & Vu, K. D. (2014). Edible coating and film materials: proteins. In *Innovations in food packaging* (pp. 277-304). Academic Press.

Lesnierowski, 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.

Levis, S. R., & Deasy, P. B. (2002). Characterisation of halloysite for use as a microtubular drug delivery system. *International Journal of Pharmaceutics*, 243(1-2), 125-134.

Li, C., Sun, Z., Huang, W., & Zheng, S. (2016). Facile synthesis of g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/montmorillonite composite with enhanced visible light photodegradation of rhodamine B and tetracycline. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 66, 363-371.

Li, J., Zhu, S., Jiang, S., & Wang, J. (2017). Prediction of egg storage time and yolk index based on electronic nose combined with chemometric methods. *LWT-Food Science and Technology*, 82, 369-376.

Li, K., Tang, B., Zhang, W., Tu, X., Ma, J., Xing, S., ... & Zhang, H. (2022). A novel approach for authentication of shellac resin in the shellac-based edible coatings: Contain shellac or not in the fruit wax preservative coating. *Food Chemistry: X*, 14, 100349.

Lim, J. W., Lim, W. S., Lee, M. H., & Park, H. J. (2021). Barrier and structural properties of polyethylene terephthalate film coated with poly (acrylic acid)/montmorillonite nanocomposites. *Packaging Technology and Science*, 34(3), 141-150.

Limmatvapirat, S., Limmatvapirat, C., Luangtana-Anan, M., Nunthanid, J., Oguchi, T., Tozuka, Y., & Puttipatkhachorn, S. (2004). Modification of physicochemical and

mechanical properties of shellac by partial hydrolysis. *International journal of pharmaceutics*, 278(1), 41-49.

Lisitsyn, A., Semenova, A., Nasonova, V., Polishchuk, E., Revutskaya, N., Kozyrev, I., & Kotenkova, E. (2021). Approaches in animal proteins and natural polysaccharides application for food packaging: Edible film production and quality estimation. *Polymers*, 13(10), 1592.

Liu, T., Tong, Y., & Zhang, W. D. (2007). Preparation and characterization of carbon nanotube/polyetherimide nanocomposite films. *Composites science and technology*, 67(3-4), 406-412.

Liu, Y. C., Chen, T. H., Wu, Y. C., & Tan, F. J. (2017). Determination of the quality of stripe-marked and cracked eggs during storage. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 30(7), 1013-1020.

Lomakina, K., & Mikova, K. (2006). A study of the factors affecting the foaming properties of egg white—a review. *Czech Journal of Food Sciences*, 24(3), 110-118.

Lu, L., Su, Y., Xu, J., Ning, H., & Lu, L. (2022). Development of gas phase controlled-release antimicrobial and antioxidant packaging film containing carvacrol loaded with HNT-4M (halloysite nanotubes etched by 4 mol/L hydrochloric acid). *Food Packaging and Shelf Life*, 31, 100783.

Luangtana-anan, M., & Limmatvapirat, S. (2019). Shellac-based coating polymer for agricultural applications. *Polymers for Agri-Food Applications*, 487-524.

Luangtana-Anan, M., huja, S., Nunthanid, J., Wanawongthai, C., Chalongsuk, R., & Puttipipatkachorn, S. (2007). Effect of salts and plasticizers on stability of shellac film. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(3), 687-692.

Luangtana-anan, M., Soradech, S., Saengsod, S., Nunthanid, J., & Limmatvapirat, S. (2017). Enhancement of moisture protective properties and stability of pectin through



formation of a composite film: Effects of shellac and plasticizer. *Journal of food science*, 82(12), 2915-2925.

Lv, X., Huang, X., Ma, B., Chen, Y., Batool, Z., Fu, X., & Jin, Y. (2022). Modification methods and applications of egg protein gel properties: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(3), 2233-2252.

Ma, J., Zhou, Z., Li, K., Li, K., Liu, L., Zhang, W., ... & Zhang, H. (2021). Novel edible coating based on shellac and tannic acid for prolonging postharvest shelf life and improving overall quality of mango. *Food Chemistry*, 354, 129510.

Mahmoud, B. Y., Semida, D. A., Elnesr, S. S., Elwan, H., & El-Full, E. A. (2022). Approaches of Egg Decontamination for Sustainable Food Safety. *Sustainability*, 15(1), 464.

Marzec, A., Damaziak, K., Kowalska, H., Riedel, J., Michalczyk, M., Koczywas, E., ... & Niemiec, J. (2019). Effect of hens age and storage time on functional and physiochemical properties of eggs. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(2), 290-300.

Masuda, Y., & Hiramatsu, H. (2008). Bioavailability and physiological function of eggshells and eggshell membranes. *Egg bioscience and biotechnology*, 129-140.

McGlashan, S. A., & Halley, P. J. (2003). Preparation and characterisation of biodegradable starch-based nanocomposite materials. *Polymer International*, 52(11), 1767-1773.

Meyer, R., & Spencer, J. V. (1973). The effect of various coatings on shell strength and egg quality. *Poultry Science*, 52(2), 703-711.

Mihalca, V., Kerezsi, A. D., Weber, A., Gruber-Traub, C., Schmucker, J., Vodnar, D. C., ... & Pop, O. L. (2021). Protein-based films and coatings for food industry applications. *Polymers*, 13(5), 769.

Milani, J. M., & Nemati, A. (2022). Lipid-based edible films and coatings: a review of recent advances and applications. *Journal of Packaging Technology and Research*, 6(1), 11-22.

Min, T., Zhu, Z., Sun, X., Yuan, Z., Zha, J., & Wen, Y. (2020). Highly efficient antifogging and antibacterial food packaging film fabricated by novel quaternary ammonium chitosan composite. *Food Chemistry*, 308, 125682.

Miranda, J. M., Anton, X., Redondo-Valbuena, C., Roca-Saavedra, P., Rodriguez, J. A., Lamas, A., ... & Cepeda, A. (2015). Egg and egg-derived foods: effects on human health and use as functional foods. *Nutrients*, 7(1), 706-729.

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.

Mohammed, A., Gaduan, A., Chaitram, P., Pooran, A., Lee, K. Y., & Ward, K. (2023). Sargassum inspired, optimized calcium alginate bioplastic composites for food packaging. *Food Hydrocolloids*, 135, 108192.

Moreng, R. E., & Avens, J. S. (1990). *Anatomia e fisiologia das aves. Ciência e produção de aves. Tradução Nair Massako Katayma Ito.* São Paulo: Roca, 43-75.

Muhammad, D. R. A., Doost, A. S., Gupta, V., bin Sintang, M. D., Van de Walle, D., Van der Meeren, P., & Dewettinck, K. (2020). Stability and functionality of xanthan gum–shellac nanoparticles for the encapsulation of cinnamon bark extract. *Food Hydrocolloids*, 100, 105377.

Musa, T. N., Ulaiwi, W. S., & Al-Hajo, N. N. (2011). The effect of shellac as coating material on the internal quality of chicken eggs. *International Journal of Poultry Science*, 10(1), 38-41.

Muthukumaran, A., Ratti, C., & Raghavan, V. G. (2008). Foam-mat freeze drying of egg white and mathematical modeling Part I optimization of egg white foam stability. *Drying Technology*, 26(4), 508-512.

Nanglia, S., Mahajan, B. V. C., Singh, N., Kapoor, S., Bhullar, K. S., Kaur, S., & Kumar, V. (2022). Combined effect of acids and shellac coating on pericarp browning, enzymatic activities, and biochemical attributes of litchi fruit during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(5), e16535.

Nasrabadi, M. N., Doost, A. S., & Mezzenga, R. (2021). Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. *Food Hydrocolloids*, 118, 106789.

Nath, D., Santhosh, R., Pal, K., & Sarkar, P. (2022). Nanoclay-based active food packaging systems: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 31, 100803.

Negi, S. (2019). Lipases: A promising tool for food industry. *Green Bio-processes: Enzymes in Industrial Food Processing*, 181-198.

Nguyen, Q. T., & Baird, D. G. (2006). Preparation of polymer-clay nanocomposites and their properties. *Advances in Polymer Technology: Journal of the Polymer Processing Institute*, 25(4), 270-285.

Nimalaratne, C., & Wu, J. (2015). Hen egg as an antioxidant food commodity: A review. *Nutrients*, 7(10), 8274-8293.

Nishimune, T., Suminoto, T., Yakusiji, T., Kunita, N., Ichikawa, T., & Doguchi, M. (2002). Storage Of Marsh1 Grapefruit And'valencia'oranges With Different Coatings. In *Proc. Fla. State Hort. Soc* (Vol. 115, pp. 303-308).

Noshirvani, N., Hong, W., Ghanbarzadeh, B., Fasihi, H., & Montazami, R. (2018). Study of cellulose nanocrystal doped starch-polyvinyl alcohol bionanocomposite films. *International journal of biological macromolecules*, 107, 2065-2074.

Odetayo, T., Tesfay, S., & Ngobese, N. Z. (2022). Nanotechnology-enhanced edible coating application on climacteric fruits. *Food Science & Nutrition*, 10(7), 2149-2167.

Offengenden, M., Fentabil, M. A., & Wu, J. (2011). N-glycosylation of ovomucin from hen egg white. *Glycoconjugate Journal*, 28, 113-123.

Oğuzhan, P., & Yangılar, F. (2016). Yenilebilir Film ve Kaplamaların Gıda Endüstrisinde Kullanımı. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1).

Oleyaei, S. A., Zahedi, Y., Ghanbarzadeh, B., & Moayedi, A. A. (2016). Modification of physicochemical and thermal properties of starch films by incorporation of TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *International journal of biological macromolecules*, 89, 256-264.

Omana, D. A., Wang, J., & Wu, J. (2010). Ovomucin—a glycoprotein with promising potential. *Trends in food science & technology*, 21(9), 455-463.

Omanović-Miklićanin, E., Badnjević, A., Kazlagić, A., & Hajlovac, M. (2020). Nanocomposites: A brief review. *Health and Technology*, 10, 51-59.

Onbaşılar, E. E., & Tabib, İ. (2019). Tavuklarda yumurta kabuğunun yapısı ve kabuk kalitesini etkileyen faktörler. *Journal of Poultry Research*, 16(2), 48-54.

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.

Park, S., Choi, K. S., Lee, D., Kim, D., Lim, K. T., Lee, K. H., ... & Kim, J. (2016). Eggshell membrane: Review and impact on engineering. *Biosystems engineering*, 151, 446-463.

Parvez, S., Yadagiri, G., Gedda, M. R., Singh, A., Singh, O. P., Verma, A., ... & Mudavath, S. L. (2020). Modified solid lipid nanoparticles encapsulated with Amphotericin

B and Paromomycin: an effective oral combination against experimental murine visceral leishmaniasis. *Scientific Reports*, 10(1), 1-14.

Patil, S., Rao, B., Matondkar, M., Bhushette, P., & Sonawane, S. K. (2022). A Review On Understanding Of Egg Yolk As Functional Ingredients. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 11(4), e4627-e4627.

Pearnchob, N., Siepmann, J., & Bodmeier, R. (2003). Pharmaceutical applications of shellac: moisture-protective and taste-masking coatings and extended-release matrix tablets. *Drug development and industrial pharmacy*, 29(8), 925-938.

Peelman, N., Ragaert, P., De Meulenaer, B., Adons, D., Peeters, R., Cardon, L., ... & Devlieghere, F. (2013). Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 32(2), 128-141.

Peressini, D., Bravin, B., Lapasin, R., Rizzotti, C., & Sensidoni, A. (2003). Starch–methylcellulose based edible films: rheological properties of film-forming dispersions. *Journal of Food Engineering*, 59(1), 25-32.

Phanthong, P., Reubroycharoen, P., Hao, X., Xu, G., Abudula, A., & Guan, G. (2018). Nanocellulose: Extraction and application. *Carbon Resources Conversion*, 1(1), 32-43.

Pinto, A. M., Santos, T. M., Caceres, C. A., Lima, J. R., Ito, E. N., & Azeredo, H. M. (2015). Starch-cashew tree gum nanocomposite films and their application for coating cashew nuts. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 549-554.

Pires, P. G. S., Machado, G. S., Franceschi, C. H., Kindlein, L., & Andretta, I. (2019). Rice protein coating in extending the shelf-life of conventional eggs. *Poultry Science*, 98(4), 1918-1924.

Poonia, A., & Mishra, A. (2021). Edible nanocoatings: potential food applications, challenges and safety regulations. *Nutrition & Food Science*, 52(3), 497-514.

Popov, V. N. (2004). Carbon nanotubes: properties and application. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 43(3), 61-102.

Porta, R., Sabbah, M., & Di Pierro, P. (2020). Biopolymers as food packaging materials. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(14), 4942.

Punidades, P., & McKellar, R. C. (1999). Selected physical properties of liquid egg products at pasteurization temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*, 23(2), 153-169.

Qin, Y., Liu, Y., Yuan, L., Yong, H., & Liu, J. (2019). Preparation and characterization of antioxidant, antimicrobial and pH-sensitive films based on chitosan, silver nanoparticles and purple corn extract. *Food Hydrocolloids*, 96, 102-111.

Qin, Y., Zhang, S., Yu, J., Yang, J., Xiong, L., & Sun, Q. (2016). Effects of chitin nano-whiskers on the antibacterial and physicochemical properties of maize starch films. *Carbohydrate Polymers*, 147, 372-378.

Quan, T. H., & Benjakul, S. (2019). Duck egg albumen: physicochemical and functional properties as affected by storage and processing. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 1104-1115.

Rachtanapun, P., Homsaard, N., Kodsangma, A., Phongthai, S., Leksawasdi, N., Phimolsiripol, Y., & Jantanasakulwong, K. (2022). Effects of storage temperature on the quality of eggs coated by cassava starch blended with carboxymethyl cellulose and paraffin wax. *Poultry Science*, 101(1), 101509.

Raikos, V., Campbell, L., & Euston, S. R. (2007). Effects of sucrose and sodium chloride on foaming properties of egg white proteins. *Food Research International*, 40(3), 347-355.

Raj, B. (2020). *Plastics and their role in food packaging*, Hindistan.

Rathnapala, E. C. N., Ahn, D. U., & Abeyrathne, S. (2021). Functional properties of ovotransferrin from chicken egg white and its derived peptides: A review. *Food Science and Biotechnology*, 30(5), 619-630.

Razi, S. M., Fahim, H., Amirabadi, S., & Rashidinejad, A. (2022). An overview of the functional properties of egg white proteins and their application in the food industry. *Food Hydrocolloids*, 108183.

Réhault-Godbert, S., Guyot, N., & Nys, Y. (2019). The golden egg: nutritional value, bioactivities, and emerging benefits for human health. *Nutrients*, 11(3), 684.

Rodríguez-Navarro, A. B., Domínguez-Gasca, N., Muñoz, A., & Ortega-Huertas, M. (2013). Change in the chicken eggshell cuticle with hen age and egg freshness. *Poultry Science*, 92(11), 3026-3035.

Saedi, S., Shokri, M., Kim, J. T., & Shin, G. H. (2021). Semi-transparent regenerated cellulose/ZnONP nanocomposite film as a potential antimicrobial food packaging material. *Journal of Food Engineering*, 307, 110665.

Saeed, F., Javaid, A., Ahmed, N., Nadeem, M. T., Arshad, M. S., Imran, A., ... & Khan, A. U. (2017). Influence of edible coating techniques on quality characteristics of eggs. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2), e12815.

Salehi, F. (2020). Edible coating of fruits and vegetables using natural gums: A review. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup2), S570-S589.

Salinas-Roca, B., Soliva-Fortuny, R., Welti-Chanes, J., & Martín-Belloso, O. (2016). Combined effect of pulsed light, edible coating and malic acid dipping to improve fresh-cut mango safety and quality. *Food Control*, 66, 190-197.

Sarkar, P. C., & Shrivastava, A. K. (1997). FTIR spectroscopy of lac resin and its derivatives. *Pigment & resin technology*.

Scott, T. A., & Silversides, F. G. (2000). The effect of storage and strain of hen on egg quality. *Poultry science*, 79(12), 1725-1729.

Senturk Parreidt, T., Müller, K., & Schmid, M. (2018). Alginate-based edible films and coatings for food packaging applications. *Foods*, 7(10), 170.

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.

Shah, M., Rajhans, S., Pandya, H. A., & Mankad, A. U. (2021). Bioplastic for future: A review then and now. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 9(2), 056-067.

Shankar, S., Kasapis, S., & Rhim, J. W. (2018). Alginate-based nanocomposite films reinforced with halloysite nanotubes functionalized by alkali treatment and zinc oxide nanoparticles. *International journal of biological macromolecules*, 118, 1824-1832.

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.

Sharma, H. P., Chaudhary, V., & Kumar, M. (2019). Importance of edible coating on fruits and vegetables: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), 4104-4110.

Sharma, S. K., Shukla, S. K., & Vaid, D. N. (1983). Shellac-structure, characteristics & modification. *Defence Science Journal*, 33(3), 261-271.

Shehata, E. R., Kenawi, M. A., El-Sokary, F. A., & Abdel-Hamied, S. M. (2023). Effect of edible coating and Storage temperature on the Quality of Table Eggs. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 54(1), 161-173.



Sheng, L., Wang, Y., Chen, J., Zou, J., Wang, Q., & Ma, M. (2018). Influence of high-intensity ultrasound on foaming and structural properties of egg white. *Food Research International*, 108, 604-610.

Sheng, L., Ye, S., Han, K., Zhu, G., Ma, M., & Cai, Z. (2019). Consequences of phosphorylation on the structural and foaming properties of ovalbumin under wet-heating conditions. *Food Hydrocolloids*, 91, 166-173.

Sheng, L., Zu, L., & Ma, M. (2021). Study of high pressure carbon dioxide on the physicochemical, interfacial and rheological properties of liquid whole egg. *Food Chemistry*, 337, 127989.

Shi, Y., Zhou, K., Li, D., Guyonnet, V., Hincke, M. T., & Mine, Y. (2021). Avian eggshell membrane as a novel biomaterial: a review. *Foods*, 10(9), 2178.

Shittu, T. A., & Ogunjinmi, O. (2011). Effect of low cost shell coatings and storage conditions on the raw and cooked qualities of shell egg Efecto de recubrimientos de cascara de bajo coste y de las condiciones de almacenaje sobre la calidad de huevos crudos y cocinados. *CyTA-Journal of Food*, 9(1), 1-7.

Silva-Weiss, A., Ihl, M., Sobral, P. D. A., Gómez-Guillén, M. C., & Bifani, V. J. F. E. R. (2013). Natural additives in bioactive edible films and coatings: functionality and applications in foods. *Food Engineering Reviews*, 5, 200-216.

Singh, A. (2012). Evaluation of high pressure processing for improving quality and functionality of egg products.

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, 543-550.

Sittipaisankul, P. (2015). Development of antimicrobial coating material from shellac-modified coconut oil for controlling of postharvest diseases. Master degree Thesis, Silpakorn University.

Solomon, S. E. (1997). Egg & eggshell quality. Iowa State University Press.

Solomon, S. E. (2010). The eggshell: strength, structure and function. *British poultry science*, 51(sup1), 52-59.

Song Y., (2016), Protection of Washed and Pasteurized Shell Eggs against Fungal Growth by Application of Natamycin-Containing Shellac Coating, (Thesis) The Ohio State University, Graduate Program in Food Science and Technology

Song, G., Sun, R., Li, H., Zhang, H., Xia, N., Guo, P., ... & Rayan, A. M. (2022). Effects of Pine Needle Essential Oil Combined with Chitosan Shellac on Physical and Antibacterial Properties of Emulsions for Egg Preservation. *Food Biophysics*, 17(2), 260-272.

Soradech, S., Nunthanid, J., Limmatvapirat, S., & Luangtana-anan, M. (2017). Utilization of shellac and gelatin composite film for coating to extend the shelf life of banana. *Food Control*, 73. (Part B, 1310–1317. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.10.059>).

Sorrentino, A., Gorrasi, G., & Vittoria, V. (2007). Potential perspectives of biocomposites for food packaging applications. *Trends in food science & technology*, 18(2), 84-95.

Srivastava, S. A. N. J. A. Y., & Thombare, N. A. N. D. K. I. S. H. O. R. E. (2017). Safety assessment of shellac as food additive through long term toxicity study. *Trends Biosci*, 10, 733-740.

Stadelman, W. J., Newkirk, D., & Newby, L. (2017). *Egg science and technology*. CRC Press.

Struller, C. F., Kelly, P. J., & Copeland, N. J. (2014). Aluminum oxide barrier coatings on polymer films for food packaging applications. *Surface and coatings technology*, 241, 130-137.

Subha, V., Ranu, A., Shankar, A., Kirubanandan, S., Satheeshkumar, E., Suresh, S., ... & Ilangoan, R. (2022). Functionalization of spray coated cellulose nanofiber sheet with montmorillonite (MMT) and silver nanoparticles (AgNPs) to biomedical nanocomposite as wound regeneration scaffold. *Progress in Organic Coatings*, 166, 106782.

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.

Sun, C. J., Chen, S. R., Xu, G. Y., Liu, X. M., & Yang, N. (2012). Global variation and uniformity of eggshell thickness for chicken eggs. *Poultry Science*, 91(10), 2718-2721.

Sun, C., Xu, C., Mao, L., Wang, D., Yang, J., & Gao, Y. (2017). Preparation, characterization and stability of curcumin-loaded zein-shellac composite colloidal particles. *Food chemistry*, 228, 656-667.

Sun, Y., Zhang, M., Bhandari, B., & Bai, B. (2021). Nanoemulsion-based edible coatings loaded with fennel essential oil/cinnamaldehyde: Characterization, antimicrobial property and advantages in pork meat patties application. *Food Control*, 127, 108151.

Sunwoo, H. H., & Gujral, N. (2015). Chemical composition of eggs and egg products. In *Handbook of food chemistry* (pp. 331-363). Springer, Berlin, Heidelberg.

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, 6345-6354.

Şamlı, H. E., & Aylin, A. Ğ. M. A. (2016). Yumurta. *İstanbul Ticaret Borsası Yayınları Yayın No: 208 Sektör Araştırmaları: 2016/1, İstanbul Ticaret Borsası*

Tabilo-Munizaga, G., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Rheology for the food industry. *Journal of food engineering*, 67(1-2), 147-156.

Taherimehr, M., YousefniaPasha, H., Tabatabaeekolour, R., & Pesaranhajiabbas, E. (2021). Trends and challenges of biopolymer-based nanocomposites in food packaging. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(6), 5321-5344.

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.

Tela, A. H. (2017). Determination of total antioxidant capacity, amount of vitamins and amino acids with some peptides in different type of eggs/Değişik yumurtalardan total antioksidan kapasitesinin vitaminler, aminoasit ve diğer peptitlerin belirlenmesi.

Telis-Romero, J., Thomaz, C. E. P., Bernardi, M., Telis, V. R. N., & Gabas, A. L. (2006). Rheological properties and fluid dynamics of egg yolk. *Journal of Food Engineering*, 74(2), 191-197.

Thabet, A., Mubarak, Y. A., & Bakry, M. J. J. E. S. (2011). A review of nano-fillers effects on industrial polymers and their characteristics. *J. Eng. Sci*, 39, 377-403.

Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in food science & technology*, 14(3), 71-78.

The, D. P., Debeaufort, F., Luu, D., & Voilley, A. (2008). Moisture barrier, wetting and mechanical properties of shellac/agar or shellac/cassava starch bilayer bio-membrane for food applications. *Journal of Membrane Science*, 325(1), 277-283.

Thombare, N., Kumar, S., Kumari, U., Sakare, P., Yogi, R. K., Prasad, N., & Sharma, K. K. (2022). Shellac as a multifunctional biopolymer: A review on properties, applications and future potential. *International Journal of Biological Macromolecules*.

Timar, M. C., & Beldean, E. C. (2022). Modification of Shellac with Clove (*Eugenia caryophyllata*) and Thyme (*Satureja hortensis*) Essential Oils: Compatibility Issues and Effect on the UV Light Resistance of Wood Coated Surfaces. *Coatings*, 12(10), 1591.

Tokuşoğlu, Ö., & Barbosa-Cánovas, G. (2018). The improving quality and shelf life of table eggs. *Food Health and Technology Innovations*, 1(1), 34-63.

Torres, F. G., Troncoso, O. P., Piaggio, F., & Hajar, A. (2010). Structure–property relationships of a biopolymer network: The eggshell membrane. *Acta biomaterialia*, 6(9), 3687-3693.

Tripathi, D., Modi, A., Narayan, G., & Rai, S. P. (2019). Green and cost effective synthesis of silver nanoparticles from endangered medicinal plant *Withania coagulans* and their potential biomedical properties. *Materials Science and Engineering: C*, 100, 152-164.

Tsai, W. T., Yang, J. M., Lai, C. W., Cheng, Y. H., Lin, C. C., & Yeh, C. W. (2006). Characterization and adsorption properties of eggshells and eggshell membrane. *Bioresource technology*, 97(3), 488-493.

Tural, S., Sarıcaoğlu, F. T., & Turhan, S. (2017). Yenilebilir film ve kaplamalar: Üretimleri, uygulama yöntemleri, fonksiyonları ve kashı gıdalarda kullanımları. *Akademik Gıda*, 15(1), 84-94.

TÜİK, Kümes Hayvancılığı Üretimi. (Yayım Tarihi:14 Şubat 2023). [TÜİK Kurumsal \(tuik.gov.tr\)](https://tuik.gov.tr)

TÜİK, Kümes Hayvancılığı Üretimi. (Yayım Tarihi: 13 Nisan 2023). [TÜİK Kurumsal \(tuik.gov.tr\)](https://tuik.gov.tr)

Tüzün, E. Z. (2019). Surface modified halloysite nanotubes incorporated polylactide nanocomposites for food packaging applications (Doctoral dissertation, Izmir Institute of Technology (Turkey)).

Udayakumar, G. P., Muthusamy, S., Selvaganesh, B., Sivarajasekar, N., Rambabu, K., Sivamani, S., ... & Hosseini-Bandegharai, A. (2021). Ecofriendly biopolymers and composites: Preparation and their applications in water-treatment. *Biotechnology Advances*, 52, 107815.

USDA, (2019) Food Data Merkezi (usda.gov) [FoodData Merkezi \(usda.gov\)](https://www.usda.gov/food-data-merkezi)

Ustunol, Z. (2009). Edible films and coatings for meat and poultry. *Edible films and coatings for food applications*, 245-268.

Valencia-Chamorro, S. A., Palou, L., Del Río, M. A., & Pérez-Gago, M. B. (2011). Antimicrobial edible films and coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 51(9), 872-900.

Van Es, M. (2001). Polymer-clay nanocomposites. *Delft: PhD Thesis*.

Velaga, S. P., Nikjoo, D., & Vuddanda, P. R. (2018). Experimental studies and modeling of the drying kinetics of multicomponent polymer films. *AAPS PharmSciTech*, 19, 425-435.

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.

Wahid, F., Duan, Y. X., Hu, X. H., Chu, L. Q., Jia, S. R., Cui, J. D., & Zhong, C. (2019). A facile construction of bacterial cellulose/ZnO nanocomposite films and their photocatalytic and antibacterial properties. *International journal of biological macromolecules*, 132, 692-700.

Waimaleongora-Ek, P., Garcia, K. M., No, H. K., Prinyawiwatkul, W., & Ingram, D. R. (2009). Selected quality and shelf life of eggs coated with mineral oil with different viscosities. *Journal of Food Science*, 74(9), S423-S429.

Wan, Y., Jin, S., Ma, C., Wang, Z., Fang, Q., & Jiang, R. (2017). RNA-Seq reveals seven promising candidate genes affecting the proportion of thick egg albumen in layer-type chickens. *Scientific reports*, 7(1), 18083.

Wang, L., Ishida, Y., Ohtani, H., Tsuge, S., & Nakayama, T. (1999). Characterization of natural resin shellac by reactive pyrolysis– gas chromatography in the presence of organic alkali. *Analytical Chemistry*, 71(7), 1316-1322.

Wang, S., Lu, A., & Zhang, L. (2016). Recent advances in regenerated cellulose materials. *Progress in Polymer Science*, 53, 169-206.

Wang, Y., Gong, Y., Lin, N., Jiang, H., Wei, X., Liu, N., & Zhang, X. (2022). Cellulose hydrogel coated nanometer zero-valent iron intercalated montmorillonite (CH-MMT-nFe0) for enhanced reductive removal of Cr (VI): Characterization, performance, and mechanisms. *Journal of Molecular Liquids*, 347, 118355.

Wang, Z., Kang, S., Cao, S., Krecker, M., Tsukruk, V. V., & Singamaneni, S. (2020). Protein-based functional nanocomposites. *MRS Bulletin*, 45(12), 1017-1026.

Wardy, W., Torrico, D. D., No, H. K., Prinyawiwatkul, W., & Saalia, F. K. (2010). Edible coating affects physico-functional properties and shelf life of chicken eggs during refrigerated and room temperature storage. *International journal of food science & technology*, 45(12), 2659-2668.

Wellman-Labadie, O., Picman, J., & Hincke, M. T. (2008). Antimicrobial activity of the Anseriform outer eggshell and cuticle. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 149(4), 640-649.

Wittaya, T. (2012). Protein-based edible films: Characteristics and improvement of properties. *Structure and function of food engineering*, 3, 44-70.

Wu, J., & Acero-Lopez, A. (2012). Ovotransferrin: Structure, bioactivities, and preparation. *Food Research International*, 46(2), 480-487.

Wu, Q., Sun, Y., Gao, J., Dong, S., Luo, G., Li, H., & Zhao, L. (2017). Applications of hybrid organic–inorganic materials in chiral separation. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 95, 140-148.

Xu, L., Gu, L., Su, Y., Chang, C., Wang, J., Dong, S., ... & Li, J. (2020). Impact of thermal treatment on the rheological, microstructural, protein structures and extrusion 3D printing characteristics of egg yolk. *Food Hydrocolloids*, 100, 105399.

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.

Yaşkıır, M. (2019). Laktik asit bakterileri kullanılarak üretilen yumurta akı tozlarının fonksiyonel özelliklerin belirlenmesi (Doctoral dissertation, Necmettin Erbakan University (Turkey)).

Yousef, I., López-Caballero, M. E., Gómez-Guillén, M. C., Mauri, A. N., & Montero, M. P. (2018). Active nanocomposite films based on soy proteins-montmorillonite-clove essential oil for the preservation of refrigerated bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) fillets. *International journal of food microbiology*, 266, 142-149.

Yousuf, B., Sun, Y., & Wu, S. (2022). Lipid and lipid-containing composite edible coatings and films. *Food Reviews International*, 38(sup1), 574-597.

Yuan, Y., He, N., Dong, L., Guo, Q., Zhang, X., Li, B., & Li, L. (2021b). Multiscale shellac-based delivery systems: From macro-to nanoscale. *ACS nano*, 15(12), 18794-18821.



Yuan, Y., He, N., Xue, Q., Guo, Q., Dong, L., Haruna, M. H., ... & Li, L. (2021a). Shellac: A promising natural polymer in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 139-153.

Yuceer, M. (2020). Structural and rheological characterization of liquid egg white modified with phospholipase A2 enzyme. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(6), e14450.

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. (2013). Yumurtanın aktif ambalajlama ve yeni muhafaza yöntemleri ile raf ömrünün artırılması.

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.

Yüksel, Ç., Atalay, D., & Erge, H. S. (2020). Yenilebilir Kaplamaların Taze Kesilmiş Meyve Ve Sebzelerde Kullanımı. *Gıda*, 45(2), 340-355.

Zabot, G. L., Schaefer Rodrigues, F., Polano Ody, L., Vinícius Tres, M., Herrera, E., Palacin, H., ... & Olivera-Montenegro, L. (2022). Encapsulation of Bioactive Compounds for Food and Agricultural Applications. *Polymers*, 14(19), 4194.

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.

Zambrano-Zaragoza, M. L., González-Reza, R., Mendoza-Muñoz, N., Miranda-Linares, V., Bernal-Couoh, T. F., Mendoza-Elvira, S., & Quintanar-Guerrero, D. (2018).

Nanosystems in edible coatings: A novel strategy for food preservation. *International journal of molecular sciences*, 19(3), 705.

Zambrano-Zaragoza, M. L., Quintanar-Guerrero, D., Del Real, A., González-Reza, R. M., Cornejo-Villegas, M. A., & Gutiérrez-Cortez, E. (2020). Effect of nano-edible coating based on beeswax solid lipid nanoparticles on strawberry's preservation. *Coatings*, 10(3), 253.

Zaporotskova, I. V., Boroznina, N. P., Parkhomenko, Y. N., & Kozhitov, L. V. (2016). Carbon nanotubes: Sensor properties. A review. *Modern Electronic Materials*, 2(4), 95-105.

Zhang, Q., Zhang, Y., Liu, S., Wu, Y., Zhou, Q., Zhang, Y., ... & Liu, N. (2021). Adsorption of deoxynivalenol by pillared montmorillonite. *Food Chemistry*, 343, 128391.

Zhang, W., & Jiang, W. (2020). Antioxidant and antibacterial chitosan film with tea polyphenols-mediated green synthesis silver nanoparticle via a novel one-pot method. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 1252-1261.

Zhang, W., & Rhim, J. W. (2022). Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) for the manufacture of multifunctional active food packaging films. *Food Packaging and Shelf Life*, 31, 100806.

Zheng, H. (2019). Introduction: Measuring rheological properties of foods. *Rheology of semisolid foods*, 3-30.

Zheng, Y., Monty, J., & Linhardt, R. J. (2015). Polysaccharide-based nanocomposites and their applications. *Carbohydrate research*, 405, 23-32.

Zhong, Q., & Daubert, C. R. (2013). Food rheology. In *Handbook of farm, dairy and food machinery engineering* (pp. 403-426). Academic Press.

Zhou, M., Liu, Q., Wu, S., Gou, Z., Wu, X., & Xu, D. (2016). Starch/chitosan films reinforced with polydopamine modified MMT: Effects of dopamine concentration. *Food Hydrocolloids*, 61, 678-684.

Zhu, F. (2021). Polysaccharide based films and coatings for food packaging: Effect of added polyphenols. *Food Chemistry*, 359, 129871.

Żmudziński, D., Ptaszek, P., Kruk, J., Kaczmarczyk, K., Roźnowski, W., Berski, W., ... & 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.

Zou, Y., Wang, F., Li, A., Wang, J. X., Wang, D., & Chen, J. F. (2022). Synthesis of curcumin-loaded shellac nanoparticles via co-precipitation in a rotating packed bed for food engineering. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(26), e52421.

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.

