

**T.C.**  
**MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**GIDA TEKNOLOJİSİ BİLİM DALI**

**ZnO KATKILI FOTOKATALİTİK AKTİF AMBALAJ ÜRETİMİ**

**Elif KARABAŞ**

**Danışman**

**Doç. Dr. Tuncay YILMAZ**

**Doç. Dr. Metin YURDDAŞKAL**



**MANİSA-2023**

ELİF  
KARABAŞ

ÇİNKO OKSİT( $ZnO$ ) KATKILI FOTOKATALİTİK AKTİF AMBALAJ ÜRETİMİ

2023

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Elif KARABAŞ**



## İÇİNDEKİLER

|                                                                                       |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| İÇİNDEKİLER.....                                                                      | v    |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                                                   | vii  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                                 | viii |
| TABLO DİZİNİ.....                                                                     | x    |
| TEŞEKKÜR .....                                                                        | xi   |
| ÖZET .....                                                                            | xii  |
| ABSTRACT .....                                                                        | xiii |
| 1.GİRİŞ .....                                                                         | 1    |
| 2.GENEL BİLGİLER .....                                                                | 3    |
| 2.1.Gıda Ambalajları.....                                                             | 3    |
| 2.1.1.Biyobazlı Ambalajlama .....                                                     | 3    |
| 2.1.2.Aktif Ambalajlama .....                                                         | 4    |
| 2.1.3.Akıllı Ambalajlama .....                                                        | 4    |
| 2.2.Gıda Ambalajlarında Nanoteknoloji Uygulamaları .....                              | 5    |
| 2.2.1.Nanomalzemeler ve Nanokompozitler .....                                         | 5    |
| 2.2.1.1.Doğal Biyonanokompozitler .....                                               | 6    |
| 2.2.1.2.Sentetik Biyonanokompozitler .....                                            | 8    |
| 2.3.Metal ve Metal Oksit Nanomalzemeler.....                                          | 9    |
| 2.3.1.Metal ve Metal Oksit Nanomalzemelerin Antimikrobiyal Etki Mekanizması.....      | 9    |
| 2.3.2.Metal ve Metal Oksit Nanomalzemelerin Fotokatalitik Etki Mekanizması .....      | 11   |
| 2.3.3.Çinko Oksit Nanopartikülleri.....                                               | 12   |
| 2.4.Gıda Ambalajlarında Çinko Oksit Nanopartikülü Kullanımına Yönelik Çalışmalar..... | 13   |
| 3.MATERYAL VE YÖNTEMLER .....                                                         | 15   |
| 3.1.Materyal.....                                                                     | 15   |
| 3.2.Yöntemler .....                                                                   | 15   |
| 3.2.1.Nanopartiküllerin X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS).....                | 15   |
| 3.2.2.Minimum İnhibisyon Konsantrasyonunun Belirlenmesi .....                         | 16   |
| 3.2.3.Biyonanokompozit Filmlerin Hazırlanması.....                                    | 17   |
| 3.2.4.Film Kalınlığının Belirlenmesi .....                                            | 18   |
| 3.2.5.Filmlerin Renk Analizi .....                                                    | 19   |
| 3.2.6.Filmlerin Nem İçeriğinin Belirlenmesi.....                                      | 19   |
| 3.2.7.Filmlerin Nem Absorblama Kapasitesinin Belirlenmesi .....                       | 19   |
| 3.2.8.Filmlerin Hidrofobisite Özelliklerinin İncelenmesi .....                        | 20   |
| 3.2.9.Film Maliyetlerinin Değerlendirilmesi .....                                     | 20   |
| 3.2.10.Filmlerin Fotokatalitik Bozunma Etkinliklerinin Belirlenmesi .....             | 20   |
| 3.2.11.Filmlerin Suda Çözünürlüğünün Belirlenmesi.....                                | 21   |
| 3.2.12.Filmlerin X-ışını Kırınımının (XRD) İncelenmesi.....                           | 21   |
| 3.2.13.Filmlerin Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) .....             | 22   |
| 3.2.14.Filmlerin Antimikrobiyal Özelliklerinin Belirlenmesi .....                     | 22   |
| 3.2.15.Deneme Deseni, Optimizasyon ve İstatistiksel Analiz .....                      | 23   |
| 4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....                                               | 27   |
| 4.1.Nanopartiküllerin X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) .....                 | 27   |
| 4.2.Minimum İnhibisyon Konsantrasyonunun Belirlenmesi .....                           | 28   |
| 4.3.Seçilen Parametrelerin Film Karakteristik Özelliklerine Etkileri .....            | 34   |

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3.1.Parametrelerin Film Kalınlığı Üzerine Etkileri .....                                             | 35 |
| 4.3.2.Parametrelerin Filmlerin Renkleri Üzerine Etkileri .....                                         | 37 |
| 4.3.3.Parametrelerin Nem İçeriği Üzerine Etkileri .....                                                | 39 |
| 4.3.4.Parametrelerin Nem Absorblama Kapasitesi Üzerine Etkileri .....                                  | 41 |
| 4.3.5.Parametrelerin Hidrofobisite Üzerine Etkileri .....                                              | 42 |
| 4.3.6.Parametrelerin Maliyet Üzerine Etkileri.....                                                     | 45 |
| 4.4.Optimizasyon .....                                                                                 | 48 |
| 4.5.Optimum Nokta ve Değişen ZnO Konsantrasyonu İçeren Filmlerin Bazı Özelliklerinin İncelenmesi ..... | 48 |
| 4.5.1.Fotokatalitik Bozunma.....                                                                       | 49 |
| 4.5.2.Suda Çözünürlük .....                                                                            | 50 |
| 4.5.3.X-Işını Kırınımı (XRD) .....                                                                     | 51 |
| 4.5.4.Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) .....                                         | 54 |
| 4.5.6.Filmlerin Antimikrobiyal Özelliklerinin Belirlenmesi .....                                       | 55 |
| 5.SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                                              | 59 |
| KAYNAKLAR.....                                                                                         | 61 |
| EKLER.....                                                                                             | 69 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                                          | 73 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                                   |                                                                                       |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>µg</b>                         | Mikrogram                                                                             |
| <b>µl</b>                         | Mikrolitre                                                                            |
| <b><i>A.niger</i></b>             | <i>Aspergillus niger</i>                                                              |
| <b>BBD</b>                        | Box Behnken Design (Box Behnken Deseni)                                               |
| <b>e<sup>-</sup></b>              | Elektron                                                                              |
| <b><i>E.coli</i></b>              | <i>Escherichia coli</i>                                                               |
| <b>eV</b>                         | Elektronvolt                                                                          |
| <b>FDA</b>                        | Food and Drug Administration (Gıda ve İlaç Dairesi)                                   |
| <b>FT-IR</b>                      | Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrumu) |
| <b>GRAS</b>                       | Generally Recognized as Safe (Genel Olarak Güvenli)                                   |
| <b>h<sup>+</sup></b>              | Hole (Boşluk)                                                                         |
| <b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b> | Hidrojen Peroksit                                                                     |
| <b>Kob</b>                        | Koloni Oluşturan Birim                                                                |
| <b>nm</b>                         | Nanometre                                                                             |
| <b>NP</b>                         | Nanopartikül                                                                          |
| <b>RFID</b>                       | Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama)                         |
| <b>ROS</b>                        | Reactive Oxygen Species (Reaktif Oksijen Türleri)                                     |
| <b>Rpm</b>                        | Revolutions Per Minute (Dakikadaki devir sayısı)                                      |
| <b>RSM</b>                        | Response Surface Methodology (Yanıt Yüzey Yöntemi)                                    |
| <b>UV</b>                         | Ultraviyole                                                                           |
| <b>UVA</b>                        | Ultraviyole-A                                                                         |
| <b>XPS</b>                        | X-Ray Photoelectron Spectroscopy (X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi)                |
| <b>XRD</b>                        | X-Ray Diffraction (X-Işınımı Kırınımı)                                                |
| <b>ZnO</b>                        | Çinko Oksit                                                                           |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.2.1. 1 Biyonanokompozit filmlerin bariyer özelliklerinin şematik gösterimi .                                                                                                                                                                             | 6  |
| Şekil 2.3.1.1 Nanomalzemelerin antimikrobiyal etki mekanizmasının gösterimi .....                                                                                                                                                                                | 10 |
| Şekil 2.3.2.1 Çinko oksitin fotokatalitik aktivite mekanizmasının gösterimi[54] .....                                                                                                                                                                            | 11 |
| Şekil 2.3.2.2 Çinko oksitin foton enerjisiyle uyarılmasıyla gerçekleşen reaksiyonlar .....                                                                                                                                                                       | 12 |
| Şekil 3.2.2.1 Işık altında inkübasyonun gösterimi .....                                                                                                                                                                                                          | 16 |
| Şekil 3.2.3.1 Film çözeltilerinin hazırlanması ve kurutulma aşaması .....                                                                                                                                                                                        | 18 |
| Şekil 3.2.3.2 Film üretimine ait akım şeması .....                                                                                                                                                                                                               | 18 |
| Şekil 3.2.5.1 Renk analiz cihazı .....                                                                                                                                                                                                                           | 19 |
| Şekil 3.2.10.1 Film parçalarının ışık maruziyeti .....                                                                                                                                                                                                           | 20 |
| Şekil 4.1.1 Elementlerin bağlanma enerjileri .....                                                                                                                                                                                                               | 27 |
| Şekil 4.2.1 Karanlık inkübasyon sonunda <i>E.coli</i> gelişimi .....                                                                                                                                                                                             | 29 |
| Şekil 4.2.2 Işık altında inkübasyon sonunda <i>E.coli</i> gelişimi .....                                                                                                                                                                                         | 29 |
| Şekil 4.2.3 Karanlık inkübasyon sonunda <i>A.niger</i> gelişimi .....                                                                                                                                                                                            | 31 |
| Şekil 4.2.4 Işık altında inkübasyon sonunda <i>A.niger</i> gelişimi .....                                                                                                                                                                                        | 31 |
| Şekil 4.3.1.1. ZnO ve kitosan konsantrasyonunun film kalınlığı üzerine etkisi(A), ZnO konsantrasyonu ve dökme hacminin film kalınlığı üzerine etkisi(B), kitosan konsantrasyonu ve dökme hacminin film kalınlığı üzerine etkisinin(C) üç boyutlu gösterimi ..... | 37 |
| Şekil 4.3.5.1 ZnO ve kitosan konsantrasyonunun temas açısı üzerine etkisi(A), ZnO konsantrasyonu ve dökme hacminin temas açısı üzerine etkisi(B), kitosan konsantrasyonu ve dökme hacminin temas açısı üzerine etkisi(C). .....                                  | 45 |
| Şekil 4.3.6.1 ZnO ve kitosan konsantrasyonunun film maliyeti üzerine etkisi(A), ZnO konsantrasyonu ve dökme hacminin film maliyeti üzerine etkisi(B), kitosan konsantrasyonu ve dökme hacminin film maliyeti üzerine etkisi(C). .....                            | 47 |
| Şekil 4.4.1 Yanıtların değerlendirilmesi ve optimum koşullar .....                                                                                                                                                                                               | 48 |
| Şekil 4.5.1.1. Farklı ZnO konsantrasyonuna sahip filmlerin fotokatalitik bozunma(%) değerleri .....                                                                                                                                                              | 50 |
| Şekil 4.5.2.1 Farklı ZnO konsantrasyonuna sahip filmlerin suda çözünürlük(%) değerleri .....                                                                                                                                                                     | 51 |
| Şekil 4.5.3.1 ZnO Nanopartiküllerinin XRD deseni .....                                                                                                                                                                                                           | 51 |
| Şekil 4.5.3.2 %0,1 ZnO içeren kitosan filmin XRD deseni .....                                                                                                                                                                                                    | 52 |

|                      |                                                                                                                                                                       |    |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.5.3.3</b> | %0,2 ZnO içeren kitosan filmin XRD deseni .....                                                                                                                       | 53 |
| <b>Şekil 4.5.3.4</b> | %0,3 ZnO içeren kitosan filmin XRD deseni .....                                                                                                                       | 53 |
| <b>Şekil 4.5.4.2</b> | %0,2 ZnO içeren filmin FT-IR spektrumu .....                                                                                                                          | 54 |
| <b>Şekil 4.5.6.1</b> | Disk difüzyon yönteminde karanlık inkübasyonda <i>E.coli</i> gelişimi .....                                                                                           | 55 |
| <b>Şekil 4.5.6.2</b> | Disk difüzyon yönteminde ışık altında inkübasyonda <i>E.coli</i> gelişimi .....                                                                                       | 55 |
| <b>Şekil 4.5.6.3</b> | Disk difüzyon yönteminde karanlık inkübasyonda <i>A.niger</i> gelişimi .....                                                                                          | 56 |
| <b>Şekil 4.5.6.4</b> | Disk difüzyon yönteminde ışık altında inkübasyonda <i>A.niger</i> gelişimi .....                                                                                      | 57 |
| <b>Şekil 4.5.6.5</b> | Farklı ZnO konsantrasyonuna sahip filmlerin <i>Aspergillus niger</i> için karanlık ve ışık altında inkübasyon sonunda oluşturdıkları inhibisyon bölgesi çapları ..... | 57 |
| <b>Ek Şekil 1</b>    | Filmlerin Temas Açısı Ölçümlerine Ait Görsel .....                                                                                                                    | 71 |
| <b>Ek Şekil 2</b>    | %0,1 ZnO içeren filmin FT-IR spektrumu .....                                                                                                                          | 72 |
| <b>Ek Şekil 3</b>    | %0,3 ZnO içeren filmin FT-IR spektrumu .....                                                                                                                          | 72 |

## TABLO DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 3.2.15.1.</b> Biyonanokompozit Filmlere Ait Deneme Planı .....                                                                                           | 23 |
| <b>Tablo 3.2.15.2.</b> Biyonanokompozit Filmlere Ait Deneme Deseni .....                                                                                          | 24 |
| <b>Tablo 4.1.1.</b> Nanopartiküllerin Element Kimliği ve Dağılımı.....                                                                                            | 27 |
| <b>Tablo 4.2.1.</b> ZnO Nanopartiküllerinin <i>Escherichia coli</i> İçin Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu ve Minimum Bakterisidal Konsantrasyonu Değerleri ..... | 30 |
| <b>Tablo 4.2.2.</b> ZnO Nanopartiküllerinin <i>Aspergillus niger</i> İçin Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu ve Minimum Fungisidal Konsantrasyonu Değerleri.....   | 31 |
| <b>Tablo 4.3.1.</b> Bağımsız ve bağımlı faktörler arasındaki matematiksel ilişki .....                                                                            | 34 |
| <b>Tablo 4.3.1.1.</b> Film kalınlığı için ANOVA tablosu .....                                                                                                     | 35 |
| <b>Tablo 4.3.1.2.</b> Film kalınlığı için $R^2$ değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri .....                                                                     | 36 |
| <b>Tablo 4.3.2.1.</b> Parlaklık ( $L^*$ ) için ANOVA tablosu.....                                                                                                 | 38 |
| <b>Tablo 4.3.2.2.</b> Parlaklık ( $L^*$ ) için $R^2$ değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri.....                                                                 | 39 |
| <b>Tablo 4.3.3.1.</b> Nem içeriği için ANOVA tablosu .....                                                                                                        | 39 |
| <b>Tablo 4.3.3.2.</b> Nem içeriği için $R^2$ değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri .....                                                                        | 40 |
| <b>Tablo 4.3.4.1.</b> Nem absorpsiyonu için ANOVA tablosu.....                                                                                                    | 41 |
| <b>Tablo 4.3.4.2.</b> Nem absorpsiyonu için $R^2$ değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri ...                                                                     | 42 |
| <b>Tablo 4.3.5.1.</b> Hidrofobisite için ANOVA tablosu .....                                                                                                      | 43 |
| <b>Tablo 4.3.5.2.</b> Hidrofobisite için $R^2$ değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri.....                                                                       | 43 |
| <b>Tablo 4.3.6.1.</b> Maliyet için ANOVA tablosu.....                                                                                                             | 45 |
| <b>Tablo 4.3.6.2.</b> Maliyet için $R^2$ değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri .....                                                                            | 46 |
| <b>Ek Tablo 1</b> Deneme Desenine Ait Sonuçlar.....                                                                                                               | 70 |

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince değerli katkıları ve yardımları için danışman hocalarım Sayın Doç. Dr. Tuncay YILMAZ'a ve Sayın Doç. Dr. Metin YURDDAŞKAL'a teşekkürlerimi sunarım. Yine bu süreçte kıymetli vaktini ayıran, yardımlarını ve desteğini esirgemeyen Sayın Dr. S.Betül BOZATLI hocama teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her döneminde yanımda olan sevgili aileme tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Elif KARABAŞ  
Manisa, 2023

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Elif KARABAŞ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Tuncay YILMAZ

İkinci Danışman: Doç.Dr. Metin YURDDAŞKAL

Tez çalışması kapsamında çinko oksit nanopartikülü içeren fotokatalitik aktif ambalaj malzemesi üretilmiştir. Bunun için ilk olarak çinko oksit nanopartiküllerinin saflık analizi yapılmıştır. Ardından çinko oksit nanopartiküllerinin UV-görünür ışık altında ve karanlıkta *Escherichia coli* ve *Aspergillus niger* üzerindeki minimum inhibisyon konsantrasyonu ve minimum bakterisidal/fungisidal konsantrasyonu tespit edilmiştir. Filmlerin çinko oksit konsantrasyonu, kitosan konsantrasyonu ve dökme hacmindeki farklılıkların, filmlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu doğrultuda filmlerin kalınlık, renk, nem içeriği, nem absorblama kapasitesi, hidrofobisite özellikleri incelenmiş ve maliyet değerlendirmesi yapılmıştır. En iyi özelliklere sahip film, optimum film olarak seçilmiştir. Seçilen filme ek olarak farklı konsantrasyonlarda çinko oksit içeren filmlerin fotokatalitik bozunma etkinlikleri, XRD desenleri, FT-IR spektroskopisi, suda çözünürlüğü ve antimikrobiyal etkinlikleri incelenmiştir. Sonuç olarak %0,2 ZnO ve %1,5 kitosan içeren filmler optimum film olarak seçilmiştir. Seçilen filmlere ek olarak kitosan konsantrasyonu sabit tutularak %0,1 ZnO ve %0,3 ZnO içeren filmler seçilmiştir. Seçilen filmlerde fotokatalitik bozunma, metilen mavisi sulu çözeltilerinin absorbans azalması takip edilerek  $87 \pm 1$  olarak tespit edilmiştir. Artan çinko oksit konsantrasyonunun filmlerin suda çözünürlüğü azalttığı tespit edilmiştir. XRD desenleri incelendiğinde çinko oksit nanopartiküllerine ait keskin pikler, çinko oksit içeren kitosan bazlı filmlerde düşük konsantrasyonlarda çinko oksit ile çalışıldığından gözlemlenememiştir. FT-IR spektrumları, çinko oksit içeren kitosan bazlı filmlerin organik bağ yapısını kanıtlar nitelikte olduğunu göstermiştir. Filmlerin antimikrobiyal özellikleri disk difüzyon yöntemiyle incelenmiştir. *Escherichia coli* için ışık altında ve karanlık inkübasyonda sadece filmlerin olduğu bölgede üreme gözlenmemiştir. *Aspergillus niger* için artan çinko oksit konsantrasyonu karanlık ve ışık altında inkübasyonda inhibisyon bölgesini arttırmıştır. *A.niger* için en büyük inhibisyon çapı ışık altında inkübasyonda %0,3 ZnO içeren filmlerde gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çinko Oksit, Fotokatalitik, Nanoteknoloji, Nanokompozit, Ambalaj, Gıda

2023, 60 sayfa

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

**Elif KARABAŞ**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Food Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Tuncay YILMAZ**

**Co-Supervisor: Assoc. Prof. Metin YURDDAŞKAL**

Within the scope of the thesis study, photocatalytic active packaging material containing zinc oxide nanoparticles was produced. For this, first, a purity analysis of zinc oxide nanoparticles was performed. Then, the minimum inhibition concentration and minimum bactericidal/fungicidal concentration of zinc oxide nanoparticles on *Escherichia coli* and *Aspergillus niger* were determined under UV-visible light and in the dark. The effects of the differences in zinc oxide concentration, chitosan concentration and bulk volume of the films on the chemical and physical properties of the films were investigated. In this direction, the thickness, color, moisture content, moisture absorption capacity, hydrophobicity properties of the films were examined and cost evaluation was made. The film with the best features was chosen as the optimum film. In addition to the selected film, the photocatalytic degradation activities, XRD patterns, FT-IR spectroscopy, water solubility and antimicrobial activities of films containing zinc oxide at different concentrations were investigated. As a result, films containing 0.2% ZnO and 1.5% chitosan were chosen as the optimum film. In addition to the selected films, films containing 0.1% ZnO and 0.3% ZnO were selected by keeping the chitosan concentration constant. Photocatalytic degradation in selected films was determined to be  $87\pm1\%$  by following the absorbance decrease of methylene blue aqueous solutions. It was determined that increasing zinc oxide concentration decreased the water solubility of the films. When the XRD patterns were examined, sharp peaks belonging to zinc oxide nanoparticles could not be observed since chitosan-based films containing zinc oxide were studied with low concentrations of zinc oxide. FT-IR spectra showed that chitosan-based films containing zinc oxide proved the organic bond structure. The antimicrobial properties of the films were investigated by disk diffusion method. No growth was observed for *E.coli* only in the region of the films in the light and dark incubation. For *A.niger*, increasing zinc oxide concentration increased the inhibition zone in dark and light incubation. The largest inhibition diameter for *A.niger* was observed in films containing 0.3% ZnO in incubation under light.

**Keywords:** Zinc Oxide, Photocatalytic, Nanotechnology, Nanocomposite, Packaging, Food

**2023, 60 pages**

## 1.GİRİŞ

Gıda güvenliği, dünya nüfusunun artışının da etkisiyle en önemli insani önceliklerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Gıda ve tarımdaki sanayileşme, güvenli gıda ürünlerine erişimi kolaylaştıran bir stratejidir. Mikrobiyal, fiziksel ve kimyasal kirleticiler gıda güvenliğini ve kalitesini etkilemektedir[1]. Gıda ambalajları, gıdanın olumsuz çevre şartlarından etkilenmesini önleyerek yapısını, lezzet ve besin değerlerini korumaktadır. Bu nedenle günümüzde çeşitli gıda ambalajlama yöntemleri kullanılmaktadır[2].

Gıda ambalajlama sistemleri, aktif ambalajlama, akıllı ambalajlama ve biyobazlı ambalajlama olarak sınıflandırılmaktadır. Aktif ambalajlama, ambalaj malzemesine eklenen aktif bileşenler sayesinde veya aktif fonksiyonel polimerlerin kullanımıyla gıdaların raf ömrünün uzatıldığı, duysal kalitesinin geliştirildiği ve gıda güvenliğinin sağlandığı bir sistemdir[3,4].

Gıda ambalajlarının geliştirilmesinde sürdürülebilir seçeneklere geçmek, kaynakların verimli kullanımını arttırmak ve atıkların olumsuz etkilerini azaltmak önem kazanmaktadır. Böylece gıda ambalajlarındaki mevcut araştırma faaliyetleri, temelinde yeni biyomateryallerin ve ambalajın tekrar kullanımı ile geri dönüşümüne odaklanmaktadır[5].

Kitin, kabuklu canlıların, böceklerin ve mantarların yapısal maddesi olmakla birlikte doğada selülozdan sonra en fazla bulunan ikinci biyopolimerdir[6]. Kitinin deasetilasyonu yapılmış bir türevi olan kitosan, biyoyumlu ve biyolojik olarak parçalanabilen bir polisakkarittir[7]. Biyolojik olarak parçalanamayan plastik bazlı gıda ambalajlarına alternatif olması amacıyla kitosan bazlı esnek gıda ambalajları ve yenilebilir kaplamalar geliştirmesi ve kullanımı önerilmektedir [6].

Gıda ambalajlarına nanomalzemelerin dahil edilmesiyle mevcut ambalajların yapısı iyileştirilirken gıda ürünlerinin raf ömrü uzatılabilmektedir. Çinko oksit nanoparçacıkları, bakterilerin hücre zarı bileşenlerini değiştirme ve hücre zarını parçalama yeteneğine sahip olmaları nedeniyle çok sayıda mikroorganizmanın kontrolünde yaygın olarak kullanılmaktadır[8]. Çinko oksit nanopartikülleri, ambalaj

malzemesine antimikrobiyal özellikler kazandırmanın yanında ambalajların bariyer özelliklerinin geliştirilmesini de sağlamaktadır[9]. Ayrıca çinko oksit nanoparçacıkları, gümüş gibi ağır metal olmaması ve düşük toksisite özelliğinin yanında biyouyumlu bir malzeme olmasıyla, araştırmacıların ilgisini çekmektedir[8].

Çinko oksit nanopartikülleri, fotokatalitik, optik ve elektriksel özellikleri nedeniyle çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılan nanomalzemelerdendir[10]. Çinko oksit fotokatalizörünün bant aralığı enerjisinden yüksek bir enerjiye sahip ışıqla uyarılmasıyla fotokataliz gerçekleşmektedir. Fotokatalizin gerçekleşmesi ile oluşan reaktif gruplar organik kirleticileri ortadan kaldırmaktadır[11].

Bu tez çalışmasında, mevcut plastik ambalajlara alternatif, antimikrobiyal özelliklere sahip, biyouyumlu, çevre dostu bir ambalaj geliştirmek hedeflenmiştir. Bunun için kitosanın asidik ortamda jelleştirilmesiyle elde edilen film çözeltilerine farklı oranlarda çinko oksit nanopartikülleri eklenerek antimikrobiyal aktif ambalajlar üretilmiştir. Çinko oksitin fotokatalitik özelliklerinin hedef mikroorganizmalar üzerindeki etkisini incelemek amacıyla UV-görünür ışık kaynağından yararlanılmıştır. Çinko oksit nanopartikülleri ile üretilen fotokatalitik aktif ambalaj materyalinin gıda israfının azaltılmasına ve gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

## **2.GENEL BİLGİLER**

Yapılan araştırmalar yılda yaklaşık 1,3 milyar ton gıdanın, gıda tedarik sürecinde tüketilemez hale geldiğini ve kaybedildiğini göstermektedir[12]. Gıda ambalajları, gıdaları dış etkenlere karşı koruyarak, gıdaların tüketiciye sağlıklı ve güvenilir bir şekilde ulaşmasında önemli bir yere sahiptir. Bunun bir sonucu olarak da gıda ambalajlama, sürekli gelişmekte olan bir alan olmakla birlikte her zaman daha fazlasını sunmak için gelişen bir sektör olmuştur[13].

### **2.1.Gıda Ambalajları**

Gıda ambalajları, gıda ürünlerini fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmalara karşı korumanın yanında depolama ve taşıma sırasında gıda güvenliğini sağlayarak gıda ürünlerinin kalitesinin korunmasında ve gıdaların raf ömrünün uzatılmasında önemli bir yere sahiptir[14]. Tüketicilerin yaşam tarzındaki değişiklikler ve perakende uygulamalarındaki modern yaklaşımlar, gıda güvenliği ve kalitesinin korunmasında yenilikçi ambalaj tekniklerinin kullanımını teşvik etmektedir[15]. Gıda endüstrisinde düşük gaz ve nem geçirgenliğine sahip olmalarının yanında düşük maliyetli ve hafif olmaları nedeniyle plastik malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna karşın plastik malzemeler biyolojik olarak parçalanamamakla birlikte çevre kirliliğine neden olmaktadır[13]. Günümüzde sürdürülebilir ambalaj teknolojilerinin geliştirilmesiyle bozunur olmayan plastik malzemeler yerine biyobozunur malzemelere olan ilgi artmaktadır. Bu nedenle ambalaj malzemelerinin seçiminde ve geleneksel ambalajların dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla aktif ve akıllı ambalajların geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır[13].

#### **2.1.1.Biyobazlı Ambalajlama**

Tüketici sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri ve atıklarının oluşturduğu çevresel zarar nedeniyle petrol bazlı plastik ambalaj malzemelerine olan talep azalmaktadır. Bununla birlikte çevre dostu biyopolimerler, biyobozunur özellikleri ve insan sağlığı için güvenli olmalarıyla plastik ambalaj malzemelerine alternatif olabilmektedir[2]. Biyobazlı ambalajların üretiminde nişasta, selüloz, kitosan, gluten

gibi doğal biyopolimerlerle, polilaktit, poliglikolik asit, polivinil alkol gibi sentetik biyobozunur polimerlerden yararlanılmaktadır[16].

### **2.1.2.Aktif Ambalajlama**

Gıdaların raf ömrünün arttırılmasında ve paketlenmiş gıdalarda güvenliğin sağlanmasında en etkili yöntemlerden biri aktif ambalajlama sistemleridir[17]. Gıdaların raf ömrünü uzatmaya yardımcı olan veya ambalaj ortamının şartlarını iyileştirebilen madde veya cihazlar aktif olarak kabul edilmektedir. Aktif maddeler, karbondioksit, oksijen, etilen, aroma, tat, antioksidan ve antimikrobiyallerin salınımı veya emilimi gibi işlevleri gerçekleştirmek amacıyla ambalaj malzemelerine dahil edilerek ambalajların özelliklerini geliştirmektedir[18]. Aktif ambalajlama sistemlerinde, aktif bileşenler (organik asitler ve bunların tuzları, enzimler, yağ asitleri, metal nanopartiküller, bitki esansiyel yağları, antioksidanlar, bakteriyosinler vb.) gıda ambalajına uygulanır veya aktif fonksiyonel polimerlerden yararlanılır(Jafarzadeh et al., 2021). Aktif ambalajlamanın en yaygın kullanılan çeşidi antimikrobiyal paketleme sistemleridir. Antimikrobiyal bileşenlerin ambalaj materyaline uygulanması; polimer yüzeylerinin kaplanması, polimer içine ilave edilmesi, polimer üzerine immobilize edilmesi ve antimikrobiyal etkiye sahip polimerlerin kullanımı şeklinde gerçekleştirilebilir[3]. Yeni aktif ambalajlama sistemlerinin geliştirilmesi, gıda güvenliği ve kalite standartlarının artmasının yanında atıkların azaltılmasına ve sürdürülebilirliğin sağlanmasına yardımcı olmaktadır[20].

### **2.1.3.Akıllı Ambalajlama**

Akıllı ambalajlama sistemlerinin amacı, gıda ürünlerinin raf ömrünü ve güvenliğini arttırmanın yanında, tedarik zincirinde ürünün izlenebilirliğini kolaylaştırmayı sağlamak ve tüketicilere ürün kalitesi hakkında bilgi vermektir[21]. Akıllı ambalajlama sistemleri; göstergeler, elektronik sensörler ve radyo frekansı ile tanımlama (RFID) cihazları gibi donanımlardan yararlanmaktadır. Göstergeler, zaman-sıcaklık, tazelik, nem göstergeleri gibi işlevlerine göre sınıflandırılmaktadır. Göstergeler genel olarak renk değişiklikleri ve dağılımı hakkında tüketicilere bilgi sağlarken, elektronik burun ve elektronik dil gibi elektronik sensörler gıda ürünlerinde gözlemlenen diğer parametrelerle ilgili veri sağlayabilmektedir[22].

Radyo frekansı ile tanımlama ise gıda ürünlerinin akıllı bir şekilde etiketlenmesinde kullanılan bir teknolojidir [23].

## **2.2.Gıda Ambalajlarında Nanoteknoloji Uygulamaları**

Gıda ambalajlama sistemleri, gıda güvenliği ve kalitesinin geliştirilmesi amacıyla çeşitli teknolojilerden yararlanmaktadır. Nanoteknoloji, gıda ürünlerinin ambalajlanmasında umut vaat eden yenilikçi bir teknolojidir[24]. Nanoteknoloji, 1-100 nm boyutlarındaki bir veya birden fazla boyuta sahip olan nanomalzemelerin üretimini, karakterizasyonunu ve kullanımlarını kapsamaktadır[25]. Nanomalzemeler, çeşitli fonksiyonel özelliklere sahip malzemelerdir[26]. Nano boyutlarda maddelerin kimyasal ve mekanik özellikleri değişirken daha etkili bileşikler oluşmaktadır böylece maddeler az miktarlarda daha etkin kullanılabilir[27]. Aktif ambalajlama sistemlerinde nanomalzemelerin kullanımıyla, ambalajların fizikokimyasal özellikleri geliştirilebilmekte ve ambalajlara antimikrobiyal, antioksidatif özellikler kazandırılabilir. Akıllı ambalajlama sistemlerinde, akıllı etiketlerin, sensörlerin geliştirilmesinde ve biyobazlı ambalajlama sistemlerinde çevre dostu, düşük atık oluşturan biyobozunur, biyoyumlu ambalajların geliştirilmesinde nanomalzemelerden yararlanılmaktadır[28].

### **2.2.1.Nanomalzemeler ve Nanokompozitler**

Nanomalzemeler, gelişmiş fizikokimyasal ve spesifik özellikleri ile makro ölçekteki malzemelerden farklılık göstermektedir. Küçük boyutlara sahip olmaları nedeniyle nanomalzemeler yüksek yüzey-hacim oranına ve yüzey aktivitesine sahiptirler[29]. Nanomalzemeler, organik ve inorganik nanomalzemeler olmak üzere iki kategoride incelenmektedir. Metal, metal oksit ve kil nanoparçacıkları inorganik nanomalzemelerdir. Doğal polisakkaritler, kitosan, kitin, peyniraltı suyu izolatları ve zein gibi nanomalzemeler organik nanomalzemelerdir[30]. Nanomalzemelerin, polimer, biyomolekül ve farklı nanomalzemelerle birlikte kullanımıyla 100 nm'den daha büyük boyutlardaki nanokompozitleri oluşturmaktadır[31]. Kompozit malzemeler sürekli ve dağılan faz olmak üzere iki ya da daha fazla faz içeren malzemelerdir. Sürekli faz polimer malzeme iken dağılan faz dolgu malzemesidir.

Nanokompozitler gelişmiş mekanik özellikleri, termal kararlılıkları ve elektriksel iletkenlikleriyle ambalaj özelliklerini iyileştirebilmektedir[32].

Nano boyutlu dolgu malzemelerinin biyopolimerlere dahil edilmesiyle biyobazlı nanokompozitler elde edilir[33]. Şekil 2.2.1.1’de Biyananokompozit filmlerin bazı bariyer özellikleri verilmektedir[4]. Biyananokompozitler doğal ve sentetik biyananokompozitler olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir.



Şekil 2.2.1. 1 Biyananokompozit filmlerin bariyer özelliklerinin şematik gösterimi [4]

#### 2.2.1.1.Doğal Biyananokompozitler

Nişasta, kitosan, selüloz, proteinler gibi doğal polimerler, sürdürülebilir ambalaj uygulamaları için tercih edilmektedir.

##### 2.2.1.1.1.Kitosan Bazlı Nanokompozitler

Biyobazlı ambalajların geliştirilmesinde sıklıkla kullanılan doğal biyopolimerlerden kitosan, deniz kabuklularının dış iskeletleri ve mantarların hücre duvarlarında bulunan, toksik olmayan doğal bir polisakkarittir. Biyobozunur ve biyoyumlu olmasının yanında bakteriyostatik, fungistatik biyoaktif özelliklere sahip olması nedeniyle çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır[34]. Kitosan, ambalaj

filmleri ya da doğrudan gıda materyalleri üzerine kaplamalar yoluyla gıda ambalajlama uygulamalarında yer almaktadır[6]. Kitosan, eklendiği film çözeltilerine viskoz özellik kazandırmanın yanında literatürde ambalaj filmlerinin ısı ve mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla kil nanopartikülleriyle ve antimikrobiyal özellikleri geliştirmek amacıyla çinko oksit nanopartikülleriyle birlikte kullanılmaktadır[34,35].

#### **2.2.1.1.2.Nişasta Bazlı Nanokompozitler**

Nişasta, çevre dostu ambalajların geliştirilmesi için yaygın olarak kullanılan doğal biyopolimerlerdendir. Nişasta, biyobozunur ve yenilenebilir özelliklerinin yanında düşük maliyetli bir materyal olması nedeniyle ambalaj uygulamaları için yüksek potansiyele sahiptir[36]. Chen ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada polivinil alkole 30-80nm boyutlarında bezelye nişasta nano kristallerinin eklenmesiyle elde edilen film çözeltisinde, küçük boyutlara sahip olması nedeniyle nişasta nano kristallerinin homojen dağılım gösterdiği, filmlerin ışık geçirgenliğini azalttığı ve mekanik özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir[37].

#### **2.2.1.1.3.Selüloz Bazlı Nanokompozitler**

Selüloz, glikoz monomerlerinden oluşan doğal polimerlerden biridir ve doğada bol miktarda bulunur. Selüloz nanokristalleri polimer matrislerini güçlendirmek için dolgu malzemeleri olarak kullanılmaktadır. Ekonomik ve hafif ambalaj malzemeleri üretiminde selüloz bazlı nanokompozitlerden yararlanılabilir[38]. Metil selüloz, karboksimetil selüloz, hidroksipropil selüloz, hidroksipropil metil selüloz gibi çeşitli selüloz türevleri iyi film oluşturma özelliğine sahiptir. Bu türevler, nem ve oksijene karşı bariyer oluşturmak için çeşitli gıda ambalajlarında uygulanmaktadır[39].

#### **2.2.1.1.4.Protein Bazlı Nanokompozitler**

Biyobazlı ambalajların üretimi için çalışmalarda buğday gluteni, lektinler, mısır zeini, soya ve ayçiçeği proteininden yararlanılmaktadır. Zein, hidrofobik özelliği nedeniyle tercih edilen bir proteindir. Zein ve keratin haricindeki protein bazlı ambalajlar zayıf mekanik özellikler sergilemektedir. Bu nedenle protein bazlı

polimer matrislerini geliştirmek için plastikleştirici malzemelerden yararlanılmaktadır[38].

#### **2.2.1.2.Sentetik Biyonanokompozitler**

Plastik kullanımları ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar son yıllarda petrol bazlı plastiklerin yerine biyolojik olarak parçalanabilen ve yenilenebilir biyoplastiklere yönelmişlerdir. Biyoplastikler/biopolymerler canlı organizmalar tarafından organik bileşiklere, hidrojene, karbondioksit ve suya parçalanabilmektedir[38].

##### **2.2.1.2.1.Polilaktik Asit Bazlı Nanokompozitler**

Polilaktik asit, mısırdan gelen şekerin fermentasyon proseslerinde kullanımıyla doğal kaynaklardan elde edilen biyolojik olarak parçalanabilen bir polimerdir[40]. Polilaktik asit, ticari ambalaj uygulamalarında yüksek verime sahiptir[33]. Polilaktik asit, mikroorganizmalar ve enzimler ile bozunabilirken ana bozunma mekanizması enzimatik olmayan hidrolizdir. Polilaktik asitin toprakta otuz yılı aşan bir sürede bozunduğu gözlenmiştir ve endüstriyel olarak kompostlaştırmada yüksek sıcaklıklar gerektirir. Polilaktik asit ve diğer biyolojik olarak kompostlanabilen polimerlerin, belirli oranlarda karışımlarının kullanımıyla biyolojik bozunma hızı arttırılabilmektedir ve buna ek olarak yeni tasarımların yapılması önerilmektedir[39].

##### **2.2.1.2.2.Polihidroksi Alkanoat Bazlı Nanokompozitler**

Polihidroksi alkanoatlar, çeşitli mikroorganizmalar tarafından üretilen ve biyolojik olarak parçalanabilir özelliklere sahip polimerlerdir[41]. Polihidroksi alkanoatlar, iyi oksijen bariyeri oluşturabilme özelliğine sahiptir ve polilaktik asitin oksijen bariyerinden iki kat daha etkili bariyer oluşturabilmektedir[39]. Hidrofobik karakterleri ve iyi mekanik özelliklere sahip olmaları nedeniyle ambalaj uygulamalarında petrol bazlı plastiklere alternatif olarak kullanılabilmektedir. Buna karşın kırılğan yapıya sahip olmaları uygulamalarını kısıtlar[41]. Üretim

maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle ambalaj endüstrisinde sınırlı uygulama alanı vardır[39].

#### **2.2.1.2.3. Polivinil Alkol Bazlı Nanokompozitler**

Polivinil alkol, polivinil asetatın hidrolizi sonucunda üretilen, toksik olmayan biyobozunur bir polimerdir. Suda çözünebilen bir polimer olan polivinil alkol, mekanik ve ısı özellikleri geliştirmek için kompozitlerin üretiminde tercih edilmektedir[42]. Üretilen kompozitlerin maliyetinin azaltılması ve biyobozunurluğunun artırılması için polivinil alkol, çeşitli polimerler ile bir arada kullanılmaktadır[43].

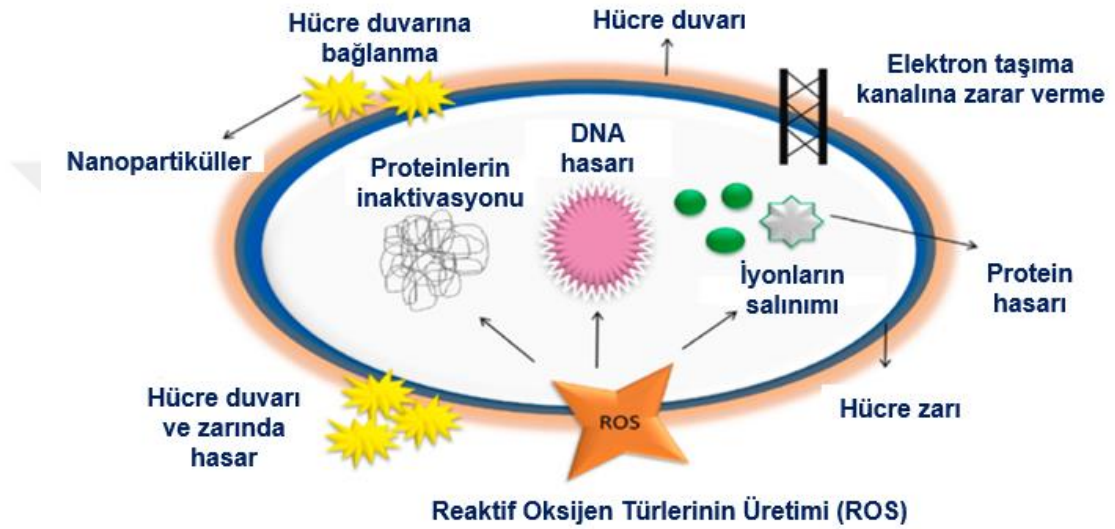
#### **2.3. Metal ve Metal Oksit Nanomalzemeler**

Gümüş, altın, çinko oksit, titanyum oksit, alümina, demir oksit gibi metal ve metal oksit nanopartiküllerin antimikrobiyal özelliklere sahip olduğu çeşitli çalışmalarla belirlenmiştir[44]. Gıda bozulmalarını önlemek ve gıdaların raf ömrünü arttırmak amacıyla da metal ve metal oksit nanoparçacıkları önerilmektedir[45]. Biyopolimerler zayıf mekanik özelliklerinin yanında kimyasal, biyolojik ve fotokimyasal işlemlerle hızlı bozunma eğilimine sahiptirler. Metal nanoparçacıkların biyopolimer matrislerine ilave edilmesiyle ambalaj malzemelerinin işlevselliği geliştirilmektedir[46]. Çinko oksit, alüminyum oksit, titanyum dioksit gibi metal oksit nanoparçacıkları sahip oldukları antimikrobiyal ve etilen tutucu özelliklerin yanında nanokompozitlerin mekanik mukavemetlerini, gaz ve ışık geçirgenliğini geliştirmektedir[47].

##### **2.3.1. Metal ve Metal Oksit Nanomalzemelerin Antimikrobiyal Etki Mekanizması**

Metal ve metal oksit nanoparçacıkları, sahip oldukları fizikokimyasal özellikler ile reaktif oksijen türleri üreterek bakteriler için oksidatif stres oluşturmaktadır. Bununla birlikte metal iyonlarının salınımı ile hücresel yapılara zarar verebilmektedir[45].

Metal ve metal oksit nanoparçacıklar, gram pozitif ve gram negatif bakteri türleri üzerinde farklı antibakteriyel etkinlik göstermektedir. Bu durum, nanopartiküller için ilk hedef olan bakteri zar bileşenlerinin farklılığından kaynaklanmaktadır. Örnek olarak, gram negatif bakteri yüzeylerinde lipoproteinler ve fosfolipitlerin varlığına karşın gram pozitif bakteri yüzeylerinde çok sayıda gözenek bulunmaktadır ve çok fazla negatif yüzey yükünden bahsedilmektedir[48]. **Şekil 2.3.1.1**'de nanomalzemelerin antimikrobiyal etki mekanizmasının şematik gösterimi verilmektedir[49].



**Şekil 2.3.1.1** Nanomalzemelerin antimikrobiyal etki mekanizmasının gösterimi [49]

Reaktif oksijen türlerinin oluşturduğu oksidatif stres, metal bazlı nanopartiküllerin antimikrobiyal etkisi ile ilişkilendirilen önemli mekanizmalardan biridir. Süperoksit radikali, hidroksit radikali, tekli oksijen ve hidrojen peroksit olmak üzere dört tip reaktif oksijen türünden bahsedilmektedir. Bir veya daha fazla reaktif oksijen türünün üretimi farklı nanopartiküller ile indüklenmektedir. Örnek olarak kalsiyum oksit ve magnezyum oksit nanopartikülleri süperoksit radikali üretirken çinko oksit nanopartikülleri hidrojen peroksit üretmektedir. Reaktif oksijen türlerinin üretimine bağlı olarak oksidatif stres oluşmaktadır bunun yanında biyomoleküllerin ve zar diziliminin bozulması, enzim inhibisyonu ve nükleik asit hasarından söz edilmektedir[48].

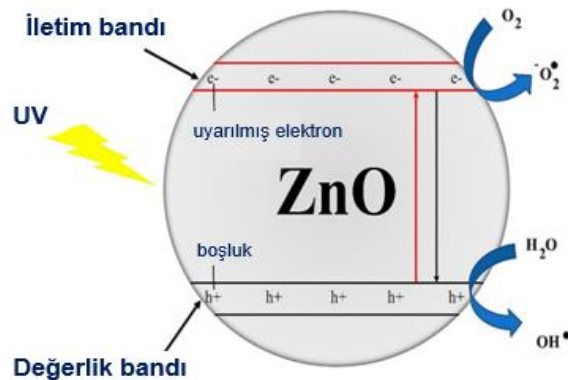
Nanopartiküllerin antifungal mekanizması, membran rüptürü açısından antibakteriyel mekanizmasıyla benzerlik göstermektedir. Nanopartiküllerle doğrudan

temas halinde küf membran bütünlüğü bozulmaktadır. Nanopartiküllerin mevcut besin taşıma kanalları aracılığıyla membran lipid tabakasına difüzyonları, membran yapısının bozulmasına neden olmaktadır. Buna karşın nanopartiküllerin küfler üzerindeki etkisinin anlaşılması, bakteriler üzerindeki etkisinin anlaşılmasına göre daha güçtür. Bunun sebebi, küflerin sahip oldukları belirli biyolojik özelliklerinin nanopartikül maruziyetine karşı özel tepkiler göstermesidir. Örneğin ZnO nanopartiküllerinin, *Botrytis cinerea* 'nın hifal hücre yapılarında deformasyona neden olan nükleik asitlerin ve karbonhidratların birikmesine neden olduğu bildirilmiştir[50].

Çinko oksit, titanyum dioksit, bakır oksit gibi metal oksitlerin nanoyapıları, antimikrobiyal ambalajlama uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tür metal oksit nanoparçacıkları antimikrobiyal özelliklere sahip olmanın yanında fotokataliz gibi özellikler de sergilemektedir[46].

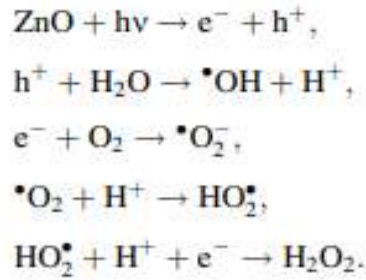
### 2.3.2.Metal ve Metal Oksit Nanomalzemelerin Fotokatalitik Etki Mekanizması

Çinko oksit, titanyum dioksit, demir oksit, bakır oksit gibi metal oksit yarı iletkenler, olumlu özellikleri ve çevre dostu olmaları nedeniyle çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Fotokataliz, bu uygulamalardan biridir[51]. Fotokataliz, kimyasal reaksiyonları verimli bir şekilde yürütmek için itici bir güç olarak temiz ve yenilenebilir güneş enerjisini kullanan yeşil bir teknoloji olarak tanımlanır[52]. Katalitik etki aralığının güneş ışığının görünür bölgesinde olması bu sistemleri araştırmacıların odak noktası haline getirmiştir[53]. Şekil 2.3.2.1'de çinko oksitin fotokatalitik aktivite mekanizması gösterilmektedir[54].



Şekil 2.3.2.1 Çinko oksitin fotokatalitik aktivite mekanizmasının gösterimi[54]

Fotokataliz uygulamalarında titanyum dioksit, çinko oksit gibi metal oksitlerden yararlanılmaktadır. Çinko oksit fotokatalizörü, bant aralığı enerjisi ve düşük üretim maliyeti ile yaygın olarak kullanılan titanyum dioksite alternatif olarak kullanılmaktadır[51]. Çinko oksit gibi geniş bant aralığına sahip yarı iletken fotokatalizörler, UV ışınması altında toksik kimyasalları uzaklaştırmaya yönelik potansiyele sahip olmaktadır. Çinko oksit, organik atıkların azaltılmasında yüksek fotokatalitik aktivasyona sahip bir fotokatalizördür[10]. Bant aralığı enerjisinden yüksek bir enerjiyle uyarılan fotokatalizörler, bir dizi reaksiyonun gerçekleşmesini sağlamaktadır. Gerçekleşen reaksiyonlar Şekil 2.3.2.2’de gösterilmektedir[55]. Bu reaksiyonlar ile organik bileşiklerin bozunması sonucunda karbondioksit ve su açığa çıkmaktadır[51].



Şekil 2.3.2.2 Çinko oksitin foton enerjisiyle uyarılmasıyla gerçekleşen reaksiyonlar [55]

### 2.3.3.Çinko Oksit Nanopartikülleri

Metal nanokompozitlere dayalı antimikrobiyal aktif ambalajların geliştirilmesinde çinko oksit nanopartiküllerinden sıklıkla yararlanılmaktadır[13].

Çinko oksit (ZnO), 3,2 eV'lik bir bant aralığı enerjisine sahiptir. Bu nedenle foto aktivasyonu için UVA ışığı gerektirir. Ayrıca, çinko oksit, ABD FDA (21CFR182.8991) tarafından genel olarak güvenli (GRAS) olarak listelenen beş çinko bileşiğinden biridir[56]. Çinko oksit, çeşitli reaksiyonlar ile antimikrobiyal etki gösterir. Çinko oksitin, reaktif oksijen türü (ROS) olan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> üretimi ile protein, DNA ve yağ yıkımını sağlaması, yine çinko oksit nanopartiküllerinin membranda yığılmasıyla bakterilerin zar dizilimini bozması ve çinko iyonlarının salınımıyla bakteri membranını delebilmesi mümkündür. ZnO etkinliği UV ve görünür bölge

ışığı ile artarken elektron ve boşluk çiftleri oluşur ( $e^- h^+$ ), böylece  $H_2O$  molekülleri parçalanır ardından bir seri reaksiyon sonucunda  $H_2O_2$  üretimi gerçekleştirilir.  $H_2O_2$ , negatif yüklü olan diğer hidroksil radikallerinden ve süper oksitlerden farklı olarak hücre içine girebilmektedir. Çünkü negatif yüklü partiküller negatif yüklü hücre duvarı olan bakterilerin içine giremez ve sadece hücre dış duvarına direkt temas ile zarar verebilirler. Üretilen  $H_2O_2$  miktarı artan yüzey alanı ve azalan partikül boyutu ile doğru orantılı bulunmuştur[27].

#### **2.4.Gıda Ambalajlarında Çinko Oksit Nanopartikülü Kullanımına Yönelik Çalışmalar**

Youssef ve arkadaşları(2016) tarafından yapılan bir çalışmada beyaz peynir ambalajı olarak çinko oksit nanopartikülü, kitosan ve karboksimetil selüloz kullanılarak filmler geliştirilmiştir. Farklı oranlarda çinko oksit nanopartikülü ile hazırlanan biyonanokompozit filmlerin, kontrol olarak kullanılan polistiren paketler ile karşılaştırıldığında geliştirilen biyonanokompozit filmlerin gıda ambalajlamada başarıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır[57].

Ahmadi ve arkadaşları(2020) tavuk filetosunun muhafazasında kullanmak için jelatin, çinko oksit nanopartikülü ve selüloz nanolifleri içeren nanokompozit filmler üretmişlerdir. %1, %3, %5 ve %7 çinko oksit içeren filmlerin antibakteriyel aktivitesi disk difüzyon tahliline göre %5 ZnO nanopartikülü konsantrasyonu ile sağlanmıştır. Geliştirilen film, tavuk filetolarında gram pozitif bakteri yükünde önemli bir azalmayı sağlamıştır. Çalışma sonunda geliştirilen filmin et ürünleri gibi kısa sürede bozulan gıdaların raf ömrünü uzatmak amacıyla aktif ambalaj olarak kullanılabileceği önerilmiştir[58].

Motelica ve arkadaşları (2021), teleme peynirinin muhafazası için biyolojik olarak parçalanabilen yenilikçi ambalaj filmleri geliştirmişlerdir. Aljinat, çinko oksit nanopartikülü ve limon otu yağı kullanarak geliştirdikleri filmlerin, antibakteriyel aktivitesi limon otu yağı yüklü çinko oksit nanopartikülü ile sağlanmıştır. Çalışmada çinko oksit ve limon otu yağının sinerjik hareket ederek kullanılan gram pozitif ve gram negatif suşların gelişimini iyi bir şekilde engellediği sonucuna varılmıştır[59].

Akbar ve Anal(2014) tarafından yapılan bir çalışmada 100 nm partikül boyutuna sahip çinko oksit nanoparçacıklar üretilmiştir. Nanoparçacıkların, gıda kaynaklı patojen olan *Salmonella Typhimurium* ve *Staphylococcus aureus* gelişimini inhibe etmede iki suş için de etkili olduğu belirlenmiştir. Nanoparçacıkların kalsiyum aljinata yüklenmesiyle geliştirilen filmlerin de yine iki patojene karşı besiyerinde yapılan analizler ve tüketime hazır kanatlı etinde yapılan uygulamalarda önemli bir antimikrobiyal etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır[60].

Marcous ve arkadaşları(2017), farklı oranlarda çinko oksit ve titanyum dioksit nanoparçacıklarını düşük yoğunluklu polietilene ekleyerek filmler geliştirmiş ve bu filmlerin *Escherichia coli* gelişimi üzerindeki antibakteriyel etkinliklerini floresan ve UV ışık altında incelemişlerdir. Çinko oksit nanoparçacıklarıyla kaplı düşük yoğunluklu polietilen filmin floresan ışığı altında bakteri hücresi ve taze dana kıymasında *Escherichia coli* üzerinde önemli bir antibakteriyel etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır[61].

Priyadarshi ve arkadaşları(2021) yüksek yağlı sığır etinin ambalajlanması için üzüm çekirdeği ekstresi, çinko oksit nanopartikülü ve karboksimetil selüloz ile geliştirdikleri filmin, *Escherichia coli* ve *Listeria monocytogenes* üzerindeki antibakteriyel etkinliğini incelemişlerdir. Geliştirdikleri %3 ZnO içeren filmin sığır eti gibi yüksek yağlı et ürünler için aktif paketlenme uygulamalarında sürdürülebilir malzeme olarak kullanımını önermişlerdir[62].

Amjadi ve arkadaşları(2019), tavuk filetosu ve peynir örneklerinde kullanmak üzere jelatin bazlı kitosan nanofiber ve çinko oksit nanopartikülleri ile filmler üretmişlerdir. Üretilen filmlerin *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* ve *Pseudomonas aeruginosa*'a karşı yüksek antibakteriyel etki gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte nanokompozit filmler ile sarılmış tavuk filetosu ve peynir örneklerinin duyu özelliklerinin de depolama süresi sonuna kadar kabul edilebilir düzeyde olduğunu bildirmişlerdir. Fabrikasyon nanokompozitin, raf ömrü ve kalite özelliklerini arttırmak için kanatlı eti ve peynir için uygun bir ambalaj malzemesi olabileceği sonucuna varmışlardır[63].

### 3.MATERYAL VE YÖNTEMLER

#### 3.1.Materyal

Tez çalışması kapsamında 30-50 nm boyutlarında çinko oksit nanopartikülleri (NK10854004) Nanokar Nanotechnology, Türkiye firmasından temin edilmiştir. Kitosan (448877), Sigma Aldrich(USA) BRK Kimya ve Biyoteknoloji, İzmir Türkiye firmasından temin edilmiştir. *Escherichia coli O157:H7* (ATCC35150) ve *Aspergillus niger*(NRRL 326) Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü kültürlerinden temin edilmiştir.

#### 3.2.Yöntemler

Tez çalışması kapsamında öncelikli olarak çinko oksit nanopartiküllerinin X-ışını fotoelektron spektroskopisi incelenmiştir. Ardından nanopartiküllerin *Escherichia coli O157:H7* (ATCC35150) ve *Aspergillus niger* (NRRL 326) için minimum inhibisyon konsantrasyonu ve minimum bakterisidal/fungisidal konsantrasyonu belirlenmiştir. Bu değerler biyonanokompozit filmlerin çinko oksit konsantrasyonun belirlenmesinde etkili olmuştur. Üretilen filmlerin kitosan konsantrasyonu ve dökme hacmindeki farklılıklar ön denemelerle belirlenmiştir. Seçilen parametreler ile deneme deseni oluşturulmuştur. Bu doğrultuda optimum filmin belirlenmesi için üretilen 15 farklı filmin kalınlık, renk, nem içeriği, nem absorblama kapasitesi, hidrofobisite özellikleri incelenmiş ve maliyet değerlendirmesi yapılmıştır. Optimum film seçimi ve çinko oksit konsantrasyonundaki farklılıkların incelenmesi için seçilen filmlerin fotokatalitik bozunma etkinlikleri, XRD desenleri, FT-IR spektroskopisi, filmlerin suda çözünürlüğü ve antimikrobiyal etkinlikleri incelenmiştir.

##### 3.2.1.Nanopartiküllerin X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS)

Malzemelerin yüzey bileşimleri ve kimyasal durumları, malzeme yüzeylerindeki farklı elementlerin karakterize edici bağlanma enerjilerine göre X-ışını fotoelektron spektrumu aracılığıyla belirlenebilmektedir[64]. Çinko oksit

nanopartiküllerinin x-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS, Thermo Scientific K-Alpha ) ile karakterize edilmiştir.

### 3.2.2. Minimum İnhibisyon Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Çinko oksit nanopartiküllerinin minimum inhibisyon konsantrasyonu Toru-Altın(2017)'nin yönteminde yapılan çeşitli modifikasyonlarla belirlenmiştir[65]. Yönteme göre 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400 ve 12800 µg/ml konsantrasyonlarında çinko oksit içeren agar dilüsyonlar hazırlanmıştır. Çinko oksit süspansiyonlarının eldesi için önce çinko oksit nanopartikülleri üzerine saf su eklenmiştir ve süspansiyonun sağlanması için 30 dk sonikasyon uygulanmıştır. Hazırlanan çinko oksit süspansiyonları *Escherichia coli* için Sorbitol MacConkey besiyeri ile karıştırılmıştır ve petri kaplarına dökülmüştür. 6 log kob/ml konsantrasyonunda bakteri suşları hazırlanmıştır. Yüzeyleri kuruyan besiyerleri üzerine 20µl inokulum aktarılmıştır. Işık altında ve karanlıkta olmak üzere 35°C'de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. Işık altında inkübasyon için 300 Watt UV-görünür ışık kaynağından(Osram, %99 görünür ışık, %1 UV) yararlanılmıştır. **Şekil 3.2.2.1**'de ışık altında inkübasyon gösterilmektedir. İnkübasyon sonunda üreme gözlenmeyen petri kaplarındaki çinko oksit konsantrasyonu minimum inhibisyon konsantrasyonu olarak belirlenmiştir. Üreme gözlenmeyen petri kapları tekrar 24 saat 35°C'de inkübasyona bırakılmıştır ve bu kez üreme gözlenmeyen petri kabındaki çinko oksit konsantrasyonu minimum bakterisidal konsantrasyon olarak belirlenmiştir.



**Şekil 3.2.2.1** Işık altında inkübasyonun gösterimi

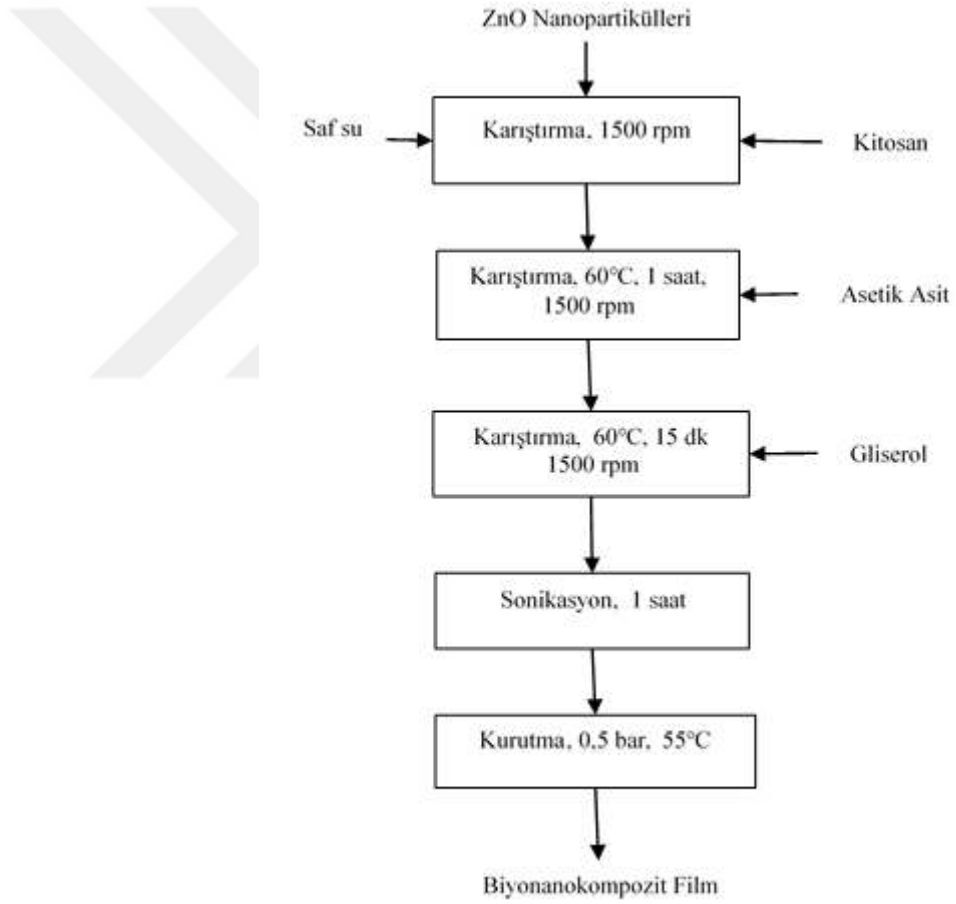
*Aspergillus niger* için çinko oksit süspansiyonları benzer şekilde hazırlanmıştır ve Potato Dextrose Agar ile karıştırılmıştır. Çinko oksit içeren besiyerleri petri kaplarına dökülmüş ve yüzeyleri kurutulmuştur. Sporlar fizyolojik tuzlu su içinde süspanse edilmiştir. Süspansiyonun yoğunluğunu belirlemek için Thoma lamı üzerinde sayım yapılmıştır. Thoma lamında hücre sayımı gerçekleştirilen spor süspansiyonu( $2,4 \times 10^6$  hücre) iki kez seri seyreltildikten sonra süspansiyondan 20 µl alınarak besiyerlerine aşılanmıştır. Işık altında ve karanlıkta olmak üzere 30°C’de 72 saat inkübasyona bırakılmıştır. Işık altında inkübasyon için 300 Watt UV-görünür ışık kaynağından(Osram, %99 görünür ışık, %1 UV) yararlanılmıştır. İnkübasyon sonunda üreme gözlenmeyen petri kaplarındaki çinko oksit konsantrasyonu minimum inhibisyon konsantrasyonu olarak belirlenmiştir. Üreme gözlenmeyen petri kapları tekrar 30°C’de 72 saat inkübasyona bırakılmıştır. Bu kez üreme gözlenmeyen petri kaplarındaki çinko oksit konsantrasyonu minimum fungisidal konsantrasyon olarak belirlenmiştir.

### **3.2.3.Biyonanokompozit Filmlerin Hazırlanması**

Biyonanokompozit filmler Al-Nabulsi ve arkadaşları(2020) tarafından belirlenen yöntemle göre hazırlanmıştır[66]. Bu yöntemle göre çinko oksit nanopartikülleri üzerine sırasıyla saf su ve kitosan eklenmiştir ve 1 saat boyunca manyetik karıştırıcı kullanılarak karıştırılmıştır. **Şekil 3.2.3.1**’de film çözeltilerinin hazırlanışı ve kurutulmasına ait görsel verilmektedir. Ardından %1 asetik asit çözeltisi eklenerek 60°C’de 1 saat 1500 rpm’de kuvvetlice karıştırıldıktan sonra %1 gliserol eklenmiştir ve 15 dk daha karıştırılmıştır. Hazırlanan film çözeltisinin hava kabarcıklarının uzaklaştırılması için ultrasonik su banyosu kullanılarak 1 saat sonikasyon uygulanmıştır. Sonikasyon sonunda hazırlanan film çözeltileri 90 mm çapında petri kaplarına belirli hacimlerde dökülerek 0,5 bar basınç altında 55°C’de vakumlu etüvde kurutulmuştur. Kurutma sonunda kaplardan çıkarılan filmler analizlere hazır hale getirilmiştir. **Şekil 3.2.3.2**’de film üretimine ait akım şeması verilmektedir. Üretilen filmler 25°C’de muhafaza edilmiştir.



**Şekil 3.2.3.1** Film çözeltilerinin hazırlanması ve kurutulma aşaması



**Şekil 3.2.3.2** Film üretimine ait akım şeması

### 3.2.4.Film Kalınlığının Belirlenmesi

Filmlerin kalınlığını belirlemek için rastgele seçilen beş farklı noktada dijital mikrometre kullanılarak ölçüm yapılmıştır ve ortalama değer hesaplanmıştır[58].

### 3.2.5.Filmlerin Renk Analizi

Filmlerin rengi, Konica Minolta CR-5, Japonya kolorimetre cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Şekil 3.2.5.1’de renk analiz cihazı gösterilmektedir. L\* değerleri renk parametreleri olarak değerlendirilmiştir. Burada L\* değeri siyah ve beyaz arasında değişen renk tonunu ifade etmektedir[67].



Şekil 3.2.5.1 Renk analiz cihazı

### 3.2.6.Filmlerin Nem İçeriğinin Belirlenmesi

Filmlerin nem içeriğini belirlemek için gravimetrik prosedür kullanılmıştır. Film şeritleri (20 mm x 20 mm), sabit ağırlıklara ulaşana kadar  $105 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de etüvde kurutulmuştur. %Nem içeriği denklem (3.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Nem içeriği}(\%) = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100 \quad (3.1)$$

Burada  $M_0$  ve  $M_1$ , sırasıyla başlangıçtaki ve kurutma sonrası film ağırlığını(g) temsil etmektedir[58].

### 3.2.7.Filmlerin Nem Absorblama Kapasitesinin Belirlenmesi

Filmler 2x2 cm boyutlarında kesilmiştir ve tartılmıştır. Daha sonra oda sıcaklığında 30 ml saf su içinde 2 saat bekletilmiştir. Saf su ile 2 saat ıslatıldıktan sonra numuneler nazikçe temizlenmiştir ve tekrar tartılmıştır. Numunelerin nem absorblama değeri(%) denklem (3.2) kullanılarak elde edilmiştir.

$$\text{Nem absorblama}(\%) = \left( \frac{W_f - W_0}{W_0} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

Burada  $W_f$ , filmin nihai ağırlığı ve  $W_0$ , filmin başlangıç ağırlığıdır[68].

### 3.2.8.Filmlerin Hidrofobisite Özelliklerinin İncelenmesi

Biyokompozit filmlerin yüzey ıslanabilirlikleri, temas açısı ölçer (Theta Lite, Biolin Scientific, İsveç) kullanılarak ölçülmüştür. Filmlerin bir damla (5 µl) saf su ile temas açıları sessile drop tekniğiyle belirlenmiştir[69].

### 3.2.9.Film Maliyetlerinin Değerlendirilmesi

Hazırlanan filmlerin maliyetleri, önemli bir optimizasyon parametresi olarak düşünülmektedir. Film üretimindeki tüm faktörler sabit kabul edilerek sadece kullanılan malzeme bazlı bir maliyet tahminlemesi yapılmıştır. Bu doğrultuda üretilen filmlerde çinko oksit nanopartikülü, kitosan, gliserol ve asetik asit miktarı dikkate alınarak üretilen bir adet film için maliyet hesaplanmıştır.

### 3.2.10.Filmlerin Fotokatalitik Bozunma Etkinliklerinin Belirlenmesi

Numunelerin fotokatalitik aktiviteleri incelenirken literatürde 250-500 nm dalga boyuna sahip ışık kaynakları ile ZnO katkılı filmlerin aktive edildiği bilindiğinden oda sıcaklığında 300 W UV-görünür ışık OSRAM ( %99 görünür ışık, %1 UV) ışık kaynağı altında  $10^{-5}$  M metilen mavisi solüsyonu kullanılarak incelenmiştir. Metilen mavisinin katalizörsüz bozunmasını karşılaştırmak için bir referans çözeltisi de hazırlanmıştır.



**Şekil 3.2.10.1** Film parçalarının ışık maruziyeti

Filmler 2x2 cm boyutlarında kesildikten sonra 30 ml metilen mavisi sulu çözeltisi bulunan beherlere daldırılmıştır ve yaklaşık 20 cm'lik bir mesafe ile ışık kaynağının altına yerleştirilmiştir(**Şekil 3.2.10.1**). Fotokatalitik bozunmayı belirlemek için, 1 saatten başlayarak 24, 48 ve 72 saat ışığa maruz bırakıldıktan sonra her beherden 150 mikrolitre metilen mavisi solüsyonu microplate hücrelerine aktarılmıştır. Solüsyonun absorpsiyon ölçümleri 664nm dalga boyunda Thermo Multiskan GO Microplate Reader kullanılarak yapılmıştır ve metilen mavisinin karakteristik zirvesi olan absorbans azalmasının izlenmesiyle doğrulanmıştır. Lambert Beer Yasası kapsamında absorbans değerleri, konsantrasyon değerlerine dönüştürülmüştür. Fotokatalitik bozunma etkinliklerini belirlemek için denklem (3.3)'den yararlanılmıştır.

$$\text{Fotokatalitik bozunma} = \left( \frac{C_0 - C}{C_0} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

Burada C<sub>0</sub>; ilk konsantrasyon, C; son konsantrasyon olarak tanımlanmaktadır. [51].

### **3.2.11.Filmlerin Suda Çözünürlüğünün Belirlenmesi**

Film örneklerinin suda çözünürlüğünü değerlendirmek için film parçaları (2 x 2 cm<sup>2</sup>) etüvde 105°C'de 6 saatte kurutulmuştur. Filmlerin başlangıç ağırlığı (W<sub>i</sub>) kaydedilmiştir. Ardından filmler 50 ml saf suya daldırılmıştır ve ardından ortam sıcaklığında gece boyunca 100 rpm'de hafifçe çalkalanmıştır. Daha sonra numune filtrasyonu için önceden tartılmış filtre kağıdı kullanılmıştır. Çözünmeyen kısım ve filtre kağıdı, nihai ağırlık kaydedilmeden (W<sub>f</sub>) önce fırında kurutmaya (105°C, 6 saat) tabi tutulmuştur ve denklem (3.4) kullanılarak suda çözünürlük değerleri(%) hesaplanmıştır[58]

$$\text{Suda Çözünürlük(\%)} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad (3.4)$$

### **3.2.12.Filmlerin X-ışını Kırınımının (XRD) İncelenmesi**

Çinko oksit nanopartiküllerinin ve filmlerin XRD desenleri, CuK $\alpha$  radyasyon kaynağı ile donatılmış bir X-ışını difraktometresi (Thermo Scientific ARL K-Alpha) kullanılarak elde edilmiştir.

### 3.2.13.Filmlerin Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

Filmlerin FT-IR spektrumları fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (Thermo Scientific NICOLET iS10) ile 650–4000  $cm^{-1}$  aralığında kaydedilmiştir.

### 3.2.14.Filmlerin Antimikrobiyal Özelliklerinin Belirlenmesi

Elde edilen filmlerin antimikrobiyal aktivitesi Kırıcı(2020)'nin yönteminde yapılan çeşitli modifikasyonlarla belirlenmiştir[67]. Antibakteriyel etkiyi belirlemek için *Escherichia coli* O157:H7 (ATCC35150) suşu kullanılmıştır. *Escherichia coli* suşu analiz öncesinde üç kez pasajlanmıştır. Tryptic soy broth içerisinde 37°C'de geliştirilen suş, santrifüj edilmiştir. Pellet steril fizyolojik tuzlu su ile iki defa yıkanarak metabolitler uzaklaştırılmıştır. Fizyolojik tuzlu su ile pellet kırıldıktan sonra homojen bir bulanıklık oluşuncaya kadar süspanse edilmiştir. McFarland bulanıklık standardı ile yoğunluk kontrol edilmiştir. İnokulum süspansiyonunun yoğunluğu ayarlanarak 0,5 McFarland (8,17 Log kob/ml) standardına eşit olması sağlandıktan sonra iki kez seyreltilerek 6 log kob/ml olacak şekilde ayarlanmıştır. 0,1 ml alınarak Mueller Hinton Agar üzerine aşılacaktır ve cam drigalski spatülü ile yayılmıştır. 1x1 cm film parçaları kesilerek besiyeri üzerine konulmuştur. Karanlık ve ışık altında olmak üzere 37°C'de 18-24 saat inkübasyona bırakılmıştır. Işık altında inkübasyon için 300 Watt UV-görünür ışık kaynağından(%99 görünür ışık, %1 UV) yararlanılmıştır. Antibakteriyel aktivite, inkübasyon sonunda inhibisyon bölgelerinin çapları ölçülerek değerlendirilmiştir.

Antifungal etkiyi belirlemek için *Aspergillus niger*(NRRL326) suşu kullanılmıştır. Küf suşu analiz öncesinde üç kez pasajlanmıştır. Sporlar fizyolojik tuzlu su içinde süspanse edilmiştir. Süspansiyonun yoğunluğunu belirlemek için Thoma lamı üzerinde sayım yapılmıştır. Thoma lamında hücre sayımı gerçekleştirilen spor süspansiyonu( $2,4 \times 10^6$ hücre) iki kez seri seyreltilmiştir. 0,1 ml alınarak Potato Dextrose Agar üzerine aşılacaktır ve cam drigalski spatülü ile

yayılmıştır. 1x1 cm film parçaları kesilerek besiyeri üzerine konulmuştur. Karanlık ve ışık altında olmak üzere 30°C’de 18-24 saat inkübasyona bırakılmıştır. Işık altında inkübasyon için 300 Watt UV-görünür ışık kaynağından(Osram, %99 görünür ışık, %1 UV) yararlanılmıştır. Antifungal aktivite, inkübasyon sonunda inhibisyon bölgelerinin çapları ölçülerek değerlendirilmiştir.

### 3.2.15.Deneme Deseni, Optimizasyon ve İstatistiksel Analiz

Çalışmada film üretiminde parametrelerin en az sayıda deneme sayısı ile değerlendirilmesini sağlayan yanıt yüzey yönteminden (Response Surface) “RSM” yararlanılmıştır. Bu yöntemle deneme tasarlamak, etkileşimleri belirlemek, model oluşturmak ve uygun şartların sağlanabilmesi için istatistiksel yaklaşımlardan yararlanmak mümkündür. RSM, çalışmalarda sıklıkla kullanılan; deneme tasarımı, çoklu regresyon analizleri, çoklu varyans analizlerini ve optimizasyon basamaklarını kapsayan bir yöntemdir. Üç bağımsız değişkenin yanıtlar üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde Box Behnken deseni kullanılmaktadır[70]. Çalışmada deneme planı Box Behnken Design(BBD) kullanılarak **Tablo 3.2.15.1**’de gösterildiği şekilde oluşturulmuştur.

**Tablo 3.2.15.1.** Biyonanokompozit Filmlere Ait Deneme Planı

| Deneme | ZnO (%) | Kitosan (%) | Dökme hacmi (ml) |
|--------|---------|-------------|------------------|
| 1      | -1      | 0           | -1               |
| 2      | 0       | 1           | -1               |
| 3      | 0       | -1          | -1               |
| 4      | 1       | 0           | -1               |
| 5      | -1      | 1           | 0                |
| 6      | -1      | -1          | 0                |
| 7      | 0       | 0           | 0                |
| 8      | 0       | 0           | 0                |
| 9      | 0       | 0           | 0                |
| 10     | 1       | -1          | 0                |
| 11     | 1       | 1           | 0                |
| 12     | -1      | 0           | 1                |

|           |   |    |   |
|-----------|---|----|---|
| <b>13</b> | 0 | 1  | 1 |
| <b>14</b> | 0 | -1 | 1 |
| <b>15</b> | 1 | 0  | 1 |

Biyonanokompozit filmlerin çinko oksit miktarı yapılan minimum inhibisyon konsantrasyonu analizi sonuçları dikkate alınarak %0,1, %0,2 ve %0,3 ZnO olarak seçilmiştir. Filmlerin kitosan içerikleri ve dökme hacmi literatür taramaları ve ön denemelerle belirlenmiştir. Filmlerin kitosan konsantrasyonu %1, %1,5 ve %2 olarak seçilirken, film çözeltilerinin dökme hacmi 15, 20 ve 25 ml olarak seçilmiştir. **Tablo 3.2.15.2**'de, filmlere ait deneme deseni verilmektedir.

**Tablo 3.2.15.2.** Biyananokompozit Filmlere Ait Deneme Deseni

| <b>Deneme</b> | <b>ZnO (%)</b> | <b>Kitosan (%)</b> | <b>Dökme hacmi (ml)</b> |
|---------------|----------------|--------------------|-------------------------|
| <b>1</b>      | 0,1            | 1,5                | 15                      |
| <b>2</b>      | 0,2            | 2                  | 15                      |
| <b>3</b>      | 0,2            | 1                  | 15                      |
| <b>4</b>      | 0,3            | 1,5                | 15                      |
| <b>5</b>      | 0,1            | 2                  | 20                      |
| <b>6</b>      | 0,1            | 1                  | 20                      |
| <b>7</b>      | 0,2            | 1,5                | 20                      |
| <b>8</b>      | 0,2            | 1,5                | 20                      |
| <b>9</b>      | 0,2            | 1,5                | 20                      |
| <b>10</b>     | 0,3            | 1                  | 20                      |
| <b>11</b>     | 0,3            | 2                  | 20                      |
| <b>12</b>     | 0,1            | 1,5                | 25                      |
| <b>13</b>     | 0,2            | 2                  | 25                      |
| <b>14</b>     | 0,2            | 1                  | 25                      |
| <b>15</b>     | 0,3            | 1,5                | 25                      |

İstatistiksel hesaplamalarda değişkenler denklem (3.5)'de gösterildiği şekilde kodlanmıştır.

$$X_i = \frac{X_i - X_0}{\Delta X_i} \quad (3.5)$$

Burada, bağımsız değişkenin kodlanmış değeri,  $x_i$ , bağımsız değişkenin mevcut değeri,  $x_0$ , bağımsız değişkenin merkez noktadaki değeri,  $\Delta x_i$ , bağımsız değişkenin değişim miktarını temsil etmektedir.

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^3 (a_i X_i) + \sum_{i=1}^3 a_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 a_{ij} X_i X_j \quad (3.6)$$

Denklem (3.6)'da üç parametrelili bir desen için optimum noktaların seçilmesi için tanımlanan kuadratik model verilmiştir. Denklemde “Y” tahminlenen değer; “ $a_0$ ” sabit değer; “ $a_0$ ”, “ $a_{ii}$ ” ve “ $a_{ij}$ ” değerleri ise kesişim, lineer, kuadratik ve etkileşim terimlerinin regresyon sabitleridir. “ $X_i$ ” ve “ $X_j$ ” bağımsız değişkenlerin seviyelerini belirtir. Varyans analizi (ANOVA) tablolarıyla katsayıların değerleri belirlenmektedir. Faktörlerin önem derecesinin belirlenmesinde güven aralıkları için hesaplanan Fisher's varyans oranı (F-value) yararlanılmaktadır. Regresyon katsayılarının bu hesaplamanın ardından kabul edilebilir hale geldiği bildirilmiştir. Fit edilen polinom denklemleriyle yüzey ve kontur grafikleri oluşturularak faktörlerin seviyeleri ile ortaya çıkan yanıtların ilişkileri görsel olarak incelenebilmektedir[70].

Çalışmada optimizasyon koşullarının belirlenmesi için, Design Expert Software V11(Statease Inc, USA) paket programı deneme sürümü kullanılmıştır. Yüzey Yanıt Yöntemi ile gerçekleştirilen modelleme için Box Behnken Design ile elde edilen deneysel veriler ile hesaplanan değerlerin ilişkisini belirlemek amacıyla varyans analizi (Analysis of Variance, ANOVA) yapılmıştır. Modele ait regresyon katsayısı ( $R^2$ ), düzeltilmiş regresyon sayısı ( $\text{adj-}R^2$ ), tahminlenen regresyon sayısı ( $\text{pred-}R^2$ ), varyasyon katsayısı (C.V.%) değerleri hesaplanmıştır. Böylelikle parametrelerin yanıtlar üzerindeki lineer, interaksiyon ve kuadratik etkileri %95 güven düzeyinde değerlendirilmiştir. Etkilerin dağılımları grafikler ile şematize edilmiştir. Model uyumluluğunun değerlendirilmesinde matematiksel uygunluğu test eden “lack of fit” kavramının etkilerinin minimum düzeyde olması ve regresyon katsayılarının maksimum olması istenmektedir. Optimizasyon çalışmalarında regresyon katsayısı yüksek modeller tercih edilmiştir. Modelin güvenilirliğinin

tespitinde regresyon katsayısı ve düzeltilmiş regresyon katsayısı arasındaki farkın az olması istenmektedir ve bu nedenle her iki değer de dikkate alınmıştır.

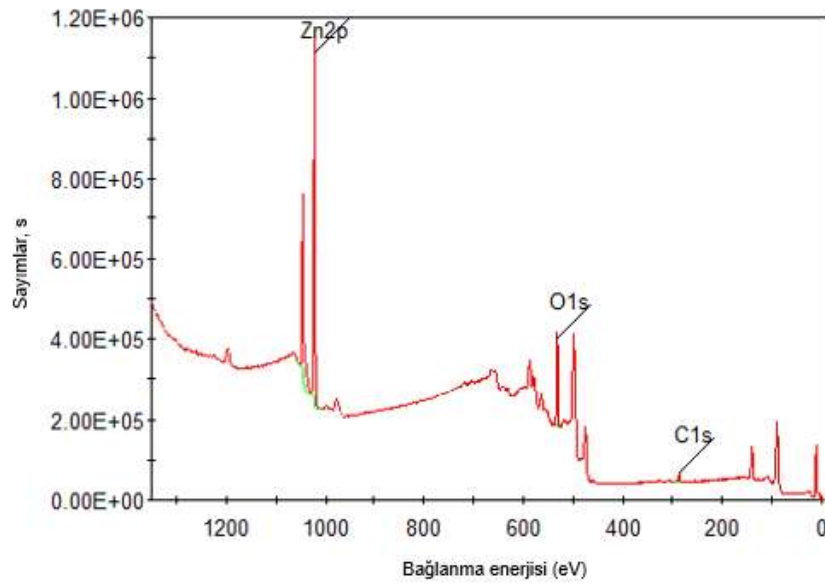
Optimizasyon çalışmalarında istenebilirlik (Derringer Desirability) fonksiyonundan yararlanılmaktadır. Bu fonksiyon ile çok yanıtli bir sistemde matematiksel dönüşümlerle çoklu yanıtlar tek yanıtli bir problem haline dönüşmektir. Böylelikle optimizasyon değerinin istenen yanıt değerlerine yakınlığı hakkında yorum yapılabilmektedir[70]. Optimizasyon işlemi için maksimum istenebilirlik değerinin ulaşıldığı değerler dikkate alınmıştır. Bu amaçla ZnO konsantrasyonu, kitosan konsantrasyonu ve dökme hacmi parametrelerinin optimizasyonu için deneme desenine uygun yapılan iki paralelli üretimler sonucunda ortalamalar alınmıştır, elde edilen 15 kombinasyona ait sonuçlar istatistiksel analize tabi tutulmuştur. Optimum noktanın belirlenmesinde yanıt olarak, filmlerin kalınlık, parlaklık(L\*) değeri, nem içeriği, nem absorblama kapasitesi, hidrofobisite özellikleri ve film maliyetleri değerlendirilmiştir. Film kalınlığının maksimum olduğu, nem içeriği ve nem absorblama kapasitesinin minimum düzeyde olduğu, parlaklık ve temas açısının maksimum ve maliyetin minimum düzeyde olduğu film seçimi hedeflenmiştir.

## 4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1.Nanopartiküllerin X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS)

Malzemelerin yüzey bileşimleri ve kimyasal durumları, malzeme yüzeylerindeki farklı elementlerin karakterize edici bağlanma enerjilerine göre X-ışını fotoelektron spektrumu aracılığıyla belirlenebilmektedir[64]. Çalışmada kullanılan çinko oksit nanopartiküllerinin yüzey bileşimleri X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS, Thermo Scientific K-Alpha ) ile karakterize edilmiştir.

Çinko oksit nanopartiküllerinin yapısındaki elementlerin tanımlanmasına ait bağlanma enerjileri grafiği **Şekil 4.1.1**'de gösterilmektedir. Çalışmada kullanılan çinko oksit nanopartiküllerinin element kimliği ve dağılımı **Tablo 4.1.1**'de gösterilmektedir.



**Şekil 4.1.1** Elementlerin bağlanma enerjileri

**Tablo 4.1.1.** Nanopartiküllerin Element Kimliği ve Dağılımı

| <i>Element</i> | <i>Bağlanma Enerjisi(eV)</i> | <i>Ağırlık %</i> |
|----------------|------------------------------|------------------|
| Zn2p           | 1022.17                      | 74.58            |
| O1s            | 531.46                       | 20.63            |
| C1s            | 286.24                       | 4.79             |

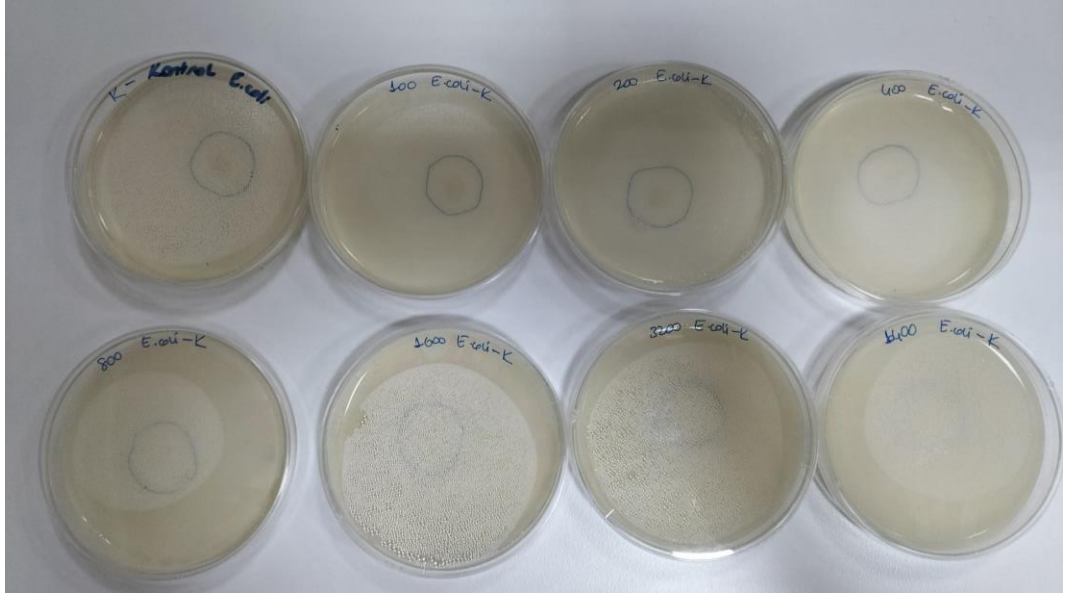
ZnO yapısında bulunan elementler 1022,17 eV bağlanma enerjisine karşılık gelen çinko ve 531,46 eV bağlanma enerjisine karşılık oksijen elementleridir. Nanopartiküllerin çinko ve oksijen konsantrasyonları sırasıyla 74,58 ve 20,63 olarak tespit edilmiştir.

Nanopartiküllerin yüzeyinde hiçbir kirletici madde tespit edilmemiştir. Yapıdaki çinko ve oksijen elementlerinin varlığına ek olarak havaya maruz kalmaları nedeniyle kalıntı miktarlarda tesadüfi karbon elementinin varlığı söz konusudur. Sonuçlar Morozov ve arkadaşlarının(2015) sonuçlarına benzer olup yapıda çinko ve oksijen varlığını doğrularken yapıda yabancı madde bulunmadığını göstermektedir[64].

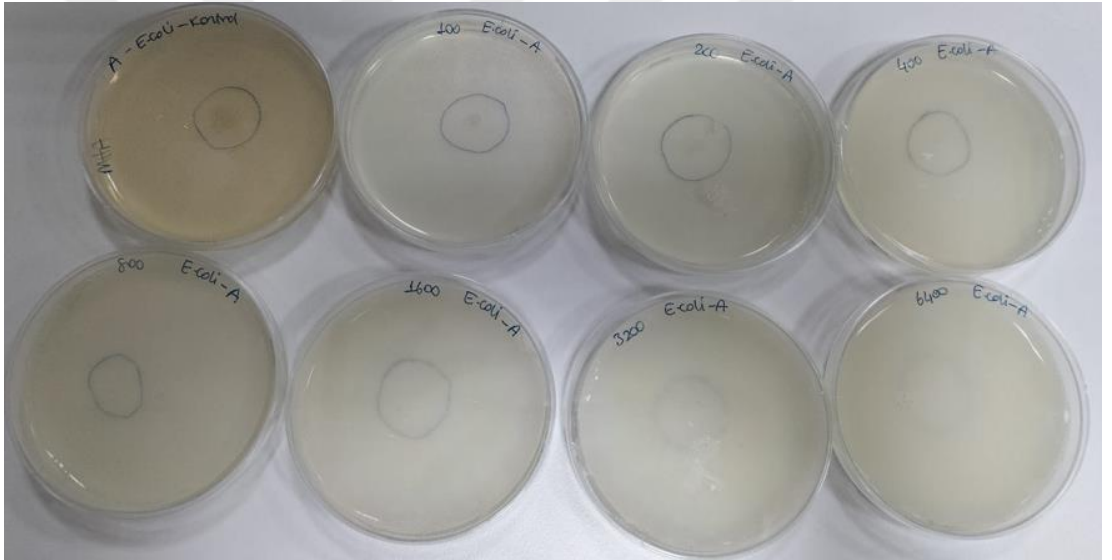
#### **4.2.Minimum İnhibisyon Konsantrasyonunun Belirlenmesi**

Çinko oksit nanopartiküllerinin *Escherichia coli* O157:H7 ve *Aspergillus niger* patojenlerine karşı minimum inhibisyon konsantrasyonu değerinin belirlenmesi için agar dilüsyon yönteminden yararlanılmıştır.

*Escherichia coli* O157:H7 için minimum inhibisyon konsantrasyonu ve minimum bakterisidal konsantrasyonu değerlerinin belirlenmesi için Sorbitol MacConkey besiyeri ile 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400 ve 12800 µg/ml konsantrasyonlarında çinko oksit içeren agar dilüsyonlar hazırlanarak petri kaplarına aktarılmıştır. Patojenik suş, petri yüzeylerine aşılanarak karanlık ve ışık altında inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda üreme gözlenmeyen petri kaplarındaki çinko oksit konsantrasyonu minimum inhibisyon konsantrasyonu değeri olarak belirlenmiştir. **Şekil 4.2.1**'de karanlık inkübasyon sonunda ve **Şekil 4.2.2**'de ışık altında inkübasyon sonunda *E.coli* gelişimi gösterilmektedir.



**Şekil 4.2.1** Karanlık inkübasyon sonunda *E.coli* gelişimi



**Şekil 4.2.2** Işık altında inkübasyon sonunda *E.coli* gelişimi

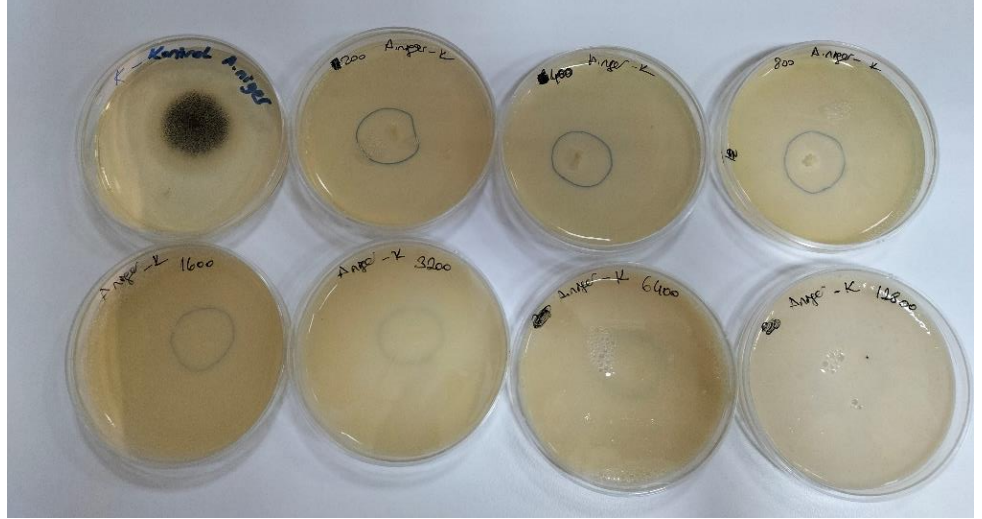
Üreme gözlenmeyen petri kapları tekrar 35°C’de 24 saat inkübasyona bırakılarak inkübasyon süresi sonunda bu kez üreme gözlenmeyen petri kaplarındaki çinko oksit konsantrasyonu minimum bakterisidal konsantrasyonu değeri olarak belirlenmiştir.

**Tablo 4.2.1.** ZnO Nanopartiküllerinin *Escherichia coli* İçin Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu ve Minimum Bakterisidal Konsantrasyonu Değerleri

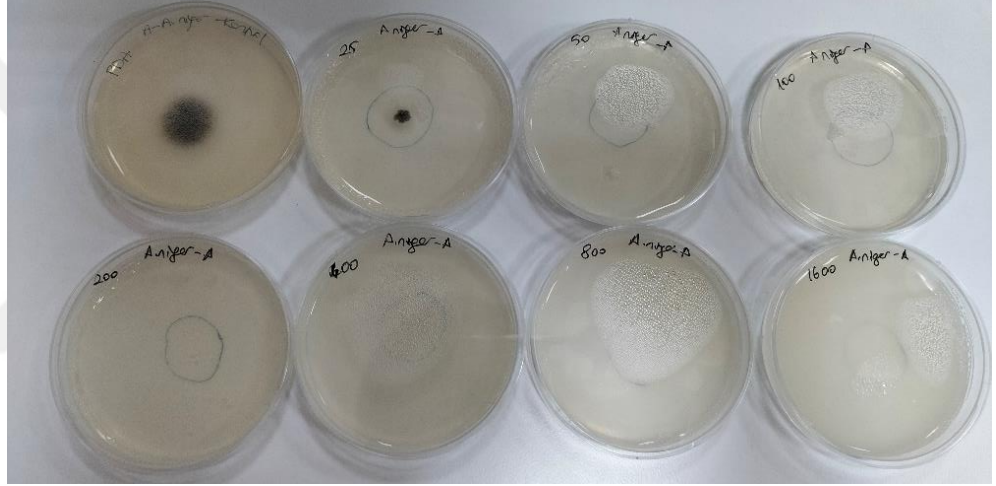
|                                                | Işık Altında<br>İnkübasyon | Karanlık<br>İnkübasyon |
|------------------------------------------------|----------------------------|------------------------|
| Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu<br>(µg/ml)   | 1600                       | 1600                   |
| Minimum Bakterisidal Konsantrasyonu<br>(µg/ml) | 1600                       | 6400                   |

*Escherichia coli* O157:H7 için minimum inhibisyon konsantrasyonu ve minimum bakterisidal konsantrasyonu değerleri **Tablo 4.2.1**'de verilmiştir. *Escherichia coli* O157:H7 için minimum inhibisyon konsantrasyonu değeri, karanlık ve ışık altında inkübasyonda 1600 µg/ml olarak belirlenmiştir. Minimum bakterisidal konsantrasyonu değeri ise karanlık inkübasyonda 6400 µg/ml olarak belirlenirken ışık altında inkübasyonda bu değer 1600 µg/ml olarak belirlenmiştir.

*Aspergillus niger* için minimum inhibisyon konsantrasyonu ve minimum fungisidal konsantrasyonu değerlerinin belirlenmesi için Potato Dextrose Agar besiyeri ile 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400 ve 12800 µg/ml konsantrasyonlarında çinko oksit içeren agar dilüsyonlar hazırlanarak petri kaplarına aktarılmıştır. Patojenik suş, petri yüzeylerine aşılanarak karanlık ve ışık altında inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda üreme gözlenmeyen petri kaplarındaki çinko oksit konsantrasyonu minimum inhibisyon konsantrasyonu değeri olarak belirlenmiştir. **Şekil 4.2.3**'te karanlık inkübasyon sonunda ve **Şekil 4.2.4**'te ışık altında inkübasyon sonunda *A.niger* gelişimi gösterilmektedir.



Şekil 4.2.3 Karanlık inkübasyon sonunda *A.niger* gelişimi



Şekil 4.2.4 Işık altında inkübasyon sonunda *A.niger* gelişimi

Üreme gözlenmeyen petri kapları tekrar 30°C’de 72 saat inkübasyona bırakılarak inkübasyon süresi sonunda bu kez üreme gözlenmeyen petri kaplarındaki çinko oksit konsantrasyonu minimum fungisidal konsantrasyonu değeri olarak belirlenmiştir.

**Tablo 4.2.2.** ZnO Nanopartiküllerinin *Aspergillus niger* İçin Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu ve Minimum Fungisidal Konsantrasyonu Değerleri

|                                              | Işık Altında<br>İnkübasyon | Karanlık<br>İnkübasyon |
|----------------------------------------------|----------------------------|------------------------|
| Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu<br>(µg/ml) | 100                        | 12800<                 |

|                                              |     |                  |
|----------------------------------------------|-----|------------------|
| Minimum Fungisidal Konsantrasyonu<br>(µg/ml) | 100 | Tespit edilemedi |
|----------------------------------------------|-----|------------------|

*Aspergillus niger* için minimum inhibisyon konsantrasyonu ve minimum fungisidal konsantrasyonu değerleri **Tablo 4.2.2**'de verilmiştir. *Aspergillus niger* için minimum inhibisyon konsantrasyonu değeri, karanlık inkübasyonda 12800 µg/ml üzerinde olduğu belirlenirken ışık altında inkübasyonda 100 µg/ml olarak belirlenmiştir. Minimum fungisidal konsantrasyonu değeri ise ışık altında inkübasyonda 100 µg/ml olarak belirlenirken karanlık inkübasyonda bu değer çalışılan konsantrasyonlarda tespit edilememiştir.

Literatürde ZnO nanopartiküllerinin mikroorganizmalara karşı minimum inhibisyon konsantrasyonu ve minimum bakterisidal/fungisidal konsantrasyonu değerleri, kullanılan ZnO nanopartiküllerinin üretimi, partikül boyutu, hedef mikroorganizmaların özelliklerine göre farklılık göstermektedir.

Chemingui ve arkadaşları(2019) tarafından yapılan bir çalışmada, Laurus Nobilis bitki özütü kullanılarak toksik olmayan, uygun maliyetli, 20-35 nm boyutlarında ZnO nanoparçacıkları üretilmiştir. ZnO nanoparçacıklarının antibakteriyel aktivitesi, bir agar seyreltme yöntemi kullanılarak *Escherichia coli*'ye karşı araştırılmıştır. ZnO nanoparçacıklarının minimum inhibisyon konsantrasyonu değeri *E.coli* için 1200 µg/ml olarak bulunmuştur[71].

Hoseinzadeh ve arkadaşları, ZnO nanopartiküllerinin *Escherichia coli* ATCC 25922 üzerindeki antimikrobiyal etkinliğini araştırdığı çalışmalarında, minimum inhibisyon konsantrasyonu ve minimum bakterisidal konsantrasyonunu 1250 µg/ml olarak bildirmişlerdir[72].

ZnO nanopartiküllerinin beş patojen (*Escherichia coli* MTCC 443, *Staphylococcus aureus* MTCC 3160, *Bacillus subtilis* MTCC 441, *Aspergillus niger* MTCC 281, *Candida albicans* MTCC 227) üzerindeki antimikrobiyal/antifungal potansiyeli ve bu nanopartiküllerin boyutundaki farklılıkların antimikrobiyal/antifungal potansiyel üzerindeki etkinliğinin araştırıldığı bir çalışmada, seri seyreltme yöntemi kullanılarak minimum inhibisyon konsantrasyon

değerleri ve minimum bakterisidal konsantrasyon değerleri belirlenmiştir. Çalışmada 65 nm ve 1000 nm boyutunda ZnO nanopartikülleri kullanılmıştır. 1000 nm boyutundaki ZnO nanopartiküllerinin *Escherichia coli* için minimum inhibisyon konsantrasyon değeri ve minimum bakterisidal konsantrasyon değeri 12,5 µg/ml iken 65 nm boyutundaki ZnO nanopartiküllerinin minimum inhibisyon konsantrasyonu ve minimum bakterisidal konsantrasyonu değeri 6,25 µg/ml olarak bulunmuştur. 1000 nm boyutundaki ZnO nanopartiküllerinin *Aspergillus niger* için minimum inhibisyon konsantrasyon değeri ve minimum bakterisidal konsantrasyon değeri 25 µg/ml iken 65 nm boyutundaki ZnO nanopartiküllerinin minimum inhibisyon konsantrasyonu ve minimum bakterisidal konsantrasyonu değeri 12,5 µg/ml olarak bulunmuştur[73].

Jamdagni ve arkadaşları(2018), *Nyctanthes arbor-tristis*'in sulu çiçek özünü kullanarak 12-32 nm boyutlarında çinko oksit nanoparçacıkları sentezleyerek bu nanoparçacıkların *Alternaria alternata* (ITCC 6531), *Aspergillus niger* (ITCC 7122), *Botrytis cinerea* (ITCC 6192), *Fusarium oxysporum* (ITCC 55) ve *Penicillium expansum*'a (ITCC 6755) karşı antifungal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda *Aspergillus niger* için minimum inhibisyon konsantrasyonu değeri 16 µg/ml olarak belirlemişlerdir[74].

Tez çalışmasında ZnO nanopartikülleri, *Escherichia coli* O157:H7 ve *Aspergillus niger* suşlarına karşı farklı konsantrasyonlarda etkinlik göstermiştir. Bununla birlikte ışık altında inkübasyonda ZnO nanopartiküllerinin iki suş için de antimikrobiyal/antifungal etkinliğinin karanlık inkübasyondan yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca ZnO nanopartiküllerinin *Aspergillus niger*'e karşı öldürücü etkisinin karanlık inkübasyona göre ışık altında inkübasyonda daha düşük konsantrasyonlarda sağlanabildiği belirlenmiştir. Bu değerler tez çalışmasında üretilen filmlerin çinko oksit konsantrasyonunun belirlenmesinde önemli bir faktör olmuştur. Bu doğrultuda hedef mikroorganizmalar için %0,2 ZnO konsantrasyonunun inhibisyon sağlayacağı tespit edilmiştir. Bu konsantrasyona ek olarak %0,1 ZnO ve %0,3 ZnO konsantrasyonları da seçilerek film özellikleri incelenmiştir.

#### 4.3. Seçilen Parametrelerin Film Karakteristik Özelliklerine Etkileri

Çalışmada, ZnO konsantrasyonu, kitosan konsantrasyonu ve dökme hacmi gibi bağımsız faktörlerin üretilen filmlerin kalınlık, nem, nem absorpsiyonu, L\* değeri, temas açısı ve film maliyeti üzerindeki etkisini incelemek için yanıt yüzey yöntemi (RSM) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar matematiksel modellerde incelenmiş ve bağımsız faktörler ile elde edilen yanıtlar arasındaki matematiksel ilişkiler incelenmiştir. **Tablo 4.3.1**, bağımsız faktörler ile bağımlı faktörler arasındaki matematiksel ilişkiyi göstermektedir.

**Tablo 4.3.1.** Bağımsız ve bağımlı faktörler arasındaki matematiksel ilişki

| Yanıtlar         | Regresyon Denklemi                                                                                                                                                                                                                 | Model Özeti                   |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Film Kalınlığı   | Film Kalınlığı= $-0,001033-0,012500* \text{ZnO}+0,012000* \text{Kitosan}+0,003500* \text{Dökme Hacmi}$                                                                                                                             | $R^2=0,90$<br>$R^2(adj)=0,87$ |
| Nem İçeriği      | Nem içeriği= $48,7025-77,4875* \text{ZnO}-8,34* \text{Kitosan}+0,0532499999999999* \text{Dökme Hacmi}$                                                                                                                             | $R^2=0,80$<br>$R^2(adj)=0,91$ |
| Nem Absorpsiyonu | Nem absorpsiyonu= $-54,40708+390,91250* \text{ZnO}+28,52750* \text{Kitosan}+2,23050* \text{Dökme Hacmi}$                                                                                                                           | $R^2=0,90$<br>$R^2(adj)=0,87$ |
| L* Değeri        | Parlaklık = $+3,82717+15,63750* \text{ZnO}-8,09000* \text{Kitosan}+1,07225* \text{Dökme Hacmi}$                                                                                                                                    | $R^2=0,93$<br>$R^2(adj)=0,91$ |
| Hidrofobisite    | Hidrofobisite= $+88,14508+68,26250* \text{ZnO}+0,512500* \text{Kitosan}+0,473500* \text{Dökme Hacmi}-22,85000* \text{ZnO} * \text{Kitosan}-1,31000* \text{ZnO} * \text{Dökme Hacmi}-0,370000* \text{Kitosan} * \text{Dökme Hacmi}$ | $R^2=0,99$<br>$R^2(adj)=0,99$ |
| Maliyet          | Maliyet= $+5,01000+3,92500* \text{ZnO}+6,21000* \text{Kitosan}-0,513000* \text{Dökme Hacmi}+2,90925\text{E}-15* \text{ZnO} * \text{Kitosan}-0,100000* \text{ZnO} * \text{Dökme Hacmi}-0,158000 \text{ Kitosan} *$                  | $R^2=0,99$<br>$R^2(adj)=0,99$ |

|  |                                                                                                                     |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | Dökme Hacmi-3,12274E-14* ZnO <sup>2</sup> -8,07798E-16*<br>Kitosan <sup>2</sup> +0,012800* Dökme Hacmi <sup>2</sup> |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

#### 4.3.1.Parametrelerin Film Kalınlığı Üzerine Etkileri

Üretilen filmlerin kalınlıkları en düşük 0,058 mm ve en yüksek 0,105 mm olarak ölçülmüştür. ZnO, kitosan ve dökme hacminin üretilen filmlerin kalınlıkları üzerindeki etkisi varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Parametrelerin yanıt üzerindeki etkileri %95 güven seviyesinde incelenmiştir. Modelin uyumsuzluğunu ifade eden lack of fit değerinin önemsiz ( $p>0,05$ ), regresyon katsayısının yüksek olduğu modeller kullanılmış ve lineer model tercih edilmiştir. **Tablo 4.3.1.1**'de film kalınlığı için ANOVA tablosu verilmiştir.

Deneme planına uygun olarak yapılan analizlerde elde edilen film kalınlığı değerlerine ait regresyon denklemi **Tablo 4.3.1**'de verilmiştir.

**Tablo 4.3.1.1.** Film kalınlığı için ANOVA tablosu

|                                 | Kareler toplamı | Serbestlik derecesi (df) | Kare ortalaması | F değeri | P değeri |
|---------------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|----------|----------|
| Model                           | 0,0028          | 3                        | 0,0009          | 33,26    | <0,0001* |
| A-ZnO                           | 0,0000          | 1                        | 0,0000          | 0,4534   | 0,5146   |
| B-Kitosan                       | 0,0003          | 1                        | 0,0003          | 10,45    | 0,0080   |
| C-Dökme hacmi                   | 0,0024          | 1                        | 0,0024          | 88,88    | <0,0001  |
| Atık                            | 0,0003          | 11                       | 0,0003          |          |          |
| Model uyumsuzluğu (lack of fit) | 0,0002          | 9                        | 0,0002          | 0,2568   | 0,9395   |
| Hata                            | 0,0001          | 2                        | 0,0001          |          |          |
| Cor Total                       | 0,0031          | 14                       |                 |          |          |

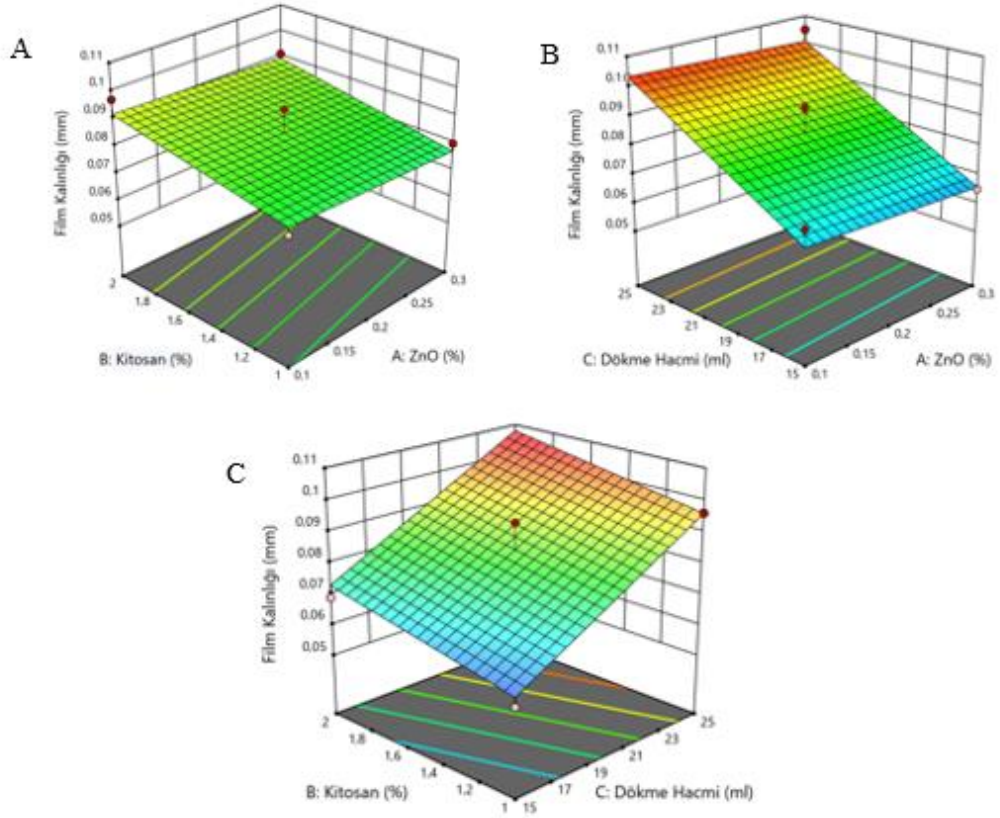
Önemli\*

Modeldeki bağımsız değişkenlerden kitosan miktarı ve dökme hacmi incelendiğinde bu terimlerin, model için anlamlı terimler olduğu görülmüştür ( $p<0,05$ ).

**Tablo 4.3.1.2.** Film kalınlığı için  $R^2$  değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri

|                                |        |                                                            |         |
|--------------------------------|--------|------------------------------------------------------------|---------|
| Standart Sapma<br>(Std. Dev.)  | 0,0053 | Regresyon Katsayısı ( $R^2$ )                              | 0,9007  |
| Ortalama (Mean)                | 0,0845 | Düzeltilmiş Regresyon Katsayısı<br>(Adj- $R^2$ )           | 0,8736  |
| Varyasyon<br>Katsayısı (C.V %) | 6,22   | Tahmin Edilmiş Çoklu Belirleme<br>Katsayısı (Pred- $R^2$ ) | 0,8344  |
|                                |        | Yeterli Tahminleme (Adeq<br>Precision)                     | 17,3349 |

**Tablo 4.3.1.2'**de film kalınlığı için  $R^2$  değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri verilmektedir. Film kalınlığı için önerilen modelin  $R^2$  değeri 0,9007 olarak bulunmuştur. Elde edilen varyasyon katsayısı (C.V) % 6,22'dir. Varyasyon katsayısı parametrelerin yanıtlar üzerindeki hassasiyetini göstermektedir. Varyasyon katsayısının düşük olması güvenilirliğin yüksek olduğunu göstermektedir[75]. Yeterli tahminleme (Adeq precision) için gürültü oranının 4'ten büyük olması istenmektedir[75]. Bu değer film kalınlığı için 17,3349 olarak bulunmuştur. Düzeltilmiş regresyon katsayısı ve tahmin edilmiş çoklu belirleme katsayısı arasındaki farkın 0,2'den az olması da modelin uyumlu olduğunu göstermiştir.



**Şekil 4.3.1.1.** ZnO ve kitosan konsantrasyonunun film kalınlığı üzerine etkisi(A), ZnO konsantrasyonu ve dökme hacminin film kalınlığı üzerine etkisi(B), kitosan konsantrasyonu ve dökme hacminin film kalınlığı üzerine etkisinin(C) üç boyutlu gösterimi

**Şekil 4.3.1.1,** ZnO, kitosan ve dökme hacminin film kalınlıklarına olan etkisinin üç boyutlu eğrisini göstermektedir. Sonuçlar bileşimdeki kitosan miktarı ve dökme hacminin artmasının film kalınlığını arttırdığını ve çinko oksit nanopartikül miktarının film kalınlıklarını etkilemediğini göstermiştir. Kalınlık, filmlerin önemli mekanik özelliklerinden biridir. Rezaei ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan bir çalışmada benzer şekilde çinko oksit nanopartiküllerinin film kalınlığını etkilemediği bildirilmiştir.[68].

#### 4.3.2.Parametrelerin Filmlerin Renkleri Üzerine Etkileri

Renk, ambalaj filmlerinin görünümünde ve pazarlanabilirliğinde önemli rol oynayan özelliklerden biridir. Sentetik polimerlere benzeyen biyobazlı filmler, daha fazla kabul görmektedir. Üretilen filmlerin renk analizi Konica Minolta CR-5 renk tayin cihazı kullanılarak yapılmıştır. Siyah ve beyaz arasında değişen renk tonunu ifade eden parlaklık ( $L^*$ ) değeri incelenmiştir.

ZnO, kitosan ve dökme hacminin üretilen filmlerin parlaklık ( $L^*$ ) değeri üzerindeki etkisi varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Parametrelerin yanıt üzerindeki etkileri %95 güven seviyesinde incelenmiştir. **Tablo 4.3.2.1**'de parlaklık ( $L^*$ ) için ANOVA tablosu verilmiştir.

Deneme planına uygun olarak yapılan analizlerde elde edilen parlaklık değerlerine ait regresyon denklemi **Tablo 4.3.1**'de verilmiştir.

**Tablo 4.3.2.1.** Parlaklık ( $L^*$ ) için ANOVA tablosu

|                                 | Kareler toplamı | Serbestlik derecesi (df) | Kare ortalaması | F değeri | P değeri |
|---------------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|----------|----------|
| Model                           | 380,40          | 3                        | 126,80          | 48,75    | <0,0001* |
| A-ZnO                           | 19,56           | 1                        | 19,56           | 7,52     | 0,0191   |
| B-Kitosan                       | 130,90          | 1                        | 130,90          | 50,32    | <0,0001  |
| C-Dökme hacmi                   | 229,94          | 1                        | 229,94          | 88,41    | <0,0001  |
| Atık                            | 28,61           | 11                       | 2,60            |          |          |
| Model uyumsuzluğu (lack of fit) | 28,48           | 9                        | 3,16            | 48,66    | 0,0203*  |
| Hata                            | 0,1301          | 2                        | 0,0650          |          |          |
| Cor Total                       | 409,01          | 14                       |                 |          |          |

Önemli\*.

Modeldeki bağımsız değişkenlerden çinko oksit, kitosan ve dökme hacmi incelendiğinde bu terimlerin tamamının, model için anlamlı terimler olduğu görülmüştür ( $p < 0,05$ ). Model uyumsuzluğunu ifade eden lack of fit değerinin önemsiz olması ( $p > 0,05$ ) istenmektedir. Bu değer 0,0203 olarak önemli ( $p < 0,05$ ) bulunmuştur. Bu durum modelin matematiksel olarak uygun olmadığını göstermektedir.

**Tablo 4.3.2.2.** Parlaklık ( $L^*$ ) için  $R^2$  değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri

|                                |       |                                                            |         |
|--------------------------------|-------|------------------------------------------------------------|---------|
| Standart Sapma<br>(Std. Dev.)  | 1,61  | Regresyon Katsayısı ( $R^2$ )                              | 0,9300  |
| Ortalama (Mean)                | 16,26 | Düzeltilmiş Regresyon Katsayısı<br>(Adj- $R^2$ )           | 0,9110  |
| Varyasyon<br>Katsayısı (C.V %) | 9,92  | Tahmin Edilmiş Çoklu Belirleme<br>Katsayısı (Pred- $R^2$ ) | 0,8543  |
|                                |       | Yeterli Tahminleme (Adeq<br>Precision)                     | 22,5886 |

**Tablo 4.3.2.2'**de parlaklık için  $R^2$  değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri verilmiştir. Parlaklık için önerilen modelin  $R^2$  değeri 0,93 olarak bulunmuştur. Elde edilen varyasyon katsayısı (C.V) %9,92'dir. Varyasyon katsayısı parametrelerin yanıtlar üzerindeki hassasiyetini göstermektedir. Varyasyon katsayısının düşük olması güvenilirliğin yüksek olduğunu göstermektedir[75]. Yeterli tahminleme (Adeq precision) için gürültü oranının 4'ten büyük olması istenmektedir[75]. Bu değer film parlaklığı için 22,5886 olarak bulunmuştur.

#### 4.3.3.Parametrelerin Nem İçeriği Üzerine Etkileri

Yüksek nem içeriği, filmlerin ambalaj malzemesi olarak kullanımını kısıtlayan bir faktördür. Bu nedenle filmlerin nem içeriğinin düşük olması istenmektedir. Üretilen filmlerin nem içerikleri, en düşük %10,13 ve en yüksek %34,31 olarak belirlenmiştir. ZnO, kitosan ve dökme hacminin, üretilen filmlerin nem içerikleri üzerindeki etkisi varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Parametrelerin yanıt üzerindeki etkileri %95 güven seviyesinde incelenmiştir. **Tablo 4.3.3.1'**de nem içeriği için ANOVA tablosu verilmiştir. Deneme planına uygun olarak yapılan analizlerde elde edilen filmlerin nem içeriğine ait regresyon denklemi **Tablo 4.3.1'**de verilmiştir.

**Tablo 4.3.3.1.** Nem içeriği için ANOVA tablosu

|  |         |            |      |   |   |
|--|---------|------------|------|---|---|
|  | Kareler | Serbestlik | Kare | F | P |
|--|---------|------------|------|---|---|

|                                       | toplamı | derecesi<br>(df) | ortalaması | değeri | değeri  |
|---------------------------------------|---------|------------------|------------|--------|---------|
| Model                                 | 620,02  | 3                | 206,67     | 14,20  | 0,0004* |
| A-ZnO                                 | 480,35  | 1                | 480,35     | 33,00  | 0,0001  |
| B-Kitosan                             | 139,11  | 1                | 139,11     | 9,56   | 0,0103  |
| C-Dökme<br>hacmi                      | 0,5671  | 1                | 0,5671     | 0,0390 | 0,8471  |
| Atık                                  | 160,11  | 11               | 14,56      |        |         |
| Model<br>uyumsuzluğu<br>(lack of fit) | 159,38  | 9                | 17,71      | 48,38  | 0,0204* |
| Hata                                  | 0,7321  | 2                | 0,3660     |        |         |
| Cor Total                             | 780,13  | 14               |            |        |         |

Önemli\*.

Modeldeki bağımsız değişkenler incelendiğinde çinko oksit ve kitosanın model için anlamlı terimler olduğu görülmüştür ( $p < 0,05$ ). Model uyumsuzluğunu ifade eden lack of fit değerinin önemsiz olması ( $p > 0,05$ ) istenmektedir. Bu değer 0,0204 olarak önemli ( $p < 0,05$ ) bulunmuştur. Bu durum modelin matematiksel olarak uygun olmadığını göstermektedir.

**Tablo 4.3.3.2.** Nem içeriği için  $R^2$  değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri

|                                |       |                                                            |         |
|--------------------------------|-------|------------------------------------------------------------|---------|
| Standart Sapma<br>(Std. Dev.)  | 3,82  | Regresyon Katsayısı ( $R^2$ )                              | 0,7948  |
| Ortalama (Mean)                | 21,76 | Düzeltilmiş Regresyon Katsayısı<br>(Adj- $R^2$ )           | 0,7388  |
| Varyasyon<br>Katsayısı (C.V %) | 17,53 | Tahmin Edilmiş Çoklu Belirleme<br>Katsayısı (Pred- $R^2$ ) | 0,6601  |
|                                |       | Yeterli Tahminleme (Adeq<br>Precision)                     | 12,0993 |

**Tablo 4.3.3.2'**de filmlerin nem içeriği için  $R^2$  değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri verilmiştir. Nem içeriği için önerilen modelin  $R^2$  değeri 0,79 olarak

bulunmuştur. Elde edilen varyasyon katsayısı (C.V) %17,53'tür. Bu değerlerin diğer yanıtlara nispeten yüksek olması modelin güvenilirliğin düşük olduğunu göstermektedir. Yeterli tahminleme (Adeq precision) için gürültü oranının 4'ten büyük olması istenmektedir[75]. Bu değer film nem içeriği için 12,0993 olarak bulunmuştur.

#### 4.3.4.Parametrelerin Nem Absorblama Kapasitesi Üzerine Etkileri

Nem absorblama kapasitesi, biyobazlı filmlerin ambalajda kullanımını etkileyen önemli bir faktördür ve minimumda olması istenmektedir[68]. Filmlerin nem absorblama kapasitesi en düşük %61,99 ve en yüksek %174,95 olarak belirlenmiştir. ZnO, kitosan ve dökme hacminin, üretilen filmlerin nem absorblama kapasitesi üzerindeki etkisi varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Parametrelerin yanıt üzerindeki etkileri %95 güven seviyesinde incelenmiştir. **Tablo 4.3.3.1**'de nem içeriği için ANOVA tablosu verilmiştir. Deneme planına uygun olarak yapılan analizlerde elde edilen filmlerin nem absorbsiyonuna ait regresyon denklemi **Tablo 4.3.1**'de verilmiştir.

**Tablo 4.3.4.1.** Nem absorbsiyonu için ANOVA tablosu

|                                 | Kareler toplamı | Serbestlik derecesi (df) | Kare ortalaması | F değeri | P değeri |
|---------------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|----------|----------|
| Model                           | 14847,67        | 3                        | 4949,22         | 33,49    | <0,0001* |
| A-ZnO                           | 12225,01        | 1                        | 12225,01        | 82,72    | <0,0001  |
| B-Kitosan                       | 1627,64         | 1                        | 1627,64         | 11,01    | 0,0068   |
| C-Dökme hacmi                   | 995,03          | 1                        | 995,03          | 6,73     | 0,0249   |
| Atık                            | 1625,73         | 11                       | 147,79          |          |          |
| Model uyumsuzluğu (lack of fit) | 1613,18         | 9                        | 179,24          | 28,56    | 0,0343*  |
| Hata                            | 12,55           | 2                        | 6,28            |          |          |
| Cor Total                       | 16473,40        | 14                       |                 |          |          |

Önemli\*.

Modeldeki bağımsız değişkenler incelendiğinde çinko oksit, kitosan ve dökme hacminin model için anlamlı terimler olduğu görülmüştür ( $p<0,05$ ). ). Model uyumsuzluğunu ifade eden lack of fit değerinin önemsiz olması ( $p>0,05$ ) istenmektedir. Bu değer 0,0343 olarak önemli ( $p<0,05$ ) bulunmuştur. Bu durum modelin matematiksel olarak uygun olmadığını göstermektedir.

**Tablo 4.3.4.2.** Nem absorpsiyonu için  $R^2$  değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri

|                                |        |                                                            |         |
|--------------------------------|--------|------------------------------------------------------------|---------|
| Standart Sapma<br>(Std. Dev.)  | 12,16  | Regresyon Katsayısı ( $R^2$ )                              | 0,9013  |
| Ortalama (Mean)                | 111,18 | Düzeltilmiş Regresyon Katsayısı<br>(Adj- $R^2$ )           | 0,8744  |
| Varyasyon<br>Katsayısı (C.V %) | 10,93  | Tahmin Edilmiş Çoklu Belirleme<br>Katsayısı (Pred- $R^2$ ) | 0,8001  |
|                                |        | Yeterli Tahminleme (Adeq<br>Precision)                     | 16,9978 |

**Tablo 4.3.4.2'**de filmlerin nem absorpsiyonu için  $R^2$  değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri verilmiştir. Nem absorpsiyonu için önerilen modelin  $R^2$  değeri 0,90 olarak bulunmuştur. Elde edilen varyasyon katsayısı (C.V) %10,93'tür. Bu değerler modelin güvenilirliğini göstermektedir. Yeterli tahminleme değerinin 4'ten büyük olması istenen bir durumdur ve bu değer 16,9978 olarak bulunmuştur.

#### 4.3.5.Parametrelerin Hidrofobisite Üzerine Etkileri

Ambalaj malzemelerinin yapışma ve ıslanabilirlik gibi yüzey özelliklerinin kontrolünün sağlanması önemlidir. Malzemelerin yüzey hidrofobikliği, paketleme uygulamalarında istenen bir özelliktir. Temas açısı değerinin yüksek olması malzemelerin yüzey hidrofobikliğinin yüksek olduğunu göstermektedir[57].

ZnO, kitosan ve dökme hacminin üretilen filmlerin temas açısı üzerindeki etkisi varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Parametrelerin yanıt üzerindeki etkileri %95 güven seviyesinde incelenmiştir. Modelin uyumsuzluğunu ifade eden lack of fit değerinin önemsiz ( $p>0,05$ ), regresyon katsayısının yüksek olduğu modeller kullanılmış ve lineer model tercih edilmiştir. **Tablo 4.3.3.1'**de hidrofobisite için

ANOVA tablosu verilmiştir. Deneme planına uygun olarak yapılan analizlerde elde edilen filmlerin hidrofobisitesine ait regresyon denklemi **Tablo 4.3.1**'de verilmiştir.

**Tablo 4.3.5.1.** Hidrofobisite için ANOVA tablosu

|                                 | Kareler toplamı | Serbestlik derecesi (df) | Kare ortalaması | F değeri | P değeri |
|---------------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|----------|----------|
| Model                           | 301,36          | 6                        | 50,23           | 163,23   | <0,0001* |
| A-ZnO                           | 4,85            | 1                        | 4,85            | 15,77    | 0,0041   |
| B-Kitosan                       | 265,55          | 1                        | 262,55          | 853,24   | <0,0001  |
| C-Dökme hacmi                   | 23,60           | 1                        | 23,60           | 76,69    | <0,0001  |
| AB                              | 5,22            | 1                        | 5,22            | 16,97    | 0,0033   |
| AC                              | 1,72            | 1                        | 1,72            | 5,58     | 0,0458   |
| BC                              | 3,42            | 1                        | 3,42            | 11,12    | 0,0103   |
| Atık                            | 2,46            | 8                        | 0,3077          |          |          |
| Model uyumsuzluğu (lack of fit) | 1,90            | 6                        | 0,3166          | 1,13     | 0,5403** |
| Hata                            | 0,5618          | 2                        | 0,2809          |          |          |
| Cor Total                       | 303,82          | 14                       |                 |          |          |

Önemli\*,önemsiz\*.

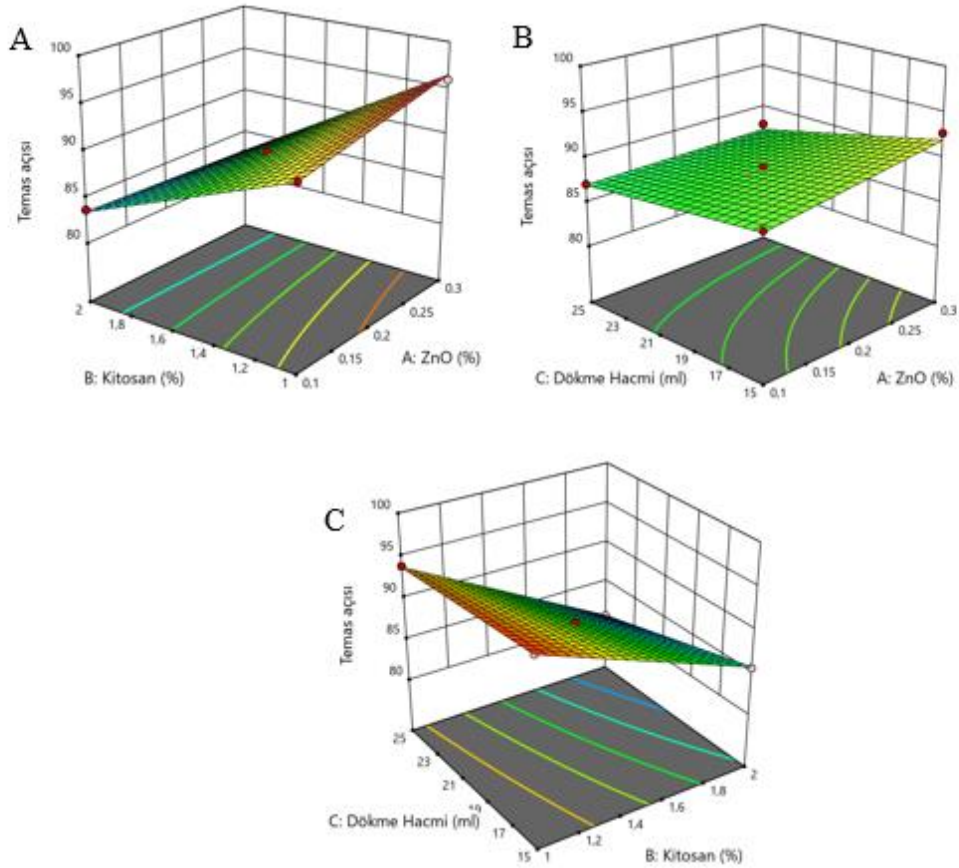
Modeldeki bağımsız değişkenler incelendiğinde ZnO, kitosan, dökme hacmi ve AB, AC, BC ikili kombine etkilerin model için anlamlı terimler olduğu görülmüştür ( $p<0,05$ ). Model uyumsuzluğunu gösteren Lack of fit değeri önemsiz bulunmuştur.

**Tablo 4.3.5.2.** Hidrofobisite için  $R^2$  değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri

|                            |        |                                 |        |
|----------------------------|--------|---------------------------------|--------|
| Standart Sapma (Std. Dev.) | 0,5547 | Regresyon Katsayısı ( $R^2$ )   | 0,9919 |
| Ortalama (Mean)            | 88,84  | Düzeltilmiş Regresyon Katsayısı | 0,9858 |

|                             |        |                                                                 |         |
|-----------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------|---------|
|                             |        | (Adj-R <sup>2</sup> )                                           |         |
| Varyasyon Katsayısı (C.V %) | 0,6244 | Tahmin Edilmiş Çoklu Belirleme Katsayısı (Pred-R <sup>2</sup> ) | 0,9686  |
|                             |        | Yeterli Tahminleme (Adeq Precision)                             | 42,2788 |

**Tablo 4.3.4.2'**de filmlerin hidrofobisite özellikleri için R<sup>2</sup> değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri verilmiştir. Önerilen modelin R<sup>2</sup> değeri 0,99 olarak bulunmuştur. Elde edilen varyasyon katsayısı (C.V) %0,6244'tür. Bu değerler modelin güvenilirliğinin yüksek olduğunu göstermektedir. Yeterli tahminleme değerinin (Adeq precision) 4'ten büyük olması istenmektedir ve bu değer hidrofobisite için 42,2788 olarak bulunmuştur. Düzeltilmiş regresyon katsayısı ve tahmin edilmiş çoklu belirleme katsayısı arasındaki farkın 0,2'den az olması da modelin uyumlu olduğunu göstermiştir.



**Şekil 4.3.5.1** ZnO ve kitosan konsantrasyonunun temas açısı üzerine etkisi(A), ZnO konsantrasyonu ve dökme hacminin temas açısı üzerine etkisi(B), kitosan konsantrasyonu ve dökme hacminin temas açısı üzerine etkisi(C).

**Şekil 4.3.5.1**, ZnO, kitosan ve dökme hacminin, filmlerin temas açısı üzerindeki etkilerinin üç boyutlu eğrisini göstermektedir. Sonuçlar, çinko oksit miktarının ve dökme hacminin artmasının temas açısını arttırdığını buna karşın kitosan miktarındaki artışın temas açısını azalttığını göstermektedir. Sonuçlara benzer şekilde Youssef ve arkadaşları(2016) tarafından üretilen kitosan bazlı çinko oksit içeren filmlerde çinko oksit konsantrasyonun artışına bağlı olarak temas açısının da arttığı bildirilmiştir. Bu sonuç, ZnO nanopartiküllerinin artırılmasının, su damlasının film yüzeyine yayılmasını önlemek amacıyla bir afinite sağladığını ve böylelikle yüzey hidrofobikliğinin artmasına neden olduğunu göstermektedir[57]. Bir başka çalışmada Noshirvani ve arkadaşları(2017), benzer şekilde artan ZnO konsantrasyonunun temas açısı yüksek ve hidrofobik yüzeye sahip ambalaj malzemelerinin geliştirilmesinde önemli bir etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir[76].

#### **4.3.6.Parametrelerin Maliyet Üzerine Etkileri**

Maliyet önemli bir optimizasyon parametresi olarak düşünülmektedir. Film üretimindeki tüm faktörler sabit kabul edilerek sadece kullanılan malzeme bazlı bir maliyet tahminlemesi yapılmıştır. Üretilen filmlerin maliyeti en düşük 2,68 TL ve 8,41 TL olarak belirlenmiştir.

Üretilen filmlerin ZnO miktarı, kitosan miktarı ve dökme hacminin, bir adet film maliyeti(TL) üzerindeki etkisi varyans analizi yapılarak değerlendirilmiştir. Parametrelerin yanıt üzerindeki etkileri %95 güven seviyesinde incelenmiştir. Modelin uyumsuzluğunu ifade eden lack of fit değerinin önemsiz ( $p>0,05$ ), regresyon katsayısının yüksek olduğu modeller kullanılmış ve kuadratik model tercih edilmiştir. **Tablo 4.3.1.1**'de film kalınlığı için ANOVA tablosu verilmiştir.

**Tablo 4.3.6.1.** Maliyet için ANOVA tablosu

|  | Kareler | Serbestlik | Kare | F | P |
|--|---------|------------|------|---|---|
|--|---------|------------|------|---|---|

|                                       | toplamı | derecesi<br>(df) | ortalaması | değeri  | değeri   |
|---------------------------------------|---------|------------------|------------|---------|----------|
| Model                                 | 33,23   | 9                | 3,69       | 902,76  | <0,0001* |
| A-ZnO                                 | 0,2965  | 1                | 0,2965     | 72,48   | 0,0004   |
| B-Kitosan                             | 18,61   | 1                | 18,61      | 4548,90 | <0,0001  |
| C-Dökme<br>hacmi                      | 13,31   | 1                | 13,31      | 3254,96 | <0,0001  |
| AB                                    | 0,0000  | 1                | 0,0000     | 0,0000  | 1,0000   |
| AC                                    | 0,0100  | 1                | 0,0100     | 2,44    | 0,1787   |
| BC                                    | 0,6241  | 1                | 0,6241     | 152,59  | <0,0001  |
| A <sup>2</sup>                        | 0,0000  | 1                | 0,0000     | 0,0000  | 1,0000   |
| B <sup>2</sup>                        | 0,0000  | 1                | 0,0000     | 0,0000  | 1,0000   |
| C <sup>2</sup>                        | 0,3781  | 1                | 0,3781     | 92,44   | 0,0002   |
| Atık                                  | 0,0204  | 5                | 0,0041     |         |          |
| Model<br>uyumsuzluğu<br>(lack of fit) | 0,0204  | 3                | 0,0068     |         |          |
| Hata                                  | 0,0000  | 2                | 0,0000     |         |          |
| Cor Total                             | 33,25   | 14               |            |         |          |

Önemli\*.

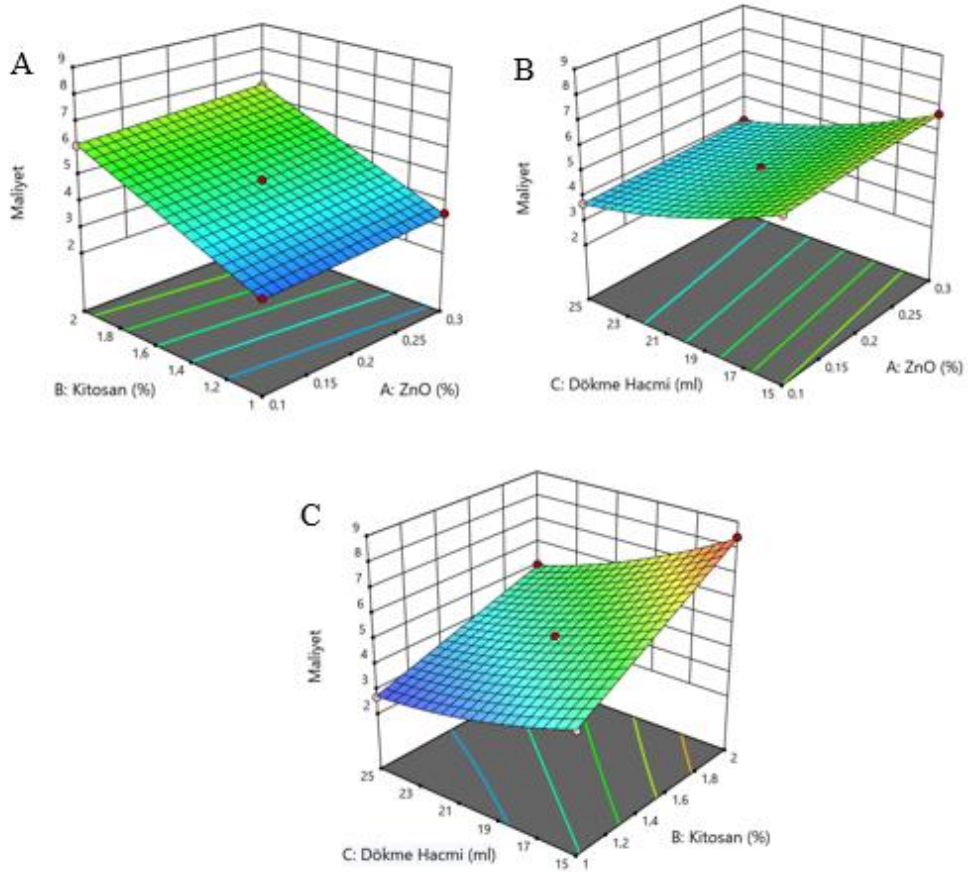
Modeldeki bağımsız değişkenler incelendiğinde ZnO, kitosan, dökme hacmi ve BC ve C<sup>2</sup> kombine etkilerin model için anlamlı terimler olduğu görülmüştür (p<0,05).

**Tablo 4.3.6.2.** Maliyet için R<sup>2</sup> değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri

|                                |        |                                                                    |        |
|--------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------|--------|
| Standart Sapma<br>(Std. Dev.)  | 0,0640 | Regresyon Katsayısı (R <sup>2</sup> )                              | 0,9994 |
| Ortalama (Mean)                | 5,00   | Düzeltilmiş Regresyon Katsayısı<br>(Adj-R <sup>2</sup> )           | 0,9983 |
| Varyasyon<br>Katsayısı (C.V %) | 1,28   | Tahmin Edilmiş Çoklu Belirleme<br>Katsayısı (Pred-R <sup>2</sup> ) | 0,9902 |

|  |  |                                     |          |
|--|--|-------------------------------------|----------|
|  |  | Yeterli Tahminleme (Adeq Precision) | 107,8183 |
|--|--|-------------------------------------|----------|

**Tablo 4.3.6.2**'de filmlerin nem içeriği için  $R^2$  değerleri ve tasarımın değişim ölçüleri verilmiştir. Maliyet için önerilen modelin  $R^2$  değeri 0,9994 olarak bulunmuştur. Elde edilen varyasyon katsayısı (C.V) %1,28'dir. Bu değerler modelin güvenilirliğini göstermektedir. Yeterli tahminleme değerinin 4'ten büyük olması istenen bir durumdur ve bu değer 107,8183 olarak bulunmuştur. Düzeltilmiş regresyon katsayısı ve tahmin edilmiş çoklu belirleme katsayısı arasındaki farkın 0,2'den az olması da modelin uyumlu olduğunu göstermiştir.

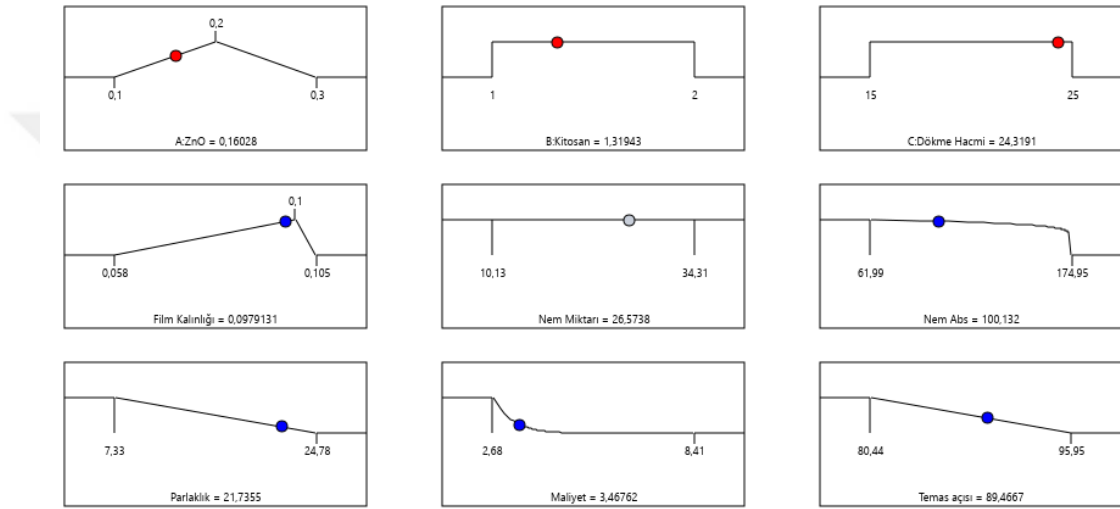


**Şekil 4.3.6.1** ZnO ve kitosan konsantrasyonunun film maliyeti üzerine etkisi(A), ZnO konsantrasyonu ve dökme hacminin film maliyeti üzerine etkisi(B), kitosan konsantrasyonu ve dökme hacminin film maliyeti üzerine etkisi(C).

**Şekil 4.3.6.1**, ZnO, kitosan ve dökme hacminin, filmlerin maliyeti üzerindeki etkilerinin üç boyutlu eğrisini göstermektedir. Sonuçlar, çinko oksit ve kitosan miktarının artmasının bir adet film maliyetini arttırdığını göstermektedir.

#### 4.4.Optimizasyon

Optimizasyon film kalınlığı, nem içeriği, nem absorblama kapasitesi, parlaklık, temas açısı ve maliyet yanıtları değerlendirilerek yapılmıştır. Bu doğrultuda film kalınlığının maksimum olduğu, nem içeriği ve nem absorblama kapasitesinin minimum düzeyde olduğu, parlaklık ve temas açısının maksimum ve maliyetin minimum düzeyde olduğu film seçimi hedeflenmiştir. Şekil 4.4.1'deki koşullar, deneme desenindeki 7 numaralı filmle uyumluluk göstermiş olup yeni bir film üretimi yapılmamıştır.



Şekil 4.4.1 Yanıtların değerlendirilmesi ve optimum koşullar

#### 4.5.Optimum Nokta ve Değişen ZnO Konsantrasyonu İçeren Filmlerin Bazı Özelliklerinin İncelenmesi

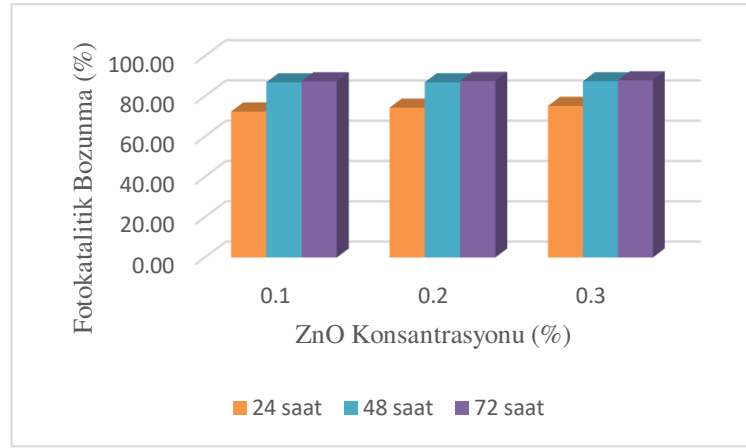
Optimizasyon sonunda Tablo 3.2.15.3.'de verilen %0,2 ZnO, %1,5 kitosan ve 20 ml dökme hacmine sahip 7 numaralı film ve ZnO konsantrasyonundaki farklılıkların filmlerin bazı özelliklerine etkisini incelemek amacıyla seçilen %0,1 ve %0,3 ZnO içeren 12 ve 15 numaralı filmlerde fotokatalitik bozunma, suda çözünürlük, XRD desenleri, FT-IR spektrumları ve antimikrobiyal özellikler incelenmiştir.

#### 4.5.1.Fotokatalitik Bozunma

Film parçaları içeren metilen mavisi solüsyonlarının, fotokatalitik bozunmayı belirlemek için 24, 48 ve 72 saat süreyle ışığa maruz bırakılarak absorbans değerleri ölçülmüştür. Solüsyonun absorpsiyon ölçümleri 664 nm dalga boyunda Thermo Multiskan GO Microplate Reader kullanılarak yapılmış ve metilen mavisinin karakteristik zirvesi olan absorbans azalmasının izlenmesiyle doğrulanmıştır.

ZnO fotokatalizörü, fotokatalitik aktivasyonu ile UV-görünür ışık ışıması altında metilen mavisi sulu çözeltisinin rengini zamanla gidermektedir. Fotokatalitik performanslar, faz bileşimi, yüzey alanı, kristallik gibi özelliklere göre değişkenlik göstermektedir[77]. Velanganni ve arkadaşları(2018) çalışmalarında, fotokatalizör olarak kullanılan ZnO nanopartiküllerinin metilen mavisinin bozunma oranını arttırdığını bildirmişlerdir[78].

**Şekil 4.5.1.1** , %0,1, %0,2 ve %0,3 ZnO içeren filmlerin 24, 48 ve 72 saat görünür ışığa maruziyeti sonunda metilen mavisi solüsyonlarındaki fotokatalitik bozunma (%) grafiğini göstermektedir. %0,1 ZnO içeren filmler için 24, 48 ve 72 saat ışık maruziyeti sonunda fotokatalitik bozunma oranları sırasıyla %72,46, %86,97 ve %87,49 olarak hesaplanmıştır. %0,2 ZnO içeren filmler için 24, 48 ve 72 saat ışık maruziyeti sonunda fotokatalitik bozunma oranları sırasıyla %74,41, %87,03 ve %87,65 olarak hesaplanmıştır. %0,3 ZnO içeren filmler için 24, 48 ve 72 saat ışık maruziyeti sonunda fotokatalitik bozunma oranları sırasıyla %75,28, %87,50 ve %87,94 olarak hesaplanmıştır. Fotokatalitik bozunma, 48 saat ve 72 saat sonunda benzer şekilde  $87 \pm 1$  olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar ZnO içeren film parçalarının fotokatalitik performansa sahip olduğunu göstermektedir.

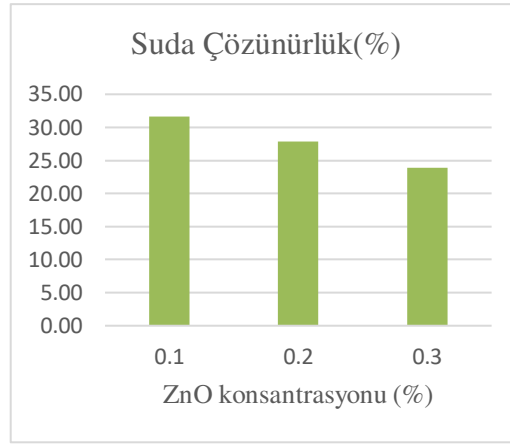


**Şekil 4.5.1.1.** Farklı ZnO konsantrasyonuna sahip filmlerin fotokatalitik bozunma(%) değerleri

#### 4.5.2.Suda Çözünürlük

Suda çözünürlük, filmlerin ıslak ortamlarda suya karşı direncini gösteren önemli özelliklerden biri olmakla birlikte filmlerin yüksek su aktivitesine sahip gıdaları, taze ve donmuş gıdaları korumadaki etkinliğini göstermektedir[68]. Seçilen 7, 12 ve 15 numaralı filmler için suda çözünürlük değerleri sırasıyla ortalama %27,82, %31,64 ve %23,89 olarak hesaplanmıştır.

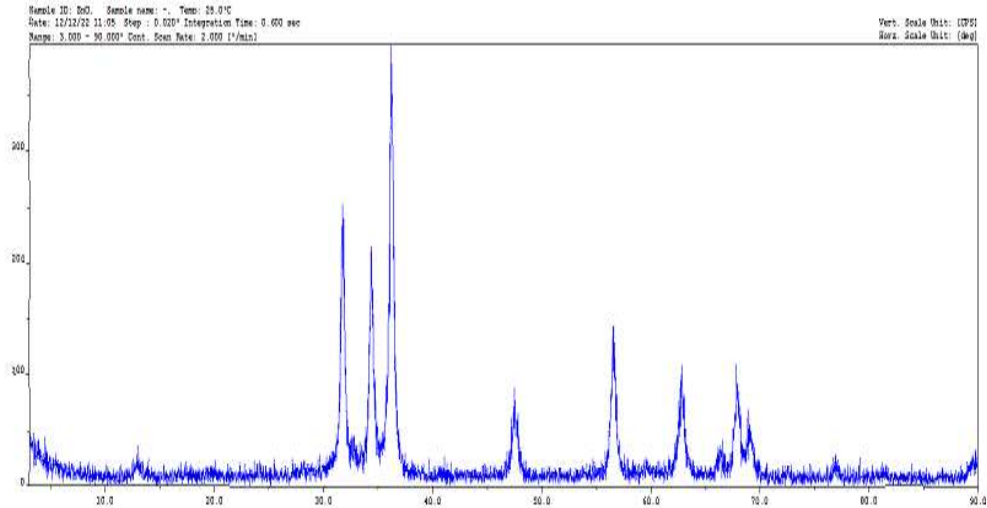
Seçilen 7, 12 ve 15 numaralı filmler sırasıyla, %0,2, %0,1 ve %0,3 ZnO içerirken filmlerin tamamı %1,5 kitosan içermektedir. **Şekil 4.5.2.1**, filmlerin çinko oksit konsantrasyonlarına karşı suda çözünürlük (%) grafiğini göstermektedir. Sonuçlar, 7, 12 ve 15 numaralı filmler için artan çinko oksit miktarının suda çözünürlüğü azalttığını göstermektedir. Sonuçlar Rezaei ve arkadaşları(2020) tarafından yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir[68].



**Şekil 4.5.2.1** Farklı ZnO konsantrasyonuna sahip filmlerin suda çözünürlük(%) değerleri

#### 4.5.3.X-Işını Kırınımı (XRD)

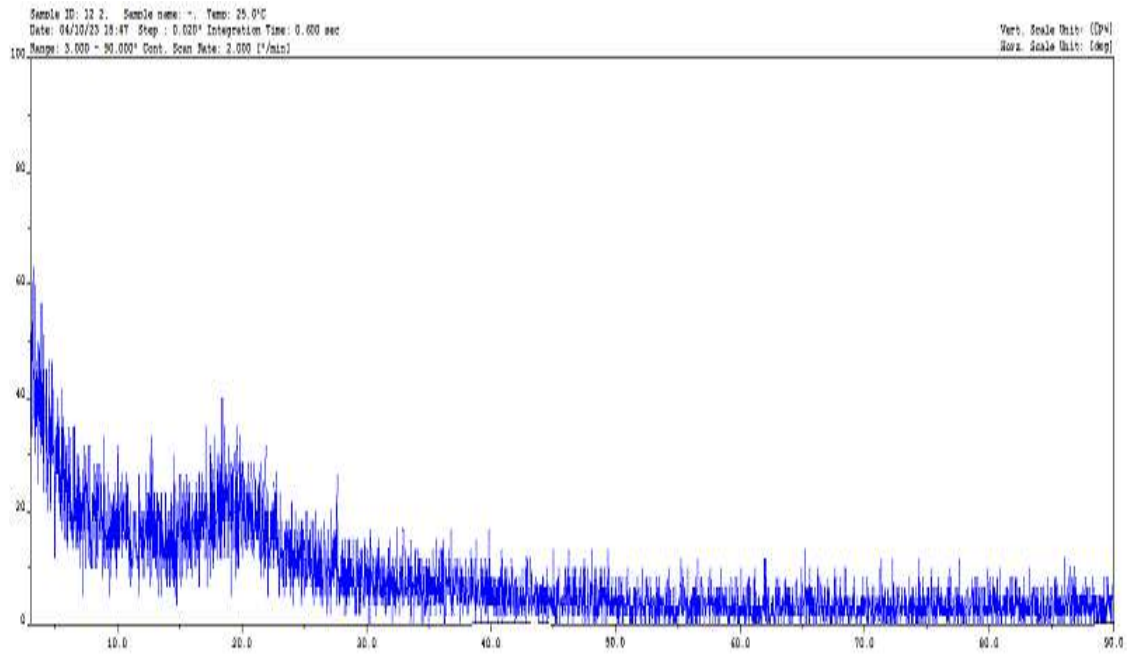
Çinko oksit nanopartikülleri ve %0,1, %0,2 ve %0,3 çinko oksit içeren kitosan filmlerinin XRD desenleri, CuK $\alpha$  radyasyon kaynağı ile donatılmış X-ışını difraktometresi ile elde edilmiştir. **Şekil 4.5.3.1**'de çinko oksit nanopartiküllerinin keskin piklerinin varlığı altıgen kristal yapısını göstermektedir. Sonuçlar Sani ve arkadaşlarının(2019) çalışmalarına benzer şekilde olup ZnO'nun saflığını göstermektedir[79].



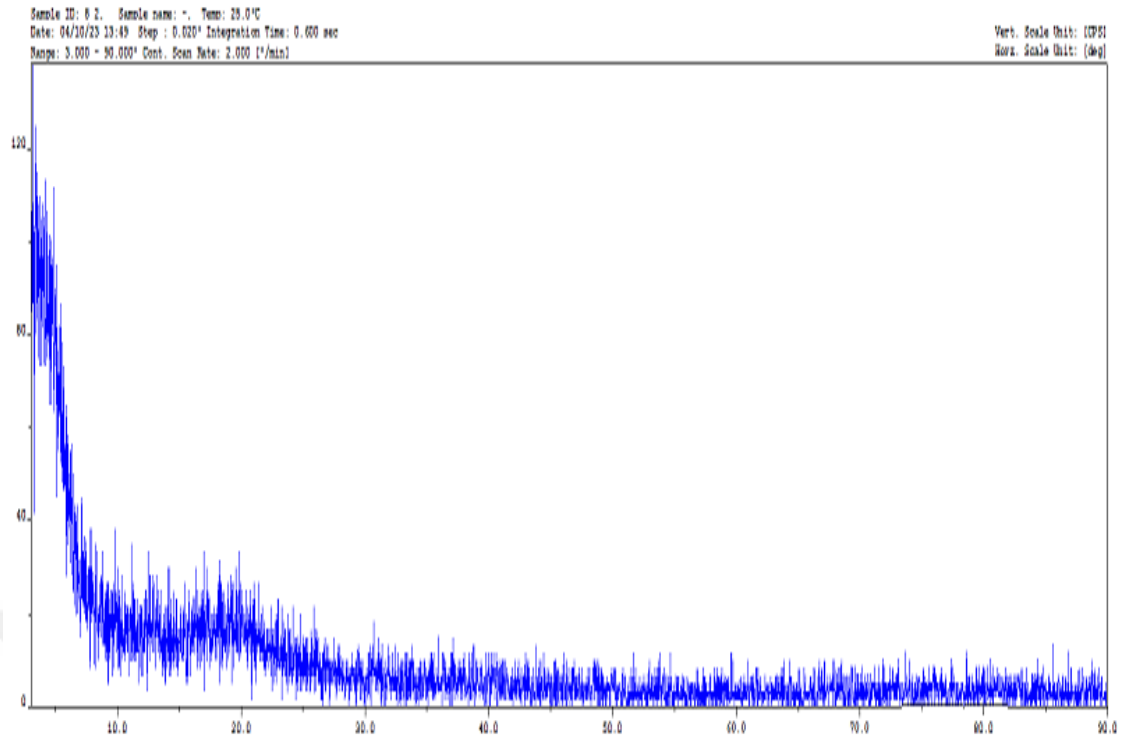
**Şekil 4.5.3.1** ZnO Nanopartiküllerinin XRD deseni

%0,1, %0,2 ve %0,3 çinko oksit içeren filmlerin XRD desenleri **Şekil 4.5.3.2**, **Şekil 4.5.3.3** ve **Şekil 4.5.3.4**'te gösterilmektedir. Kitosan filmlere çinko oksit nanopartiküllerinin eklenmesiyle, çinko oksit nanopartiküllerinin varlığına karşılık

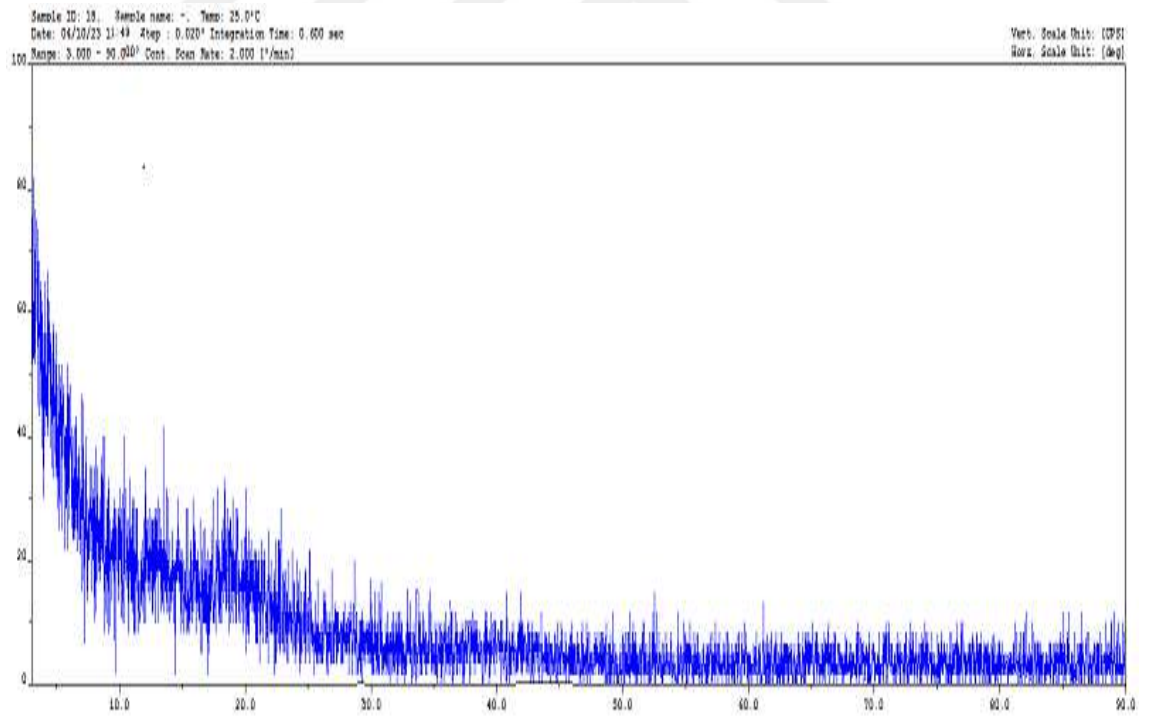
gelen XRD pikleri gözlenmemektedir. Bu sonuç, nanopartiküllerin kristalliğinin bozulmasını göstermek yerine, filmler içindeki düşük konsantrasyonlarına bağlı olarak difraktometrenin algılama sınırının altında kalmasından kaynaklı olabileceğini düşündürmektedir. Sonuçlara benzer şekilde Al-Nabulsi ve arkadaşları(2020), %1 ZnO ve %2,5 kitosan içeren filmlerde, ZnO piklerini gözlemleyememiştir. Yine benzer şekilde Noshirvani ve arkadaşları(2017), %1 ZnO içeren kitosan filmlerinde ZnO piklerinin varlığını gözlemleyememiştir[76]. Bir başka çalışmada Sani ve arkadaşları(2019), çinko oksit pik yoğunluğunun kitosan, çinko oksit nanopartikülü ve Melissa yağı içeren kompozit filmlerde azaldığını bildirmişlerdir[79].



**Şekil 4.5.3.2** %0,1 ZnO içeren kitosan filmin XRD deseni



Şekil 4.5.3.3 %0,2 ZnO içeren kitosan filmin XRD deseni

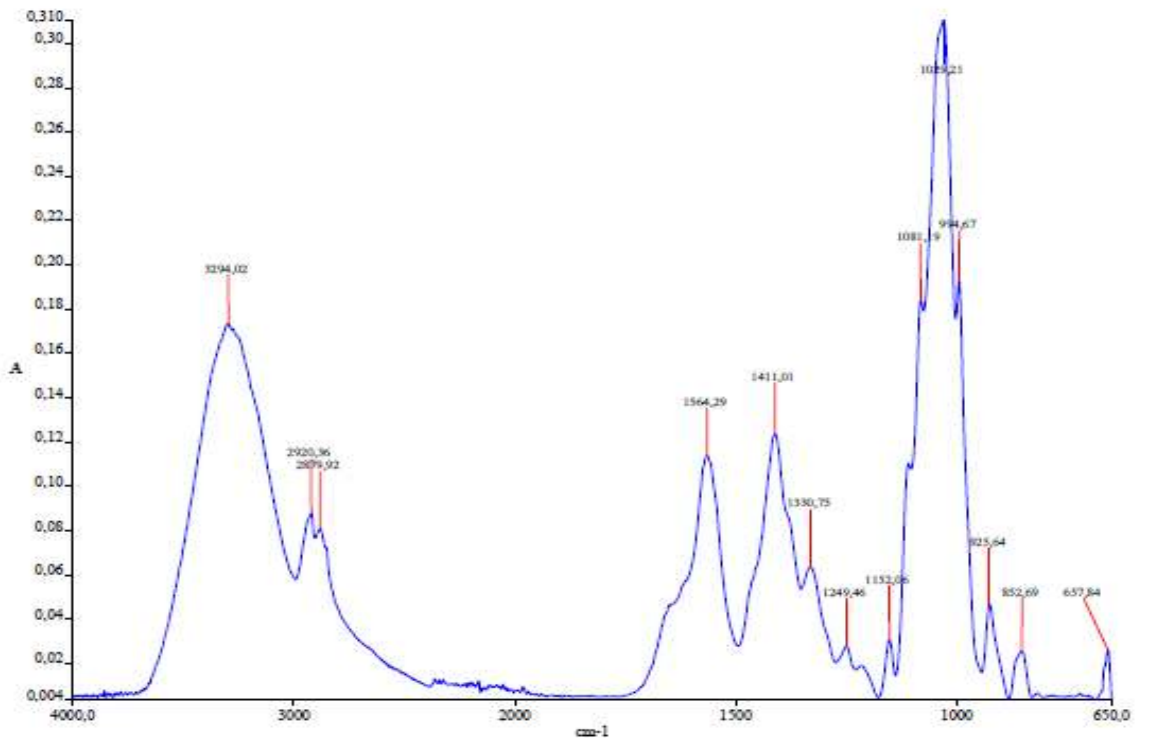


Şekil 4.5.3.4 %0,3 ZnO içeren kitosan filmin XRD deseni

#### 4.5.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

Seçilen %0,1 ZnO, %0,2 ZnO ve %0,3 ZnO içeren filmlerin fourier dönüşümlü kızılötesi spektrumları incelenmiştir. **Şekil 4.5.4.2**'de %0,2 ZnO içeren kitosan filmlerinin FT-IR spektrumları gösterilmiştir. Sonuçlar %0,1 ve %0,3 ZnO içeren filmlerle benzerlik göstermektedir (Bakınız **Ek Şekil 1** ve **Ek Şekil 2**).

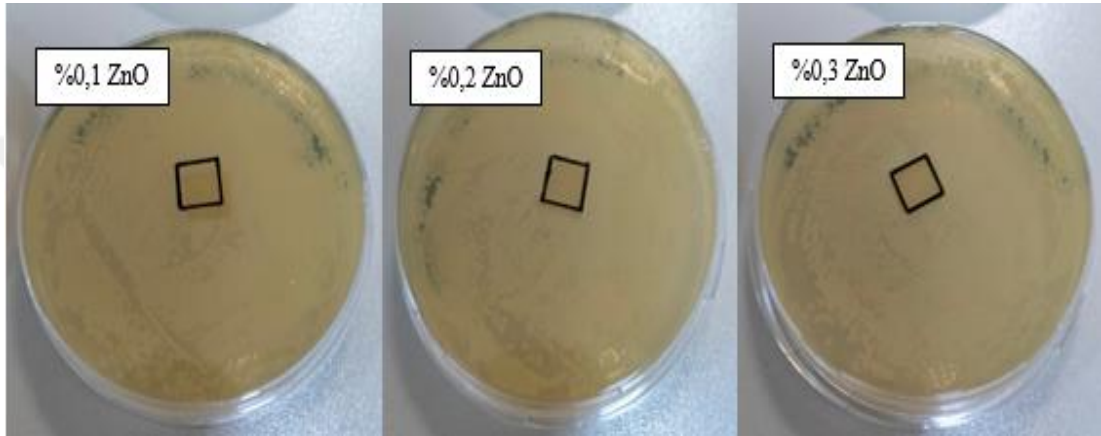
3294,02  $\text{cm}^{-1}$ 'deki bant, kompozit filmin  $\text{NH}_2\text{-OH}$  gruplarına karşılık gelirken 2920,36  $\text{cm}^{-1}$ 'deki bant,  $\text{CH}_2$  gruplarının asimetrik gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir. 1564,29 ve 1411,08  $\text{cm}^{-1}$ 'deki bant ise kompozit filmin C-O ve C-N gruplarına karşılık gelirken 1029,21  $\text{cm}^{-1}$ 'deki bant C-O-C bağlantılarının gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. Bu değerler kitosan ve nanopartiküllerin  $\text{Zn}^{+2}$  iyonlarının çeşitli grupları arasında koordinasyon bağlarının oluştuğunun göstergesidir, dolayısıyla ZnO partiküllerinin kitosan zincirleri arasında yer alacağı sonucuna varılmıştır[80]. Sonuçlar, ZnO içeren kitosan filmlerin FT-IR spektrumlarının literatüre benzer şekilde olup var olan organik bağ yapısını kanıtlar niteliktedir.



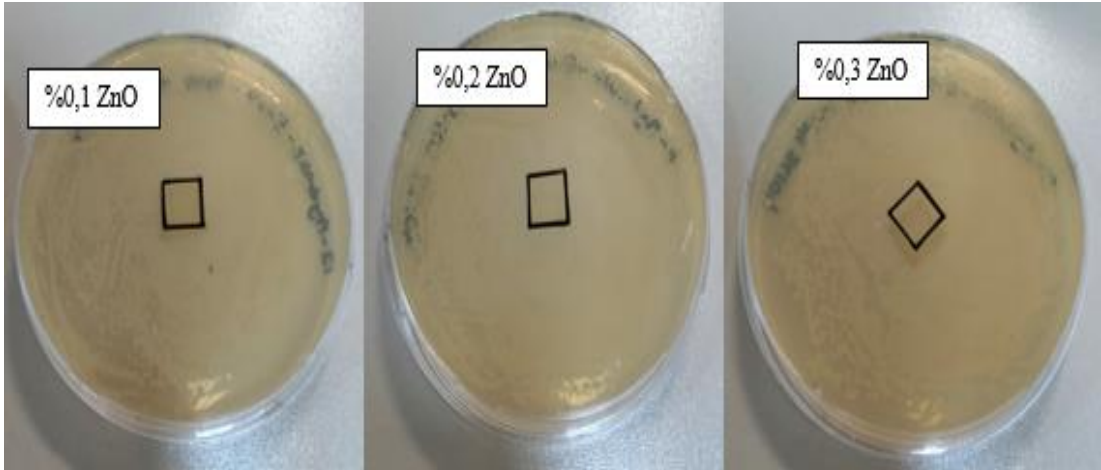
**Şekil 4.5.4.2** %0,2 ZnO içeren filmin FT-IR spektrumu

#### 4.5.6.Filmlerin Antimikrobiyal Özelliklerinin Belirlenmesi

Filmlerin antimikrobiyal özellikleri disk difüzyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Seçilen %0,1, %0,2 ve %0,3 ZnO içeren filmlerin ışık altında ve karanlık inkübasyonda *Escherichia coli* O157:H7 (ATCC35150) üzerindeki antibakteriyel özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.5.6.1 ve Şekil 4.5.6.2’de karanlık ve ışık altında inkübasyonda *E.coli* gelişimi gösterilmektedir.



Şekil 4.5.6.1 Disk difüzyon yönteminde karanlık inkübasyonda *E.coli* gelişimi



Şekil 4.5.6.2 Disk difüzyon yönteminde ışık altında inkübasyonda *E.coli* gelişimi

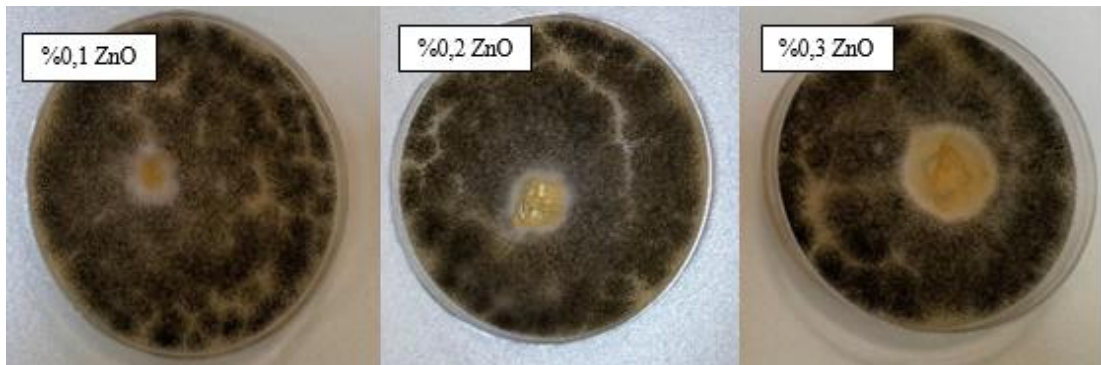
Sonuçlar, karanlık ve ışık altında inkübasyonda tüm konsantrasyonlarda film parçalarının olduğu 1cm<sup>2</sup>'lik alanda üreme gözlenmediğini göstermektedir.

Albukhaty ve arkadaşları(2020), disk difüzyon yöntemiyle 40 µg/ml konsantrasyonunda ZnO nanopartiküllerinin *E.coli* için büyüme inhibisyon çapını 27

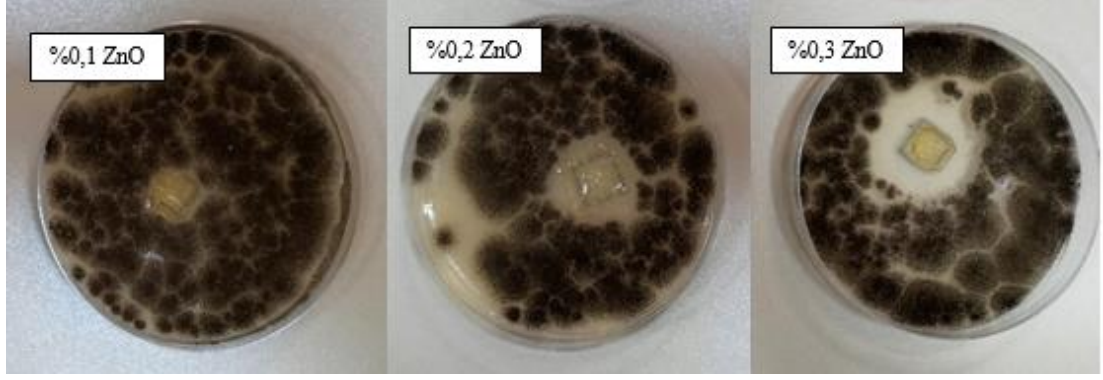
mm olarak izlemişlerdir[81]. Narayanan ve arkadaşları(2012), 100 µg/ml konsantrasyonunda ZnO nanopartiküllerinin, *E.coli* için büyüme inhibisyon çapını 17 mm olarak bildirmişlerdir[82]. Bir başka çalışmada Hoseinzadeh ve arkadaşları(2014), 10000 µg/ml konsantrasyonundaki ZnO nanopartiküllerinin *Escherichia coli* (ATCC 25922) inhibisyon çapını 19±0,44 mm olarak bildirmişlerdir[72].

ZnO nanopartiküllerinin sentezlenmesinde kullanılan yöntemler, nanopartiküllerin boyutlarının farklılığına neden olabilmektedir. Nanopartiküllerin şekli, boyutu, yüzey alanı ve diğer fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, biyolojik tepkilerinde önemli rol oynayabileceği bildirilmiştir. Ayrıca patojenik suşların, genetik yapılarındaki farklılıklara ek olarak hastanelerden elde edilen patolojik izolatların antibiyotik direnç kazanımları da önemli faktörlerdir[81]. Sonuçlardaki farklılıkların nanopartiküllerin karakteristik özelliklerinden kaynaklı olabileceği gibi patojenik suşların genetik yapısındaki farklılardan kaynaklı olabileceği de düşünülmektedir.

Seçilen %0,1, %0,2 ve %0,3 ZnO içeren filmlerin ışık altında ve karanlık inkübasyonda *Aspergillus niger*(NRRL326) üzerindeki antifungal özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.5.6.3 ve Şekil 4.5.6.4’de karanlık ve ışık altında inkübasyon sonunda *A.niger* gelişimi gösterilmektedir.

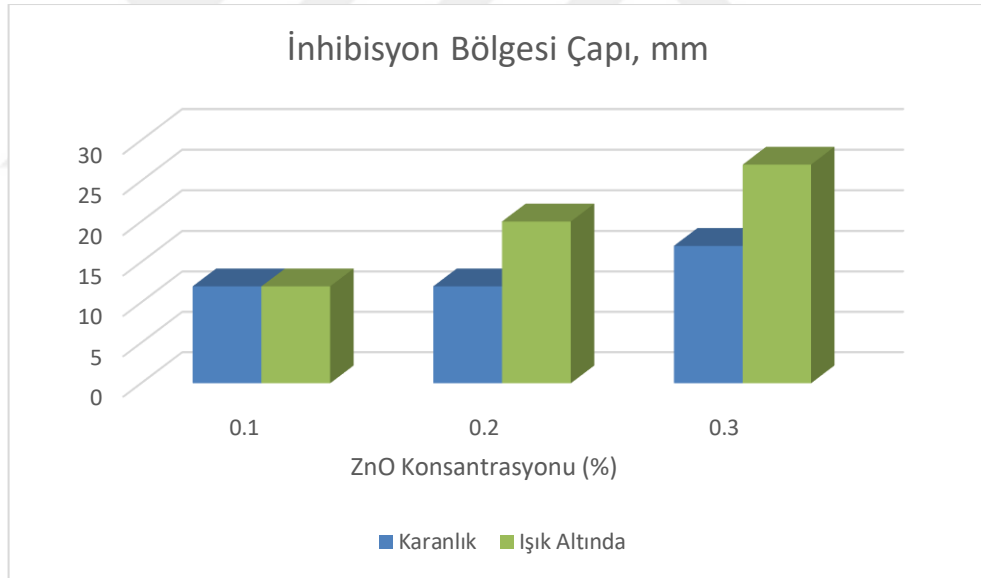


Şekil 4.5.6.3 Disk difüzyon yönteminde karanlık inkübasyonda *A.niger* gelişimi



**Şekil 4.5.6.4** Disk difüzyon yönteminde ışık altında inkübasyonda *A.niger* gelişimi

Şekil 4.5.6.5’de filmlerin karanlık ve ışık altında inkübasyon sonunda *A.niger* için inhibisyon bölgesi çapları gösterilmektedir. %0,1 ZnO içeren filmlerin inhibisyon bölgesi çapları karanlık ve ışık altında inkübasyon sonunda ortalama 12mm olarak ölçülmüştür. Bu değerler %0,2 ZnO içeren filmler için karanlık ve ışık altında inkübasyon için sırasıyla 12 ve 20 mm iken %0,3 ZnO içeren filmler için 17 ve 27 mm olarak ölçülmüştür.



**Şekil 4.5.6.5** Farklı ZnO konsantrasyonuna sahip filmlerin *Aspergillus niger* için karanlık ve ışık altında inkübasyon sonunda oluşturdukları inhibisyon bölgesi çapları

Sonuçlar %0,1 ZnO içeren filmlerin ışık altında ve karanlık inkübasyonda inhibisyon bölgesi çapında farklılık göstermezken %0,2 ve %0,3 ZnO içeren filmlerin ZnO konsantrasyonu arttıkça ışık altında inkübasyonda inhibisyon bölgesi çaplarının karanlık ortama göre arttığını göstermektedir.

$Zn^{+2}$  iyonları, mikroorganizmaların hücre yüzeyine elektrostatik bağlanma ile hücre zarı geçirgenliğinde değişikliklere neden olmaktadır. ZnO nanopartiküllerinin hücreye nüfuz etmesi, hücre bileşenleri ile reaksiyona girmesine ve sitoplazmik içerikleri tüketmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte fotokatalitik yöntemlerle süperoksit anyonları ve hidroksil radikallerinin üretimi, oksitleyici ajan olan hidrojen peroksit üretimi de ZnO nanopartiküllerinin antimikrobiyal mekanizmalarından bazılarıdır. Sonuçlara benzer şekilde Noshirvani ve arkadaşları (2017) ZnO katkılı filmlerin antifungal özelliklerini inceledikleri çalışmalarında artan ZnO konsantrasyonunun inhibisyon çapında artışa neden olduğunu bildirmişlerdir[76].

Rezaei ve arkadaşları(2020), sonuçlara benzer şekilde antifungal etkilerin çinko oksit nanopartiküllerinin konsantrasyonu ile doğrudan bir korelasyona sahip olduğunu ve ZnO'nun artmasının antibakteriyel/antifungal etkileri arttırdığını bildirmişlerdir [68].

## 5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında çinko oksit katkılı fotokatalitik aktif ambalaj malzemesi üretimi hedeflenmiştir. Çalışmada doğal biyopolimerlerden olan kitosan bazlı filmler üretilerek, filmlerin biyoyumlu ve fotokatalitik aktivasyon özelliğine sahip bir materyal olan çinko oksit nanopartikülleri ile katkılanırılması tercih edilmiştir. Bu tercihlerle geliştirilen ambalaj malzemesinin sentetik ambalaj malzemelerine alternatif çevre dostu bir ürün olması da sürdürülebilirlik kavramı altında önem arz etmektedir.

Çalışmanın ilk aşamasında çinko oksit nanopartiküllerin fotokatalitik özelliklerinden yararlanılarak çinko oksitin *Escherichia coli* ve *Aspergillus niger* üzerindeki gelişimi baskılayıcı ve öldürücü konsantrasyonları tespit edilmiştir. *Escherichia coli* için ışık altında ve karanlıkta inkübasyonda minimum inhibisyon konsantrasyonu değeri 1600 µg/ml olarak bulunmuştur. *Escherichia coli* için minimum bakterisidal konsantrasyon ise ışık altında ve karanlıkta sırasıyla 1600 µg/ml ve 6400 µg/ml bulunmuştur. Bu değerler çinko oksit nanopartiküllerinin ışık altında *E.coli* için karanlık inkübasyona göre daha düşük konsantrasyonda öldürücü etkiye sahip olduğunu göstermektedir. *Aspergillus niger* için ise ışık altında inkübasyonda minimum inhibisyon konsantrasyonu ve minimum fungisidal konsantrasyonu 100µg/ml olarak tespit edilmiştir. *Aspergillus niger* için karanlıkta inkübasyonda minimum inhibisyon konsantrasyonu 12800 µg/ml'den daha yüksek bir konsantrasyonda olması nedeniyle çalışılan konsantrasyonlarda fungisidal konsantrasyonu tespit edilememiştir. Elde edilen bu değerler film çözeltilerinde çinko oksit konsantrasyonun belirlenmesinde etkili olmuş ve bu doğrultuda %0,1, %0,2 ve %0,3 çinko oksit kullanımı tercih edilmiştir.

Çalışmada film üretimi yanıt yüzey yönteminden yararlanarak Box Behnken deney tasarımı ile yapılmıştır. Bu doğrultuda bağımsız değişkenler çinko oksit konsantrasyonu, kitosan konsantrasyonu ve dökme hacmi olarak seçilmiş ve filmlerin kalınlığı, nem içeriğı, nem absorblama kapasitesi, parlaklığı, hidrofobisite özellikleri ve maliyetleri incelenmiştir. Yanıtlar varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada çinko oksit miktarı film kalınlıklarını etkilemezken artan çinko oksit miktarının, filmin beyazlığında bir artışa işaret eden L\* değerini,

nem absorblama kapasitesini, film maliyetini ve yüzey hidrofobikliğini arttırmış ve filmlerin nem içeriklerini ve suda çözünürlüklerini azalttığını göstermiştir. Optimizasyon çalışması sonunda ideal film %0,2 ZnO, %1,5 kitosan ve 20 ml dökme hacmine sahip film olarak belirlenmiştir. Çinko oksit konsantrasyonundaki farklılıkların filmlerin bazı özellikleri üzerine etkisini incelemek amacıyla yine %1,5 kitosan içeriğine sahip ancak %0,1 ve %0,3 ZnO içeren filmler de tercih edilmiştir.

Seçilen filmlerde fotokatalitik bozunma 72 saat sonunda  $87 \pm 1$  olarak tespit edilmiştir. Artan çinko oksit konsantrasyonunun suda çözünürlüğü %31,64'den %23,89'a düşürmüştür. XRD desenleri incelendiğinde kitosan filmlerde düşük konsantrasyonlarda çalışıldığından çinko oksitin keskin pikleri gözlemlenememiştir. FT-IR spektrumları filmlere eklenen çinko oksit nanopartiküllerinin organik bağ yapısını kanıtlar nitelikte olduğunu göstermiştir.

Seçilen filmlerin antimikrobiyal özellikleri disk difüzyon yöntemiyle incelenmiştir. *E.coli* için karanlık ve ışık altında inkübasyonda tüm konsantrasyonlarda film parçalarının olduğu  $1 \text{ cm}^2$  lik alanda üreme gözlenmemiştir. %0,1, %0,2 ve %0,3 ZnO içeren filmlerin bulunduğu besiyerlerinde *Aspergillus niger* için inhibisyon bölgesi çapı karanlıkta sırasıyla ortalama 12, 12 ve 17 mm iken ışık altında 12, 20 ve 27 mm olarak tespit edilmiştir. Bu değerler *Aspergillus niger* için ışık altında artan çinko oksit konsantrasyonuna bağlı olarak inhibisyon çapının arttığını göstermektedir.

Bu bağlamda geliştirilen %0,2 ve %0,3 çinko oksit katkılı filmlerin hedef mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal özelliklere sahip olması nedeniyle ilerleyen çalışmalarda gıda ürünlerinde yapılacak denemelerle gıdaların raf ömrü ve kalite özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Mohammadi, Z., Jafari, S. M., Detection of food spoilage and adulteration by novel nanomaterial-based sensors. *Adv. Colloid Interface Sci.* 2020, 286, 102297.
- [2] Atta, O. M., Manan, S., Shahzad, A., Ul-Islam, M., Ullah, M. W., Yang, G., Biobased materials for active food packaging: A review. *Food Hydrocoll.* 2022, 125, 107419.
- [3] Çelebi Sezer, Y., Bozkurt, H., Et ve et ürünlerinin üretimi ve saklanması antimikrobiyal ambalajlama sistemlerinin kullanımı. *Food Heal.* 2021, 7, 150–163.
- [4] Jafarzadeh, S., Salehabadi, A., Mohammadi Nafchi, A., Oladzadabbasabadi, N., Jafari, S. M., Cheese packaging by edible coatings and biodegradable nanocomposites; improvement in shelf life, physicochemical and sensory properties. *Trends Food Sci. Technol.* 2021, 116, 218–231.
- [5] Tapiola, T., Varho, V., Soini, K., Exploring visions and vision clusters of sustainable food packaging - The case of Finland. *Futures* 2023, 149, 103157.
- [6] Priyadarshi, R., Rhim, J. W., Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2020, 62, 102346.
- [7] Qu, B., Luo, Y., A review on the preparation and characterization of chitosan-clay nanocomposite films and coatings for food packaging applications. *Carbohydr. Polym. Technol. Appl.* 2021, 2, 100102.
- [8] Machado, É. F., Favarin, F. R., Ourique, A. F., The use of nanostructured films in the development of packaging for meat and meat products: A brief review of the literature. *Food Chem. Adv.* 2022, 1, DOI: 10.1016/j.focha.2022.100050.
- [9] Smaoui, S., Chérif, I., Ben Hlima, H., Khan, M. U., Rebezov, M., Thiruvengadam, M., Sarkar, T., Shariati, M. A., Lorenzo, J. M., Zinc oxide nanoparticles in meat packaging: A systematic review of recent literature. *Food Packag. Shelf Life* 2023, 36, DOI: 10.1016/j.fpsl.2023.101045.
- [10] Yurddaskal, M., Yildirim, S., Dikici, T., Yurddaskal, M., Erol, M., Aritman, I., Celik, E., Enhanced photocatalytic properties of Sn-doped ZnO nanoparticles by flame spray pyrolysis under UV light irradiation. *J. Turkish*

*Chem. Soc. Sect. A Chem.* 2018, 5, 15–22.

- [11] Qi, K., Cheng, B., Yu, J., Ho, W., Review on the improvement of the photocatalytic and antibacterial activities of ZnO. *J. Alloys Compd.* 2017, 727, 792–820.
- [12] Ma, Y., Yang, W., Xia, Y., Xue, W., Wu, H., Li, Z., Zhang, F., Qiu, B., Fu, C., Properties and Applications of Intelligent Packaging Indicators for Food Spoilage. *Membranes (Basel)*. 2022, 12, 1–17.
- [13] Barage, S., Lakkakula, J., Sharma, A., Roy, A., Alghamdi, S., Almeahmadi, M., Hossain, M. J., Allahyani, M., Abdulaziz, O., Nanomaterial in Food Packaging: A Comprehensive Review. *J. Nanomater.* 2022, 2022, 1–12.
- [14] Sharma, R., Jafari, S. M., Sharma, S., Antimicrobial bio-nanocomposites and their potential applications in food packaging. *Food Control* 2020, 112, 107086.
- [15] Majid, I., Ahmad Nayik, G., Mohammad Dar, S., Nanda, V., Novel food packaging technologies: Innovations and future prospective. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 2018, 17, 454–462.
- [16] Lamabam, S. D., Thangjam, R., Progress and Challenges of Nanotechnology in Food Engineering. *Impact Nanosci. Food Ind.* 2018, 87–112.
- [17] Roy, S., Rhim, J. W., Carboxymethyl cellulose-based antioxidant and antimicrobial active packaging film incorporated with curcumin and zinc oxide. *Int. J. Biol. Macromol.* 2020, 148, 666–676.
- [18] Amin, U., Khan, M. K. I., Maan, A. A., Nazir, A., Riaz, S., Khan, M. U., Sultan, M., Munekata, P. E. S., Lorenzo, J. M., Biodegradable active, intelligent, and smart packaging materials for food applications. *Food Packag. Shelf Life* 2022, 33, DOI: 10.1016/j.fpsl.2022.100903.
- [19] Jafarzadeh, S., Salehabadi, A., Mohammadi Nafchi, A., Oladzadabbasabadi, N., Jafari, S. M., Cheese packaging by edible coatings and biodegradable nanocomposites; improvement in shelf life, physicochemical and sensory properties. *Trends Food Sci. Technol.* 2021, 116, 218–231.
- [20] Ahmed, M. W., Haque, M. A., Mohibbullah, M., Khan, M. S. I., Islam, M. A., Mondal, M. H. T., Ahmmed, R., A review on active packaging for quality and safety of foods: Current trends, applications, prospects and challenges. *Food Packag. Shelf Life* 2022, 33, 100913.
- [21] Chen, S., Brahma, S., Mackay, J., Cao, C., Aliakbarian, B., The role of smart

- packaging system in food supply chain. *J. Food Sci.* 2020, 85, 517–525.
- [22] Zuo, J., Feng, J., Gameiro, M. G., Tian, Y., Liang, J., Wang, Y., Ding, J., He, Q., RFID-based sensing in smart packaging for food applications: A review. *Futur. Foods* 2022, 6, 100198.
- [23] Suresh, S., Chakaravarthi, G., RFID technology and its diverse applications: A brief exposition with a proposed Machine Learning approach. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 2022, 195, 111197.
- [24] Abo-Gabal, B., Bahnasawy, A., Khater, E., Effect of Edible Films Reinforced With Nanoparticles on Shelf-Life and Quality of Chicken Meat During Storage. *Misr J. Agric. Eng.* 2022, DOI: 10.21608/mjae.2022.111826.1060.
- [25] Cerqueira, M. A., Vicente, A. A., Pastrana, L. M., Nanotechnology in Food Packaging: Opportunities and Challenges. Elsevier Inc. 2018.
- [26] Bumbudsanpharoke, N., Choi, J., Ko, S., Applications of nanomaterials in food packaging. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 2015, 15, 6357–6372.
- [27] Yılmaz, T., in: Nergis, B., Bardak, S., Kayar, M., Mendi, A. (Eds.), Mühendislik Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler. Gece Kitaplığı 2021, pp. 147–160.
- [28] Primožič, M., Knez, Ž., Leitgeb, M., (Bio)nanotechnology in food science—food packaging. *Nanomaterials* 2021, 11, 1–31.
- [29] Sharma, C., Dhiman, R., Rokana, N., Panwar, H., Nanotechnology: An untapped resource for food packaging. *Front. Microbiol.* 2017, 8, DOI: 10.3389/fmicb.2017.01735.
- [30] Huang, Y., Mei, L., Chen, X., Wang, Q., Recent developments in food packaging based on nanomaterials. *Nanomaterials* 2018, 8, 1–29.
- [31] Uyarcan, M., Söbeli, C., Dağbağlı, S., Akpınar, A., Kayaardı, S., Gıda Ambalajlamada Nanoteknolojinin Kullanımı. *Plast. Ambal. Teknol.* 2019, 58–65.
- [32] Mihindukulasuriya, S. D. F., Lim, L. T., Nanotechnology development in food packaging: A review. *Trends Food Sci. Technol.* 2014, 40, 149–167.
- [33] Söğüt, E., Seydim, A. C., Biyobazlı Nanokompozitler Ve Gıda Ambalajlamadaki Uygulamaları. *Gıda / J. Food* 2017, 47, 821–833.
- [34] Çankaya, N., Sökmen, Ö., Kitosan-Kil Biyonanokompozitleri. *J. Polytech.* 2016, 19, 283–295.
- [35] Youssef, A. M., El-Sayed, S. M., Salama, H. H., El-Sayed, H. S., Dufresne,

- A., Evaluation of bionanocomposites as packaging material on properties of soft white cheese during storage period. *Carbohydr. Polym.* 2015, 132, 274–285.
- [36] Dursun, S., Erkan, N., Yeşiltaş, M., Doğal biyopolimer bazlı (Biyobozunur) nanokompozit filmler ve su ürünlerindeki uygulamaları. *J. Fish. Sci.* 2010, 4, 50–77.
- [37] Chen, Y., Cao, X., Chang, P. R., Huneault, M. A., Comparative study on the films of poly(vinyl alcohol)/pea starch nanocrystals and poly(vinyl alcohol)/native pea starch. *Carbohydr. Polym.* 2008, 73, 8–17.
- [38] Chausali, N., Saxena, J., Prasad, R., Recent trends in nanotechnology applications of bio-based packaging. *J. Agric. Food Res.* 2022, 7, 100257.
- [39] Lindström, T., Österberg, F., Evolution of biobased and nanotechnology packaging - A review. *Nord. Pulp Pap. Res. J.* 2020, 35, 491–515.
- [40] Kuswandi, B., Nanoscience in Food and Agriculture. 2016, pp. 151–183.
- [41] Fortunati, E., Luzi, F., Yang, W., Kenny, J. M., Torre, L., Puglia, D., Bio-Based Nanocomposites in Food Packaging. 2018.
- [42] Kılınç, M., Tomar, O., Çağlar, A., Biodegradable Food Packaging Materials. *Afyon Kocatepe Univ. J. Sci. Eng.* 2017, 17, 988–996.
- [43] Kavas, E., Terzioğlu, P., Taş, M., Parın, F. N., Kuş, Ç., Küçükaydın, S., Duru, M. E., Biberiye Ekstresi ve Kaolin İçeren Polivinil Alkol/Nişasta Aktif Kompozit Filmler: Yapısal, Mekanik ve Antioksidan Aktivite Özellikleri. 2020, 3, 121–129.
- [44] Karabaş, E., Yılmaz, T., Yuddaşkal, M., Bozatlı, S. B., in: Bağdatlıoğlu, N. (Ed.), Sürdürülebilir Gıda Sistemleri Üzerine Araştırmalar. 2022, pp. 402–410.
- [45] Onyeaka, H., Passaretti, P., Miri, T., Al-Sharify, Z. T., The safety of nanomaterials in food production and packaging. *Curr. Res. Food Sci.* 2022, 5, 763–774.
- [46] Dey, A., Pandey, G., Rawtani, D., Functionalized nanomaterials driven antimicrobial food packaging: A technological advancement in food science. *Food Control* 2022, 131, DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108469.
- [47] Garcia, C. V., Shin, G. H., Kim, J. T., Metal oxide-based nanocomposites in food packaging: Applications, migration, and regulations. *Trends Food Sci. Technol.* 2018, 82, 21–31.

- [48] Omerović, N., Djisalov, M., Živojević, K., Mladenović, M., Vunduk, J., Milenković, I., Knežević, N., Gadjanski, I., Vidić, J., Antimicrobial nanoparticles and biodegradable polymer composites for active food packaging applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2021, 20, 2428–2454.
- [49] Ashfaq, A., Khursheed, N., Fatima, S., Anjum, Z., Younis, K., Application of nanotechnology in food packaging: Pros and Cons. *J. Agric. Food Res.* 2022, 7, 100270.
- [50] Erazo, A., Mosquera, S. A., Rodríguez-Paéz, J. E., Synthesis of ZnO nanoparticles with different morphology: Study of their antifungal effect on strains of *Aspergillus niger* and *Botrytis cinerea*. *Mater. Chem. Phys.* 2019, 234, 172–184.
- [51] Ozdemir, E. T., Kartal, U., Dikici, T., Erol, M., Yurddaskal, M., A comparative study on structural, morphological and photocatalytic properties of anodically grown ZnO nanowires under varying parameters. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 2021, 32, 27398–27408.
- [52] Sun, Y., Zhang, W., Li, Q., Liu, H., Wang, X., Preparations and applications of zinc oxide based photocatalytic materials. *Adv. Sens. Energy Mater.* 2023, 2.
- [53] Ahmad, R., Ahmad, Z., Khan, A. U., Mastoi, N. R., Aslam, M., Kim, J., Photocatalytic systems as an advanced environmental remediation: Recent developments, limitations and new avenues for applications. *J. Environ. Chem. Eng.* 2016, 4, 4143–4164.
- [54] Noman, M. T., Amor, N., Petru, M., Mahmood, A., Kejzlar, P., Photocatalytic behaviour of zinc oxide nanostructures on surface activation of polymeric fibres. *Polymers (Basel)*. 2021, 13, DOI: 10.3390/polym13081227.
- [55] Sirelkhatim, A., Mahmud, S., Seeni, A., Kaus, N. H. M., Ann, L. C., Bakhori, S. K. M., Hasan, H., Mohamad, D., Review on zinc oxide nanoparticles: Antibacterial activity and toxicity mechanism. *Nano-Micro Lett.* 2015, 7, 219–242.
- [56] Yemmireddy, V. K., Hung, Y. C., Using Photocatalyst Metal Oxides as Antimicrobial Surface Coatings to Ensure Food Safety—Opportunities and Challenges. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2017, 16, 617–631.
- [57] Youssef, A. M., El-Sayed, S. M., El-Sayed, H. S., Salama, H. H., Dufresne,

- A., Enhancement of Egyptian soft white cheese shelf life using a novel chitosan/carboxymethyl cellulose/zinc oxide bionanocomposite film. *Carbohydr. Polym.* 2016, 151, 9–19.
- [58] Ahmadi, A., Ahmadi, P., Ehsani, A., Development of an active packaging system containing zinc oxide nanoparticles for the extension of chicken fillet shelf life. *Food Sci. Nutr.* 2020, 8, 5461–5473.
- [59] Motelica, L., Fikai, D., Oprea, O., Fikai, A., Trusca, R. D., Andronescu, E., Holban, A. M., Biodegradable alginate films with zno nanoparticles and citronella essential oil-a novel antimicrobial structure. *Pharmaceutics* 2021, 13, DOI: 10.3390/pharmaceutics13071020.
- [60] Akbar, A., Anal, A. K., Zinc oxide nanoparticles loaded active packaging, a challenge study against *Salmonella typhimurium* and *Staphylococcus aureus* in ready-to-eat poultry meat. *Food Control* 2014, 38, 88–95.
- [61] Marcous, A., Rasouli, S., Ardestani, F., Low-density Polyethylene Films Loaded by Titanium Dioxide and Zinc Oxide Nanoparticles as a New Active Packaging System against *Escherichia coli* O157:H7 in Fresh Calf Minced Meat. *Packag. Technol. Sci.* 2017, DOI: 10.1002/pts.
- [62] Priyadarshi, R., Kim, S. M., Rhim, J. W., Carboxymethyl cellulose-based multifunctional film combined with zinc oxide nanoparticles and grape seed extract for the preservation of high-fat meat products. *Sustain. Mater. Technol.* 2021, 29, e00325.
- [63] Amjadi, S., Emaminia, S., Nazari, M., Davudian, S. H., Roufegarinejad, L., Hamishehkar, H., Application of Reinforced ZnO Nanoparticle-Incorporated Gelatin Bionanocomposite Film with Chitosan Nanofiber for Packaging of Chicken Fillet and Cheese as Food Models. *Food Bioprocess Technol.* 2019, 12, 1205–1219.
- [64] Morozov, I. G., Belousova, O. V., Ortega, D., Mafina, M. K., Kuznetsov, M. V., Structural, optical, XPS and magnetic properties of Zn particles capped by ZnO nanoparticles. *J. Alloys Compd.* 2015, 633, 237–245.
- [65] Toru-Altın, E., Havasal Aerob Endospor Oluşturan Basillerin İzolasyonu ve Bazı Özelliklerinin Araştırılması, Dumlupınar Üniversitesi, 2017.
- [66] Al-Nabulsi, A., Osaili, T., Sawalha, A., Olaimat, A. N., Albiss, B. A., Mehyar, G., Ayyash, M., Holley, R., Antimicrobial activity of chitosan coating containing ZnO nanoparticles against *E. coli* O157:H7 on the surface of white

- brined cheese. *Int. J. Food Microbiol.* 2020, 334, 108838.
- [67] Kirci, N. B., Evaluation Of Edible Films with Palmarosa Oil As Active Food Packaging For Kashar Cheese, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2020.
- [68] Rezaei, M., Pirs, S., Chavoshizadeh, S., Photocatalytic/Antimicrobial Active Film Based on Wheat Gluten/ZnO Nanoparticles. *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.* 2020, 30, 2654–2665.
- [69] Demirci, S., Dikici, T., Yurddaskal, M., Gultekin, S., Toparli, M., Celik, E., Synthesis and characterization of Ag doped TiO<sub>2</sub> heterojunction films and their photocatalytic performances. *Appl. Surf. Sci.* 2016, 390, 591–601.
- [70] Yılmaz, T., Bitkisel Ürünlerden Polisakkarit Ekstraksiyonunda Ultrason Kullanımının Optimizasyonu, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, 2015.
- [71] Chemingui, H., Missaoui, T., Chekir Mzali, J., Yildiz, T., Konyar, M., Smiri, M., Saidi, N., Hafiane, A., Yatmaz, H. C., Facile green synthesis of Zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs): Antibacterial and photocatalytic activities. *Mater. Res. Express* 2019, 0–33.
- [72] Hoseinzadeh, E., Alikhani, M. Y., Samarghandi, M. R., Shirzad-Siboni, M., Antimicrobial potential of synthesized zinc oxide nanoparticles against gram positive and gram negative bacteria. *Desalin. Water Treat.* 2014, 52, 4969–4976.
- [73] Singh, P., Nanda, A., Antimicrobial and antifungal potential of zinc oxide nanoparticles in comparison to conventional zinc oxide particles. *J. Chem. Pharm. Res.* 2013, 5, 457–463.
- [74] Jamdagni, P., Khatri, P., Rana, J. S., Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using flower extract of *Nyctanthes arbor-tristis* and their antifungal activity. *J. King Saud Univ. - Sci.* 2018, 30, 168–175.
- [75] Keniş, Y., Biyokütle Hidrolizatlarının Düşük Sıcaklık-Buhar Fazında Katalitik Gazlaştırılması, Çukurova Üniversitesi, 2016.
- [76] Noshirvani, N., Ghanbarzadeh, B., Mokarram, R. R., Hashemi, M., Coma, V., Preparation and characterization of active emulsified films based on chitosan-carboxymethyl cellulose containing zinc oxide nano particles. *Int. J. Biol. Macromol.* 2017, 99, 530–538.
- [77] Doluel, E. C., Kartal, U., Dikici, T., Yurddaskal, M., Effect of Ag Content on Photocatalytic Activity of Ag@TiO<sub>2</sub>/rGO Hybrid Photocatalysts. *J. Electron. Mater.* 2020, 49, 3849–3859.

- [78] Velanganni, S., Pravinraj, S., Immanuel, P., Thiruneelakandan, R., *Physica B : Condensed Matter Nanostructure CdS / ZnO heterojunction configuration for photocatalytic degradation of Methylene blue. Phys. B Phys. Condens. Matter* 2018, 534, 56–62.
- [79] Sani, I. K., Pirsä, S., Tağı, Ş., Preparation of chitosan/zinc oxide/Melissa officinalis essential oil nano-composite film and evaluation of physical, mechanical and antimicrobial properties by response surface method. *Polym. Test.* 2019, 79, DOI: 10.1016/j.polymertesting.2019.106004.
- [80] Rahman, P. M., Mujeeb, V. M. A., Muraleedharan, K., Flexible chitosan-nano ZnO antimicrobial pouches as a new material for extending the shelf life of raw meat. *Int. J. Biol. Macromol.* 2017, 97, 382–391.
- [81] Albukhaty, S., Al-Karagoly, H., Dragh, M. A., Synthesis of zinc oxide nanoparticles and evaluated its activity against bacterial isolates. *J. Biotech Res.* 2020, 11, 47–53.
- [82] Narayanan, P. M., Wilson, W. S., Abraham, A. T., Sevanan, M., Synthesis, Characterization, and Antimicrobial Activity of Zinc Oxide Nanoparticles Against Human Pathogens. *Bionanoscience* 2012, 2, 329–335.

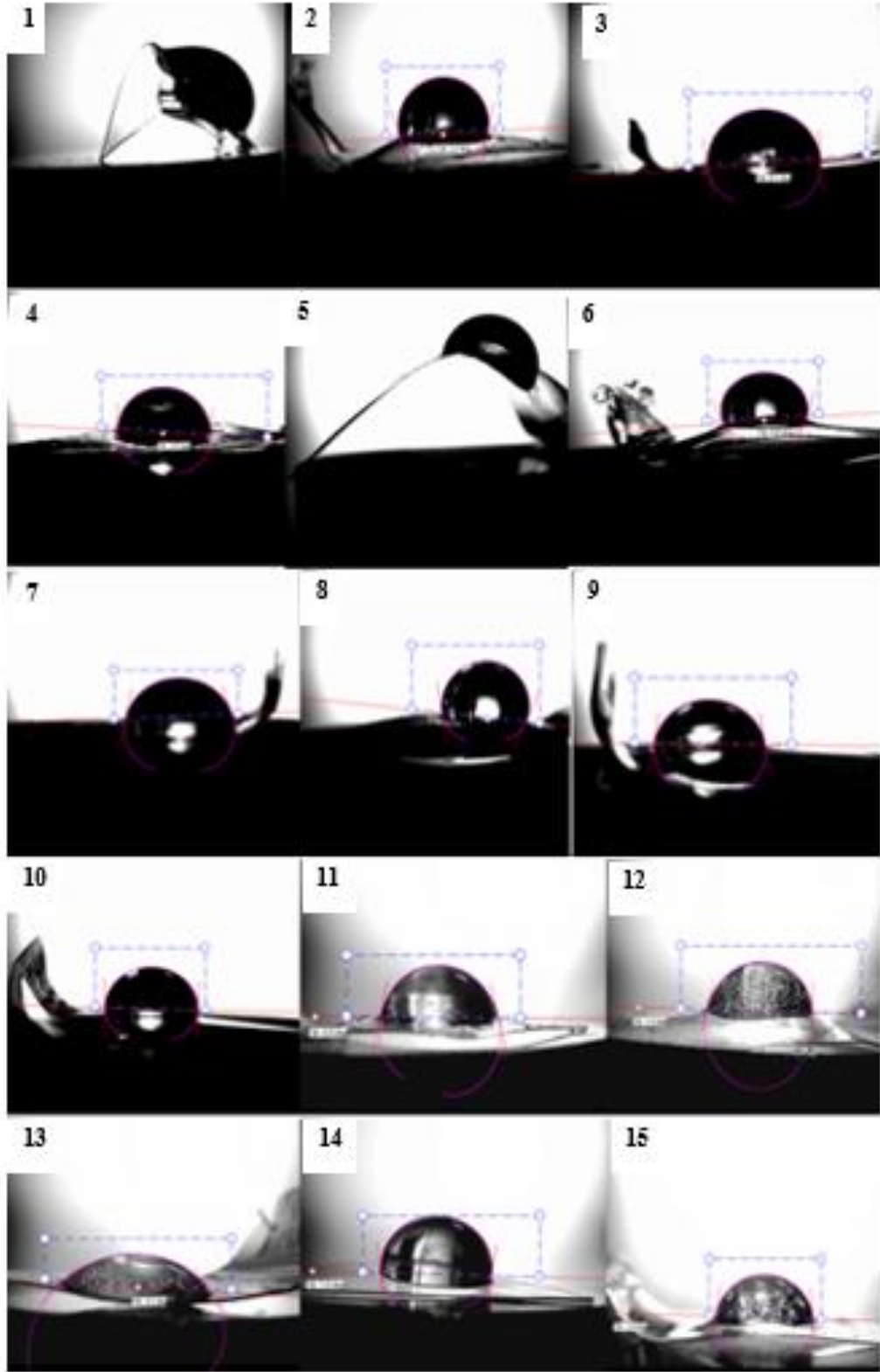
## EKLER

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Ek Tablo 1 Deneme Desenine Ait Sonuçlar.....                  | 77 |
| Ek Şekil 1 Filmlerin Temas Açısı Ölçümlerine Ait Görsel ..... | 71 |
| Ek Şekil 2 %0,1 ZnO içeren filmin FT-IR spektrumu.....        | 72 |
| Ek Şekil 3 %0,3 ZnO içeren filmin FT-IR spektrumu.....        | 72 |

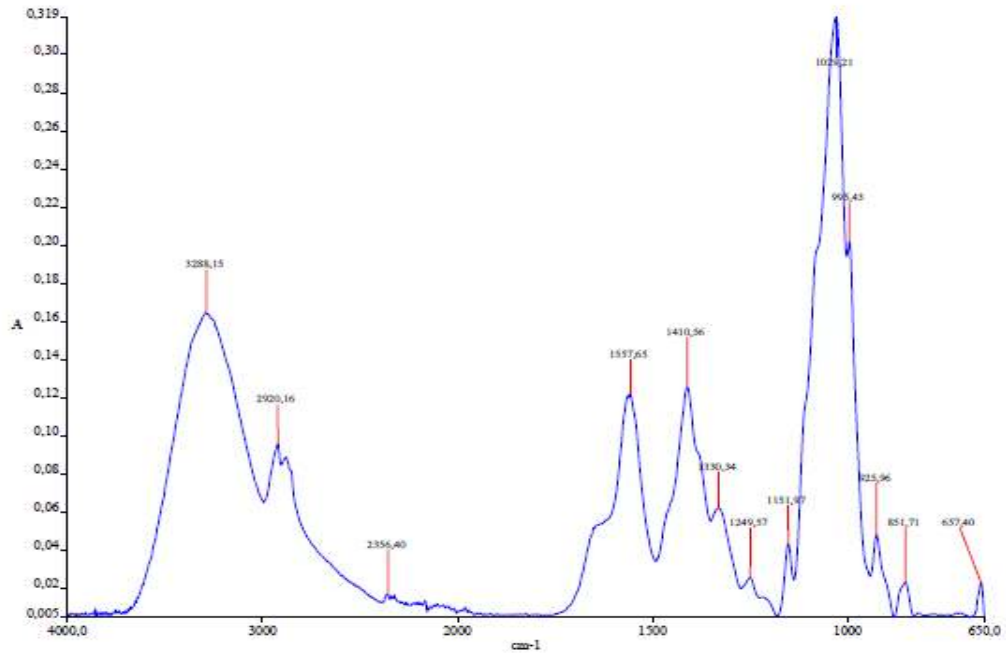


**Ek Tablo 1** Deneme Desenine Ait Sonuçlar

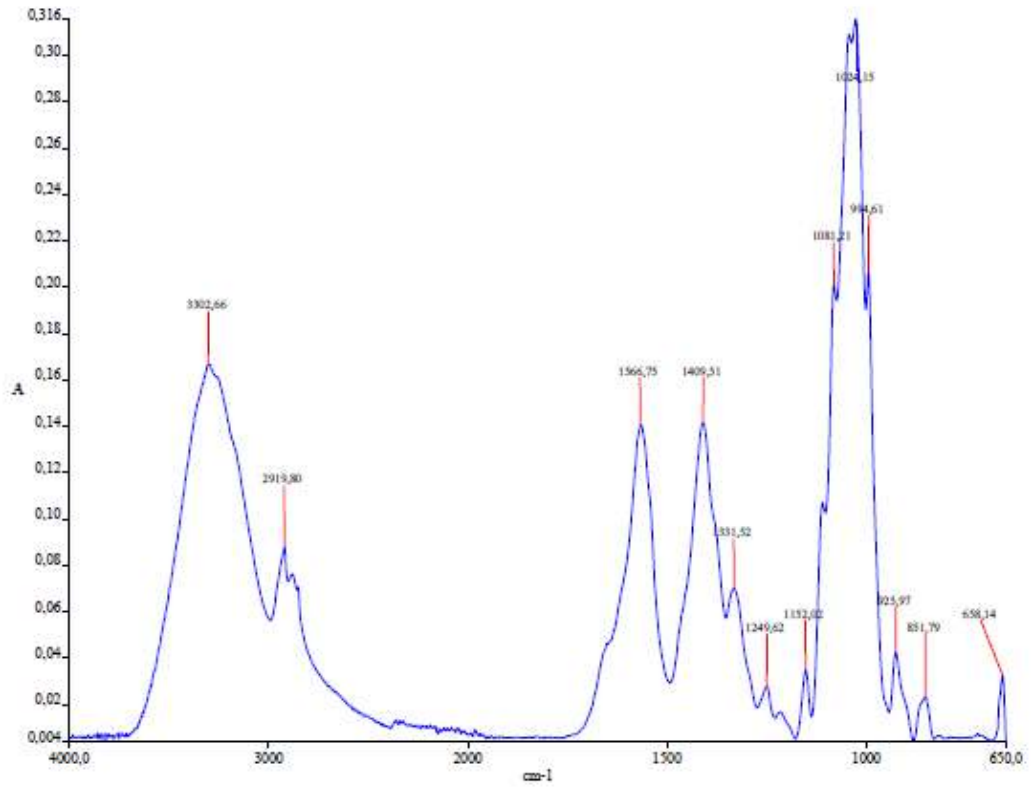
| Deneme | ZnO (%) | Kitosan (%) | Dökme Hacmi (ml) | Film Kalınlığı (mm) | Nem Miktarı (%) | Nem Absorblama (%) | L* Değeri | Maliyet (TL) | Temas Açısı (°) |
|--------|---------|-------------|------------------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------|--------------|-----------------|
| 1      | 0,1     | 1,5         | 15               | 0,074               | 26,74           | 75,92              | 11,02     | 6,19         | 89,31           |
| 2      | 0,2     | 2           | 15               | 0,069               | 18,64           | 113,17             | 7,33      | 8,41         | 85,61           |
| 3      | 0,2     | 1           | 15               | 0,058               | 30,41           | 66,84              | 13,76     | 4,47         | 95,36           |
| 4      | 0,3     | 1,5         | 15               | 0,065               | 16,84           | 145,82             | 12,82     | 6,69         | 92,77           |
| 5      | 0,1     | 2           | 20               | 0,097               | 29,19           | 92,39              | 9,34      | 6,12         | 83,67           |
| 6      | 0,1     | 1           | 20               | 0,077               | 34,31           | 61,99              | 17,17     | 3,17         | 92,7            |
| 7      | 0,2     | 1,5         | 20               | 0,093               | 17,28           | 106,01             | 15,8      | 4,83         | 89,06           |
| 8      | 0,2     | 1,5         | 20               | 0,079               | 16,68           | 103,51             | 15,55     | 4,83         | 88,53           |
| 9      | 0,2     | 1,5         | 20               | 0,078               | 16,07           | 101                | 15,29     | 4,83         | 88              |
| 10     | 0,3     | 1           | 20               | 0,08                | 15,35           | 135,08             | 24,56     | 3,54         | 95,95           |
| 11     | 0,3     | 2           | 20               | 0,091               | 10,13           | 174,95             | 13,51     | 6,49         | 82,35           |
| 12     | 0,1     | 1,5         | 25               | 0,103               | 30              | 73,62              | 23,08     | 3,71         | 87,07           |
| 13     | 0,2     | 2           | 25               | 0,102               | 18,79           | 127,03             | 17,73     | 5,04         | 80,44           |
| 14     | 0,2     | 1           | 25               | 0,096               | 30,04           | 129,52             | 24,78     | 2,68         | 93,89           |
| 15     | 0,3     | 1,5         | 25               | 0,105               | 15,93           | 160,8              | 22,23     | 4,01         | 87,91           |



Ek Şekil 1 Filmlerin Temas Açısı Ölçümlerine Ait Görsel



**Ek Şekil 2** %0,1 ZnO içeren filmin FT-IR spektrumu



**Ek Şekil 3** %0,3 ZnO içeren filmin FT-IR spektrumu

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı: Elif KARABAŞ  
Medeni Hali: Bekâr  
Yabancı Dili: İngilizce

### Eğitim Durumu

Lisans: Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 2015-2019.  
Yüksek Lisans: Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Teknolojisi Bilim Dalı, 2021- Halen

### Mesleki Deneyim

Kurum Bilgisi: Yonca Gıda Sanayi İç ve Dış Ticaret A.Ş. Bitkisel Yağ İşletmeleri, Stajyer Gıda Mühendisi, Temmuz-Ağustos, 2017  
Kurum Bilgisi: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Manisa Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Stajyer Gıda Mühendisi, Temmuz-Ağustos, 2018

### Yayınlar

#### Özet Bildiri

1. Aydar A.Y., Yılmaz T., Özçelik, M., Aydın T., **Karabaş, E.**, Optimization The Freeze Drying Conditions Of Olive Seeds, Proceedings of TheIIER International Conference, 25th – 26th August 2022, Paris, France, 18.
2. Aydar A.Y., Yılmaz T., Özçelik M., Aydın T., **Karabaş E.** Optimization the Freeze Drying Conditions of Olive Seeds Obtained from Domat Variety in Türkiye. International conference Journées Chevreul. 18-20 January 2023, Paris.

#### Kitap Bölümü

1. **Karabaş,E.** , Yılmaz, T., Yurddaşkal, M., Bozatlı, S.B., Gıda Ambalajlarında Nanoteknoloji Uygulamaları, Sürdürülebilir Gıda Sistemleri Üzerine Araştırmalar, 2022, 402-410.