

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKRO/NANO BOR NİTRÜR İLAVELİ POLİLAKTİK ASİT (PLA)
KOMPOZİT FİLMLEİN GELİŞTİRİLMESİ,
KARAKTERİZASYONU VE GIDA VALİDASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlknur ARA

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

ŞUBAT 2023

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKRO/NANO BOR NİTRÜR İLAVELİ POLİLAKTİK ASİT (PLA)
KOMPOZİT FİMLERİN GELİŞTİRİLMESİ,
KARAKTERİZASYONU VE GIDA VALİDASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlknur ARA

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Zehra AYHAN

ŞUBAT 2023

İlknur Ara tarafından hazırlanan “Mikro/Nano Bor Nitrür İlaveli Polilaktik Asit (PLA) Kompozit Filmlerin Geliştirilmesi, Karakterizasyonu ve Gıda Validasyonu” adlı tez çalışması 03.02.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof. Dr. Zehra AYHAN (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof. Dr. Abdil ÖZDEMİR**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr. Öğr. Üyesi Süleyman POLAT**
Çukurova Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “MİKRO/NANO BOR NİTRÜR İLAVELİ POLİLAKTİK ASİT (PLA) KOMPOZİT FİLMLEİN GELİŞTİRİLMESİ, KARAKTERİZASYONU VE GIDA VALİDASYONU” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(22/02/2023).

İlknur ARA

Beni her zaman destekleyen canım aileme..

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Zehra AYHAN'a teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans savunma jürimde yer alan Prof. Dr. Abdil ÖZDEMİR'e ve Dr. Öğr. Üyesi Süleyman POLAT'a değerli katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Güliz HASKARACA'ya ve laboratuvar ekip arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Genel Araştırma Projeleri-B-(GAP B)-Proje No: 2020-9-33-105) teşekkür ederim.

İlknur ARA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Literatür Araştırması	3
1.2.1. Polilaktik asit (PLA)	5
1.2.2. Bor nitür	6
1.2.3. PLA matrisli filmlere farklı dolgular eklenen çalışmalar	6
1.2.4. Polimer matrisli filmlere bor nitür dolgusu eklenen çalışmalar	8
1.3. Hipotez	10
2. MATERYAL VE YÖNTEM	11
2.1. Materyal	11
2.2. PLA/BN ve PLA/NBN Filmleri Hazırlama	11
2.3. Fiziksel Analizler (Kalınlık ve Renk Ölçümü)	12
2.4. Mekanik Analizler (Gerilme Mukavemeti, Kopma Anındaki Uzama Oranı, Isıl Yapışma Mukavemeti)	12
2.5. Su Buharı Bariyer Testi (WVTR)	14
2.6. Antimikrobiyal Aktivite Testi	15
2.7. Morfolojik Analiz (FE-SEM)	16
2.8. Raf Ömrü Çalışması	16
2.8.1. Ambalaj üretim yöntemi	16
2.8.2. Renk ölçümü	17
2.8.3. pH ölçümü	18
2.8.4. Nem içeriği (%)	18
2.8.5. Mikrobiyolojik analiz	18
2.8.6. Duyusal değerlendirme	19
2.8.7. İstatistiksel analiz	19
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	21
3.1. Fiziksel Özellikler (Renk ve Kalınlık)	21
3.2. Mekanik Özellikler (Gerilme Mukavemeti, Kopma Anındaki Uzama Oranı, Isıl Yapışma Mukavemeti)	23
3.3. Su Buharı Bariyer Özelliği	28
3.4. Antimikrobiyal Aktivite	29
3.5. Morfolojik Özellikler	31

3.6. Raf ömrü.....	35
3.6.1. Renk	35
3.6.2. pH.....	36
3.6.3. Nem içeriği (%).....	37
3.6.4. Toplam mezofilik bakteri (TMB).....	38
3.6.5. Duyusal değerlendirme	39
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	41
KAYNAKLAR.....	43
EKLER.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	55

KISALTMALAR

BN	: Bor nitrür
CIE	: Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
DMF	: Dimetil formamid
EAB	: Kopma anında uzama oranı
FE-SEM	: Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu
hBN	: Altıgen bor nitrür
MAP	: Modifiye atmosfer paketlenme
MgO	: Magnezyum oksit
NBN	: Nano bor nitrür
PEG 400	: Polietilen glikol 400
PLA	: Polilaktik asit
PVA	: Polivinil alkol
TLC	: İnce cam plaka
TMAB	: Toplam mezofilik aerobik bakteri
TS	: Gerilme mukavemeti
ZnO	: Çinko oksit

SİMGELER

ml	: Sıvı ölçü birimi [mililitre]
MPa	: Basınç birimi [megapascal]
nm	: Uzunluk birimi [nanometre]
μm	: Uzunluk birimi [mikrometre]
mm	: Uzunluk birimi [milimetre]
g	: Kütle birimi [gram]
m^2	: Alan ölçü birimi [metrekare]
kV	: Elektrik ölçü birimi [kilovolt]

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Bor nitrür içeren filmler için deneme planı.....	12
Tablo 3.1. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin renk ve kalınlık özelliklerine etkisi.	21
Tablo 3.2. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin mekanik özelliklerine (gerilme mukavemeti ve kopma anında uzama oranı) etkisi.	26
Tablo 3.3. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin ısıl yapışma sonuçları... ..	27
Tablo 3.4. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin ısıl yapışma mukavemeti.	28
Tablo 3.5. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin su buharı geçiş hızına (WVTR) etkisi.....	29
Tablo 3.6. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin antimikrobiyal aktivitesi.	30
Tablo 3.7. Kontrol PLA, %1 mikro ve %1 nano bor nitrür (BN) filmlerin genel özellikleri.....	35
Tablo 3.8. Kontrol PLA, PLA/BN ve PLA/NBN’de ambalajlanan tavuk etinin depolama süresince renk özellikleri.	36
Tablo 3.9. Kontrol PLA, PLA/BN ve PLA/NBN’de ambalajlanan tavuk etinin depolama süresince pH değeri.	37
Tablo 3.10. Kontrol PLA, PLA/BN ve PLA/NBN’de ambalajlanan tavuk etinin depolama süresince nem (%) içeriği.	37
Tablo 3.11. Kontrol PLA, PLA/BN ve PLA/NBN de ambalajlanan tavuk etinin toplam mezofilik bakteri sayısı (log kob/g).	39
Tablo 3.12. Kontrol PLA, PLA/BN ve PLA/NBN’de ambalajlanan tavuk etinin depolama süresince duyuşal özellikleri ve genel beğenisi.	40

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Isıl yapışma mukavemeti test düzeneği	14
Şekil 2.2. Su buharı geçiş hızı (WVTR) ölçümü için hazırlanan örnek	15
Şekil 2.3. Disk difüzyon yöntemine göre hazırlanan örnekler.....	16
Şekil 2.4. Kontrol PLA ve %1 mikro bor nitrür içeren PLA esaslı torba ambalaj örnekleri	17
Şekil 2.5. MAP ambalajlı tavuk örneği.....	17
Şekil 3.1. Mikro/nano bor nitrür konsantrasyonunun filmlerin toplam renk değişimine (ΔE) etkisi	22
Şekil 3.2. Mikro/nano bor nitrür konsantrasyonunun filmlerin kalınlığına (μm) etkisi	22
Şekil 3.3. Kontrol PLA ve PLA/mikro bor nitrür kompozit filmler	23
Şekil 3.4. Kontrol PLA ve PLA/nano bor nitrür kompozit filmler	23
Şekil 3.5. Mikro/nano bor nitrür konsantrasyonunun PLA filmlerin gerilme mukavemetine etkisi.....	26
Şekil 3.6. Mikro/nano bor nitrür konsantrasyonunun PLA filmlerin kopma anında uzama oranı (%) özelliğine etkisi.....	27
Şekil 3.7. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin <i>S. aureus</i> 'a etkisi	31
Şekil 3.8. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin <i>E. coli</i> 'ye etkisi	31
Şekil 3.9. a) Kontrol, b) 1% BN, c) 3%BN, d) 5%BN, e) 7%BN, f) 10%BN filmlerin FE-SEM görüntüleri.....	32
Şekil 3.10. a) kontrol b) 1%NBN, c) 3%NBN, d) 5%NBN, e) 7%NBN, f) 10%NBN filmlerin FE-SEM görüntüleri.....	33
Şekil 3.11. Tavukların depolama süresince toplam mezofilik bakteri değerleri.....	39

MİKRO/NANO BOR NİTRÜR İLAVELİ POLİLAKTİK ASİT (PLA) KOMPOZİT FİMLERİN GELİŞTİRİLMESİ, KARAKTERİZASYONU VE GIDA VALİDASYONU

ÖZET

Bu tez kapsamında bir biyopolimer olan Polilaktik asite (PLA) mikro ve nano bor nitrür ilave edilerek kompozit filmler geliştirilmesi ve karakterizasyonu amaçlanmıştır. PLA matrisine % 1, 3, 5, 7, 10 (w/w) oranlarında nano ve mikro bor nitrür ve plastikleştirici (PEG 400) ilave edilerek ve çözelti dökme yöntemiyle kompozit filmler hazırlanmış ve 75°C'de 30 dakika kurutulmuştur. Elde edilen filmler fiziksel (renk ve kalınlık ölçümü), mekanik (gerilme mukavemeti, kopma anındaki uzama oranı ve ısıl yapışma mukavemeti), bariyer (su buharı geçiş hızı, WVTR), antimikrobiyal aktivite ve morfolojik (FE-SEM) özellikler açısından analiz edilmiştir. Özellikle, mekanik, ısıl yapışma ve bariyer özellikler dikkate alınarak seçilen filmler tavuk etinde raf ömrünü belirlemek için kullanılmıştır. Torba ambalaj haline getirilen mikro/nano PLA ambalajlarda MAP altında (%40 CO₂ ve %60 N₂) hazırlanan tavuk eti 4±1°C'de 8 gün depolanmış ve renk, pH, nem, toplam mezofilik bakteri ve duyuşal değerlendirme analizleri yapılmıştır.

Çözelti dökme yöntemiyle hazırlanan tüm filmler homojen dağılım ve yüzeyden parçalanmadan soyulabilirlik göstermiştir. PLA matrisine eklenen mikro/nano bor nitrür oranı artıka transparanlık azalmış, beyazlık artmıştır. Mekanik özellikler açısından incelendiğinde kontrol PLA filmine kıyasla %1 ve %3 mikro bor nitrür ilave edilmesi gerilme mukavemetini %28 ve %11 oranında, %1 ve %3 nano bor nitrür ilavesi gerilme mukavemetini %40 ve %20 oranında arttırmıştır. Ancak %3 üzerinde mikro/nano bor nitrür ilavesi gerilme mukavemetinde azalmaya neden olmuştur. Kontrol filmine kıyasla %1 mikro/nano bor nitrür içeren filmlerin kopma anındaki uzama oranı artarken %1 üzerinde ilave edilen oranlarda kopma anındaki uzama oranı azalmıştır. Kontrol, %1, %3 nano ve mikro bor nitrür içeren PLA filmler ısıl olarak yapıştırabilmiştir. Diğer filmlerde ise ısıl yapışma zayıf olduğundan sızıntı tespit edilmiştir. Isıl yapışma mukavemeti açısından incelendiğinde kontrol PLA filmi 207,33 N/m, %1 mikro bor nitrür içeren film 285,33 N/m ve %1 nano bor nitrür içeren film ise 305,22 N/m göstermiştir. PLA matrisine %1 nano bor nitrür eklendiğinde filmlerin su buharı geçiş hızı %52 oranında azalmıştır. Mikro ve nano bor nitrür içeren filmlerde disk difüzyon yöntemine göre antimikrobiyal aktivite tespit edilmemiştir. FE-SEM ile incelenen morfolojik yapıda katkısız PLA'nın homojen ve pürüzsüz olduğu tespit edilmiştir. %1 ve %3 oranlarında mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerde homojen ve pürüzsüz yapı korunmuştur. %5 ve daha fazla bor nitrür eklenen filmlerde aglomerasyon gözlenmiştir. Nano bor nitrür içeren PLA filmlerin mikro bor nitrür içeren filmlere kıyasla mekanik, bariyer ve morfolojik özellikler bakımından daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Raf ömrü çalışmasında kontrol PLA, %1 mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmler kullanılmıştır. Tavuk etlerinin 4. güne kadar karakteristik pembe rengini koruduğu tespit edilmiştir. Toplam mezofilik bakteri sayısı 6. günden sonra bozulma sınırına ulaşmıştır. Duyusal açıdan tüm tavuk etleri 4.

güne kadar kabul edilebilir düzeyde bulunmuştur. Sonuç olarak kontrol, %1 mikro ve nano bor nitrür dolgulu filmler 4 gün boyunca tavuğun tazeliğini korumuştur.

Tüm filmlerin fiziksel, mekanik, yapısal analiz sonuçları ve tavuğun raf ömrüne etkisi dikkate alındığında en uygun formülasyonun % 1 mikro ve nano bor nitrür içeren filmler olduğu belirlenmiştir. Mikrobiyolojik ve duyusal analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde kontrol PLA, %1 mikro ve nano PLA torbalarda ambalajlanan tavuk etlerinin raf ömrünün +4 °C'de %40 CO₂ ve %60 N₂ MAP koşullarında 4-5 günle sınırlı olduğu belirtilebilir.

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF MICRO/NANO BORON NITRIDE ADDED POLYLACTIC ACID (PLA) COMPOSITE FILMS AND FOOD VALIDATION

SUMMARY

The objective of this study was to development and characterization of composite polylactic acid (PLA) films incorporated with micro and nano boron nitride. For this purpose, film solutions were prepared by adding 1, 3, 5, 7, 10 % (w/w) micro and nano boron nitride using plasticizer (PEG 400) to PLA matrix. The films were produced by solvent casting method and dried at 75°C for 30 minutes. The obtained films were characterized for physical (color and thickness), mechanical (tensile strength, elongation at break and seal strength), barrier (water vapor transimission rate), antimicrobial activity and morphological structure. The selected films (control PLA, PLA with 1% micro and nano boron nitride) were used to package chicken meat under MAP (40% CO₂ and 60% N₂) and packaged products were stored at 4±1°C for 8 days for shelf life study.

5% (w/w) PLA solution was prepared using chloroform as the solvent. 10% plasticizer (PEG 400) was added to the solution. Micro/nano boron nitride at 1, 3, 5, 7 and 10% was dissolved with dimethylformamide (DMF). The solutions were mixed with a magnetic stirrer at 60°C for 12 hours at 700 rpm. All films prepared by solvent casting method showed homogeneous and smooth distribution with very good film forming property, as well as easy peelability from the glass petri dishes. The polymer solution prepared in the same way to be used for shelf life analyzes was poured into 20x20 cm glass plates with a thickness of 500 µm. Petri dishes and plates were placed in an oven and dried at 75°C for 30 minutes. After 30 minutes, the films were removed from the oven, peeled from the plates, and placed in an environment of 50±5% relative humidity at 23±2°C.

According to color analysis L*, a*, b* increased as the micro/nano boron nitride concentration increased compared to the control PLA films. Increase in micro and nano boron nitride concentration increased ΔE of the PLA composite films, however, there was no significant difference between ΔE values of PLA films with the same concentration of micro and nano boron nitride except PLA films with 3% micro and nano boron nitride. As micro/nano boron nitride concentration increased in PLA matrix films transparency decreased, the whiteness and thickness increased compared to the control films.

Mechanical properties as tensile strength and elongation at break were significantly affected by the micro/nano boron nitride concentration. In terms of tensile strength (MPa) in micro boron nitride (BN) films, the highest value was obtained in 1% micro boron nitride added film with 42.12 MPa, and the lowest value was obtained in 19.57 MPa in 10% micro boron nitride added film. Compared to the control PLA films, the tensile strength of 1% and 3% micro BN-PLA films increased by 28%, and 11%, respectively. However, decrease in tensile strength was observed after 5% micro BN

concentration. For PLA films incorporated with nano boron nitride, the highest tensile strength (MPa) was 46.06 MPa for 1% nano boron nitride added films and the lowest value was 23.15 MPa for 10% nano boron nitride added films. Compared to the control films, 1% nano BN increased tensile strength by 40%, and 3% nano BN increased by 20%, while a decrease in tensile strength was observed after 5% nano BN concentration.

In terms of the elongation at break (%), the highest values were 2.83% for control PLA film, 2.81% for 1% micro BN and 2.92% for 1% nano BN added films, while the lowest value is 1.59% for 10% micro boron nitride film. However, there was no statistical difference between control PLA films and PLA with 1% micro and nano boron nitride. Elongation or the flexibility of the composite PLA films decreased as the boron nitride concentration was higher than 3%. Adding higher than 3% micro/nano boron nitride did not make a statistical difference in terms of elongation at break comparing to control PLA films.

The produced control and composite PLA films were heat sealed at 100°C for 5, 10, 15 seconds and tested for heat seal integrity by dye penetration test using rhodamine B solution. Leakage was observed in all films sealed for 5 and 10 seconds at 100°C. Leakage was observed in the films containing 5%, 7%, 10% micro/nano boron nitride sealed at 100°C for 15 seconds. No leakage was observed in the control PLA, 1% and 3% micro/nano boron nitride, sealed at 100°C for 15 seconds and these films were used for shelf life study.

Control PLA, 1% BN, 3% BN, 1% NBN, 3% NBN films-heat-sealed at 100 °C for 15 seconds did not show any dye leakage in the sealed area. The highest heat seal strength was obtained as 305.22 N/m for 1% nano BN film. The lowest value was obtained with 153.78 N/m for 3% micro BN film. Compared to the control films, heat seal strength of the 1% nano BN film increased by 47.3% and the 1% micro BN film by 37.7%.

In terms of water vapor transmission rate (WVTR), the lowest value was obtained in the film with 1% nano BN, as 8.68 g/(m²/day), and the highest value was obtained in the control film with 13.23 g/(m²/day). The addition of 1% nano BN to the PLA matrix resulted in a significant reduction (52%) in the water vapor transmission rate. There is no significant difference between 1% and 3% micro BN and 3% nano BN added films. All results show that when micro/nano boron nitride is added to the PLA matrix, the water vapor transmission rate of the films can be reduced by up to 50% increasing the barrier property to water vapor which is important for food packaging.

Antimicrobial activity against *S. aureus* and *E. coli* was not detected by disk diffusion method in any of the films containing micro and nano boron nitride.

When the FE-SEM images of the films were examined, the surface roughness increased and homogeneity decreased in both dimensions with the addition of more than 3% boron nitride.

Considering all the analysis results, films containing control PLA films, PLA films with 1% micro/nano boron nitride were selected to determine the shelf life of chicken meat. The PLA films were converted to bags by heat sealing and chicken meat was packaged in the prepared bags under modified atmosphere packaging and stored at 4°C for 8 days. The packaged products were monitored for color, pH, moisture, total mesophilic bacteria and sensory analysis at cold storage at every two days.

L* values of chicken meats in control PLA films decreased significantly during storage ($p \leq 0.05$). L* values of chicken meats in BN films did not change significantly during storage days ($p > 0.05$). The L* values of the chicken meats in the NBN films decreased significantly after the 4th day of storage ($p \leq 0.05$). The a* values of the chickens in the control, micro BN and nano BN groups did not change significantly after the 4th day ($p > 0.05$). It explains that after the 4th day of storage, the characteristic light pink color of chicken meat turns red/brown. The b*(yellowness) values of the chicken meats in the control, micro BN and nano BN groups did not change significantly during entire storage ($p > 0.05$).

The pH value of chicken meat packaged in control PLA, PLA/BN and PLA/NBN slightly increased during storage.

The moisture content of chicken meat remained constant throughout the entire storage period. Although the chicken looked dried on the surface, it did not affect the overall moisture content of the product.

Total mesophilic bacterial count (TMB) of chicken breast increased during storage for all packaging groups. TMB reached critical limit of 6 log cfu/g in the 4th day for control PLA package and PLA package with micro BN, and 5th day for PLA packages with nano BN packages. All products were spoiled at storage of 6 days.

It was observed that chicken meats packaged with all three materials received acceptable scores until the end of the 4th day in terms of sensory qualities (appearance-color, smell, texture, taste) and overall acceptability. Although texture was acceptable on 6th day of storage for all packages, the other sensory attributes and overall acceptability were not acceptable for most of the applications.

Considering microbiological and sensory analysis, the suggested shelf life of chicken meat packaged with kontrol PLA, %1 mikro ve nano boron nitride incorporated PLA bags under MAP (40% CO₂ ve 60% N₂) at +4 °C was 4-5 days. Although the packaging films used were thinner than the petroleum based materials used in the commercial poultry packaging, they are still comparable in terms of shelf life.

In conclusion, PLA based biocomposite materials containing boron nitride could be suggested as an alternative to petroleum-derived plastic for food packaging. In particular, nano boron nitride improved the mechanical and water vapor barrier properties of PLA. It has been determined that boron nitride added films can be used in MAP applications, which is very widely used food packaging technology. The use of biodegradable materials such as PLA, especially in products with a short shelf life such as chicken meat, will contribute to reducing waste management problems, which are a serious problem in terms of environmental pollution. PLA-boron nitride composite films could be further improved by incorporating active agents especially antimicrobial components to extend the shelf life of food products with a short shelf life and high economic value.

1. GİRİŞ

Petrol bazlı sentetik plastiklerle ilgili temel kaygı, toprak ve su kirliliğine neden olmasının yanı sıra sera gazları ve mikroplastikler gibi yan ürünler de üretmesidir (Robertson, 2008). Bunların yanı sıra atık sorununun giderek artması, plastiklerin geri dönüşümünün çok düşük düzeylerde olması, petrol kaynaklarının sınırlanması gibi birçok nedenle petrol türevi mazemelere alternatif olabilecek biyobozunur çevre dostu malzemelere/polimerlere olan ilgi artmaktadır. AB parlamentosu bazı plastik ürünleri azaltma önerilerini onaylamıştır ve 2030 yılına kadar %100 tekrar kullanılabilir veya geri dönüştürülmüş plastikten ambalaj ürünleri geliştirme hedefini belirlemiştir (Foschi ve Bonoli, 2019). Güvenli gıda ürünlerine yönelik artan tüketici talebi ve plastik ambalaj atıklarının neden olduğu ekolojik rahatsızlık, doğal polimer bazlı ambalaj malzemelerinin geliştirilmesine olan ilginin artmasına yol açmıştır (Abdelhedi ve ark, 2018). Sonuç olarak, bilim insanları protein, polisakkaritler ve lipitler gibi farklı biyopolimerlere dayanan gıda ambalaj filmlerini başarıyla geliştirmişlerdir. Bu biyo bazlı filmler sadece biyobozunur malzeme olarak değil, aynı zamanda biyoaktif bileşiklerin bir taşıyıcısı olarak da dikkat çekmektedir (Hassan ve ark, 2018).

Biyolojik olarak bozunabilir bir malzeme olan polilaktik asit (PLA), nişasta, şeker kamışı, selüloz, buğday ve mısır gibi yenilenebilir kaynaklardan sentezlenebilen doğrusal alifatik termoplastik bir polyesterdir. PLA, biyo-uyumlu, toksisitesi olmayan, şeffaf ve bariyer özellikleri ile işlenebilirliği ön planda bir polimerdir (Martucci ve ark, 2010). Ancak PLA uygulamaları, zayıf mekanik özellikleri ve düşük termal stabilitesi nedeniyle sınırlıdır (Auras ve ark., 2011). Bu nedenle PLA'nın mekanik, bariyer ve termal özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar önem kazanmaktadır. Özellikle PLA yapısına mikro ve nanoboyutta farklı bileşenlerin ilavesi alanında birçok çalışma dikkat çekmektedir. Mikro ve nano bor nitrür özellikleri itibariyle PLA'nın gıda ambalajlama açısından geliştirilmesinde dikkate alınabilecek bileşenlerdir.

Bor nitrür (BN), yüksek erime ve ayrışma sıcaklığı, termal iletkenlik, yüksek termal kararlılık, kimyasal olarak inertlik, oksidasyon direnci, yüzey aktivitesi ve mekanik özellikleri nedeniyle polimerler için potansiyel inorganik dolgu malzemesi olarak dikkat çekmektedir (Kisku ve Swain, 2012). Biyopolimer formülasyonunda nano dolguların kullanılması mekanik ve bariyer özellikleri geliştirmesinin yanında aktif bileşenlerin bağlanabileceği yüzey alanını da genişletmektedir. Böylece gıda yüzeyindeki antimikrobiyal etkiyi de artırabilmektedir (Kumbar ve ark., 2008; Yuan ve ark, 2004).

Modern gıda ambalajlama teknolojileri arasında, fonksiyonel katkı maddeleri ile birleştirilmiş polimer bazlı malzemelerden oluşan aktif ambalajlama sistemleri yer almaktadır. Aktif ambalajlama uygulamalarından olan antimikrobiyal ambalajlama ambalajlı gıda ile doğrudan veya dolaylı olarak etkileşime girerek gıdaların raf ömrünü uzatmaya, besin ve duysal özelliklerini korumaya yardımcı olur (Soares ve ark, 2009). Günümüzde et ve et ürünlerinin kalitesini korumak ve raf ömrünü uzatmak için aktif ambalaj uygulamaları önemli bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır (Mulla ve ark, 2017). Et ürünlerinde özellikle kanatlı etlerinde raf ömrünün kısa olması nedeniyle ekonomik kayıplar da yüksektir. Piyasaya sunulan çiğ kırmızı et 3-5 gün, çiğ tavuk eti 4°C'de 3-4 günlük raf ömrüne sahiptir. Taze etlerin bu kısa raf ömrü özellikle gıda dağıtım zincirleri ve perakende satışları boyunca büyük kayıpların yaşanmasına neden olmaktadır. Bu tür ürünlerin raf ömürlerinde sağlanabilecek 3-4 günlük artış bile önem arz etmektedir. Kayani ve ark. (2021) bor nitrürün agar difüzyon yöntemi ile antibakteriyal özelliğini araştırmışlardır. Bor nitrürün *E. coli*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae* ve *S. aureus* bakterilerine karşı antibakteriyal aktiviteye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bor nitrür, bakteri hücre duvarı ile fiziksel olarak etkileşime girerek hücreye hasar verdiğini açıklamışlardır. Bu nedenle bor nitrür içerikli malzemelerin antibakteriyal özelliği sayesinde gıda ambalajlama ve sağlık alanlarında kullanılabileceğini önermişlerdir. Bu bağlamda PLA matrisine bor nitrürün eklenmesi, mekanik ve bariyer özelliklerinin geliştirilmesinin yanı sıra yapıya antimikrobiyal özellik kazandırarak özellikle et ürünlerinin raf ömrünü artırmaya yardımcı olabilir.

1.1. Tezin Amacı

Tezin temel amacı günümüzdeki petrol bazlı plastiklere alternatif olarak çevre dostu biyobozunur bir malzeme olan PLA'nın zayıf mekanik ve bariyer özelliklerinin

geliştirilerek alternatif gıda ambalaj malzemesi üretimine, üretilen ambalajın gıda sektöründe kullanım potansiyelinin belirlenmesine ve çevre kirliliği açısından ciddi bir sorun olan atık yönetimi problemlerinin azaltılmasına katkı sağlamaktır. Borlu polimerler antimikrobiyal ve üstün mekanik özellikleri sayesinde ileri teknoloji alanlarında kullanılmak üzere yeni bir malzeme sınıfına girmektedir. Bu kapsamda PLA'nın mekanik ve bariyer özelliklerini bor nitrürün karakteristik fiziksel ve kimyasal özelliklerinden yararlanarak borlu biyobozunur PLA esaslı ambalaj malzemesinin geliştirilmesi ve aktif gıda ambalajlama teknolojisinde yeni bir malzeme olarak kullanılması hedeflenmektedir. Geliştirilen malzemelerin mekanik, bariyer ve yapısal özellikleri açısından karakterize edilmesi ve özellikle kısa raf ömrüne sahip, gıda güvenliği riski ve ekonomik değeri yüksek gıdalarda uygulanması, gıda kaynaklı sağlık risklerinin ve ekonomik kayıpların azaltılmasıdır.

Tezin spesifik amaçları:

- PLA matrisli mikro/nano bor nitrür dolgulu biyobozunur malzemelerin mekanik ve bariyer özelliklerinin geliştirilmesi
- Gıda ambalajlamada kullanılabilecek biyobozunur nitelikte aktif özellik (antimikrobiyal özellik) taşıyan mikro/nano biyopolimer esaslı ambalaj malzemesi geliştirilmesi
- Geliştirilen malzemelerle ambalajlanan gıdaların kalitesinin korunması, raf ömürlerinin uzatılması ve kısa raf ömrüne bağlı ekonomik kayıpların azaltılması

Tezin spesifik hedefleri:

- Düşük nem geçirgenliğine, yüksek gerilme mukavemeti değeri ve uzama oranına sahip aynı zamanda antimikrobiyal özellik kazandırılmış PLA matrisli nano/mikro bor nitrür dolgulu malzemelerin geliştirilmesi ve
- Tavuk eti gibi ekonomik değeri yüksek ama hızlı bozulan et ürünlerinde en az 3-4 gün raf ömrü artışının sağlanması veya geliştirilen malzemenin tavuk eti ambalajlamasında alternatif olarak kullanılabilmesi

1.2. Literatür Araştırması

Plastik kullanımındaki artış teknolojinin, endüstrinin ve nüfusun artmasının bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır (Thompson ve ark, 2009). Plastiğin ambalaj, inşaat, elektronik ve ilaç gibi alanlarda birçok faydası vardır (Park ve ark, 2019). Diğer

malzemelerle karşılaştırıldığında plastiğin avantajları; güçlü, hafif, esnek, paslanmaya dayanıklı, kolay kırılmaz, kolay renklendirilebilir, kolay şekillendirilebilir, ısı ve elektriğe yalıtkan olmasıdır (Orozco ve ark, 2021). Ancak plastiğin yüksek oranda kullanımı çevre için sorunlara neden olmaktadır. Plastik atıklar suda ve karada yaşayan canlıların büyümesini engellemekte ve ölüm oranlarını arttırmakta ve bitki fotosentez hızını azaltmaktadır (Huo ve ark, 2022). Plastik atığın doğa tarafından bozunması çok zordur (Palos ve ark, 2022). Son yıllarda çevre korumanın önemine dair farkındalık artmaktadır. Bu nedenle, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen ve biyolojik olarak parçalanabilen biyoplastik ambalajların fosil plastik ambalajların yerine kullanılması yönünde eğilim vardır (Madival ve ark, 2009). 21 Mayıs 2019'da Avrupa Parlamentosu, Avrupa sahillerinde en sık bulunan 10 kirletici ürün arasında yer alan tek kullanımlık plastik ambalajların, 2021'den itibaren kullanılmasını yasaklayan 2019/904 sayılı AB Direktifini onayladı (Council, 2019). 1950-2015 yılları arasında dünyada 8,3 milyar ton plastik üretilmiş olup bu miktarın 4,9 milyar tonunun çöpe atıldığı, 800 milyon tonunun da yakıldığı tahmin edilmektedir. 2018 yılında dünya çapında açığa çıkan plastik atık miktarı 359 milyar ton olarak belirtilmişken, 2019 yılında bu miktar 368 milyon tona, 2020'de COVID-19 salgını sebebiyle %30 artarak 478,40 milyon tona ulaşmıştır (Ritchie ve Roser 2019; Plastics Europe, 2019; Plastics Europe, 2020; Dave, 2020). Gıdaların sürdürülebilirliğinde ise ambalajın rolü çok önemlidir. Bu nedenle gıda ambalajının tasarımı, üretimi ve atığı çevre konusuna azami özen gösterilerek gerçekleştirilmelidir (No, 2011). Tüm bu nedenlerle son yıllarda petrol bazlı polimerlere alternatif olarak, biyolojik olarak çözünebilen, sürdürülebilir, geri dönüşüm sağlanabilen, sıfır atık yaklaşımı kapsamında imha edilebilecek, karbon ayak izinin düşürülmesine katkı sağlayacak çeşitli doğal kaynaklardan elde edilen biyobozunur polimerlere yönelik çalışmalar hem sektörel hem de akademik olarak ciddi artış göstermektedir. Biyobozunur plastikler, sıcaklık, nem, pH ve oksijen gibi optimum koşullar altında bozunmaya duyarlı olan polimerik malzemelerdir (Argente, 2018; Vert ve ark, 2012). 2016 yılından itibaren biyo bazlı polietilen (PE), polietilen tereftalat (PET), poli(bütülen adipat-ko-tereftalat) (PBAT), poli-hidroksi alkanoatlar (PHA) vb. gibi biyo bazlı plastiklerin üretimi için dünya çapında üretim kapasiteleri önemli ölçüde artmıştır (Piotrowski ve ark., 2016). Poli laktik asit (PLA) küresel "beyaz kirliliği" azaltmak için yaygın olarak kullanılan biyolojik olarak parçalanabilen polimer malzemelerdendir (Fu ve ark, 2020). Biyobozunur malzeme olan PLA kompostlanabilir özelliği sayesinde özel

kompostlama tesislerinde optimum nem ve sıcaklık koşullarına ulaşıldığında hızla bozunur. Kompostlama sırasında PLA, toprak ve gübreye dönüşür. PLA, PET gibi parlak ve şeffaf özelliklere sahiptir. Ancak mekanik özelliklerinin gıda ambalajlama uygulamaları için geliştirilmesi gerekmektedir (Castro-Aguirre ve ark, 2016).

1.2.1. Polilaktik asit (PLA)

Günümüzde raf ömrünü uzatan çevre dostu malzemelerle ambalajlanmış taze ve yüksek kaliteli gıdalara talep artmaktadır. Tüketiciler çevre dostu ambalajları tercih ettikleri için geleneksel plastiğe alternatif olarak biyobozunur aktif gıda ambalajlarının üretilmesi ön plana çıkmaktadır (Atarés ve Chiralt, 2016). Biyobozunur özellikte polimerlerin başında polilaktik asit (PLA) gelmektedir. Biyolojik olarak bozunabilir polilaktik asit (PLA), nişasta, şeker kamışı, selüloz, buğday ve mısır gibi yenilenebilir kaynaklardan sentezlenebilen doğrusal alifatik termoplastik bir polyesterdir. PLA, biyo-uyumlu, toksisitesi olmayan, şeffaf renkli, bariyer özellikleri ve ticari olarak işlenebilirliği ile petrol bazlı polimerlerin yerine geçebilecek en uygun malzemedir (Martucci ve ark, 2010; Wróblewska-Krepsztul ve ark, 2018). Ancak PLA uygulamaları, zayıf mekanik özellikleri ve düşük termal stabilitesi nedeniyle sınırlıdır (Auras ve ark., 2011). Bu nedenle PLA'nın mekanik ve antimikrobiyal özelliklerini güçlendirmek için diğer polimerlerle karıştırılması veya çeşitli dolguların ilavesi gerekmektedir. Peter ve ark. (2021), PLA matriksine Ag-Grafen-TiO₂ ekleyip aktif ambalaj geliştirerek lor peynirinin kimyasal değişimini incelemiştir. Yapıya Ag-Grafen-TiO₂ eklendiğinde katkısız PLA filminin gerilme mukavemeti %30 oranında artmış, su buharı geçirgenliği %11-27 oranında azalmış, oksijen geçirgenliği ise %24,6 oranında azalmıştır. Geliştirilen filmler *E. coli*, *Listeria monocytogenes* ve *Pseudomonas fluorescens* bakterileri üzerinde antimikrobiyal aktive sağlamıştır. Geliştirilen filmler 17 gün boyunca peynirin raf ömrünü korumuştur. Han ve ark. (2015), plastikleştirici trietil sitrat ve antimikrobiyal ajan olarak nisin içeren PLA filminin *Boletus edulis* yabani yenilebilir mantarların fizikokimyasal ve mikrobiyal kalitesine faydalı olduğunu iddia etmiştir. Shin ve ark. (2022), PLA/PEG filmlerinin hazırlanmasını ve karakterizasyonunu çalışmıştır. PEG konsantrasyonu arttıkça, camısı geçiş sıcaklığı azalmış, esneklik artmış, oksijen geçiş hızı azalmıştır. PLA filmine PEG'in eklenmesi, şeffaflığı etkilememiştir. Bu sonuçları, PLA ve PEG arasındaki kimyasal etkileşimin homojen bir matris oluşumuna bağlamışlardır. Wang ve ark. (2022), PLA matriksine bor nitrür dolgusu ekleyerek oluşan kompozitin termal

iletkenliğini incelemiştir. %28.4 oranında bor nitrür içeren PLA/BN kompozitleri 1,06 W/(mK) ile katkısız PLA'ya göre %430 oranında artış ile maksimum termal iletkenlik göstermiştir. Ayrıca, PLA/BN kompozitlerinin kristallik derecesi de %11,7'den (katkısız PLA) %43,7'ye artmıştır. Çevre dostu termal olarak yüksek iletkenliğe sahip kompozitlerin tasarlanması elektronik devreler, çevresel atık ve ambalaj çözümleri gibi farklı alanlarda değerlendirilebileceği tespit edilmiştir. Sonuç olarak PLA matrisine bor nitrür ilave edilmesi PLA'nın mekanik ve bariyer özelliklerinin geliştirmesi açısından önemli bir bileşiktir.

1.2.2. Bor nitrür

Bor nitrür (BN) doğal olarak oluşmaz ve altıgen, kübik, eşkenar dörtgen, turbostratik gibi farklı kristal yapılarda sentezlenir. Kristal yapılarına göre farklı fiziksel ve kimyasal özellikler gösterir. Bor nitrürün altıgen formu (hBN), doğada grafitin yapısal bir benzeridir ve "beyaz grafit" olarak adlandırılır. Altıgen bor nitrür (hBN) bazlı nanomalzemeler, birçok fizikokimyasal, mekanik ve biyolojik, spesifik yüzey alanı, termal ve kimyasal kararlılık gibi benzersiz özellikler sergiler (Kisku ve Swain, 2012). Bor nitrürün polimer matrislere (PLA, selüloz ve kitosan) dahil edilmesinin, mekanik ve bariyer özellikleri geliştirmek için potansiyel bir yöntem olabileceği düşünülmektedir (Nacas ve ark, 2019). Genel olarak bor nitrür partikülleri ile PLA kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerinin geliştirilebileceğine dair sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bor nitrürün PLA'ya ilave edildiği bilimsel çalışmaların detayları 1.2.4. başlığı altında verilmiştir.

1.2.3. PLA matrisli filmlere farklı dolgular eklenen çalışmalar

Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyopolimerlerden PLA, biyomedikalden savunma sanayisine kadar birçok alanda kullanılmaktadır (Thakur ve Thakur, 2014) PLA, eriyik olarak harmanlanabilen (çözelti dökme yöntemi vs.) ve enjeksiyonla kalıplanabilen bir polimerdir. Petrol bazlı polimerlere karşı çevre dostu bir alternatif olarak gözükmektedir. Araştırmacılar, gıda ambalaj kaplarını PLA biyopolimerinden üretmişlerdir. Gerilme mukavemetinin düşük olmadığını ancak bariyer özelliğinin geleneksel plastiklerden daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir (Auras ve ark, 2003; Zengwen ve ark, 2019). PLA'yı gıda ambalajlarında yaygın olarak uygulamak için özellikle gerilme mukavemeti ve bariyer özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu durumu iyileştirmeye yönelik yaygın strateji ise biyo-bazlı malzemelere dolgu

maddelerinin ilave edilerek kompozit malzemelerin geliştirilmesidir (Civancik-Uslu ve ark, 2018; Ita-Nagy ve ark, 2020; Reshmy ve ark, 2021).

PLA matriksine farklı oranlarda zein dolgusu katılarak çözelti dökme yöntemiyle PLA/PEG (LP), zein/PEG (ZP) ve PLA/zein/PEG (ZLP) filmleri hazırlanmıştır. Plastikleştiricilerin kompozit filmlerin mekanik özelliklerine etkisini incelemek için farklı oranlarda PEG 400 (20, 25 ve 30 mg/mL) kullanılmıştır. ZLP filmlere antimikrobiyal özellik kazandırmak için dört çeşit uçucu yağ (öjenol, sinnamealdehit, karvakrol ve çay ağacı yağı) eklenmiştir. PEG konsantrasyonu arttıkça filmlerin gerilme mukavemeti değerleri (TS) azalmış, kopma anındaki uzama oranları (EAB) ise artmıştır. Kompozit olmayan ZP filmi ve LP filmi ile karşılaştırıldığında, ZLP filmlerinin (1:1; 20) TS ve EAB değerleri sırasıyla yaklaşık 8,74 MPa ve %160 olarak belirlenmiştir. PEG kullanılan filmlerin su buharı geçirgenliği artmıştır. LP ve ZP filmlerinin su buharı geçirgenliği artarken kompozit yapı olan ZLP filmlerin su buharı geçirgenliği azalmıştır. ZLP filmleri mekanik olarak en iyi özellikleri gösterdiği için antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri incelenmiştir. Öjenol ve karvakrol yağı eklenen ZLP filmler yüksek antioksidan etki sağlamıştır. *E. coli* ve *S. aureus*'a karşı antibakteriyel etki gösteren filmler ise karvakrol ve sinnamealdehit eklenen ZLP filmler olmuştur (Ge ve ark, 2022).

Boro ve ark. (2022) PLA matriksine farklı oranlarda eklenen ZnO dolgulu halloysit nanotüplerin (ZnO@HNT) antimikrobiyal etkinliğe etkisini incelemiştir. Geliştirilen PLA filmlerin gıda ambalaj uygulamaları dikkate alınarak fiziksel, termal, mekanik, UV koruma, bariyer ve antimikrobiyal özellikleri analiz edilmiştir. En iyi bariyer ve mekanik özelliklere sahip filmler ağırlıkça %2 ZnO@HNT dolgulu filmler seçilmiştir. PLA filmine göre yüzey hidrofobikliği %16,5, su buharı bariyeri %51,1, esneklik %79,3, gerilme mukavemeti %38,9, elastik modül %507,1, UV bariyer özelliği %95,3 oranlarında artmıştır. PLA matriksine HNT eklenen filmlerde antimikrobiyal aktivite gözlemlenmemiştir. Ancak film yapısına ZnO eklenmesiyle antimikrobiyal etki sağlanmıştır. ZnO@HNT filmlerin kesilmiş elmalarda 6 gün boyunca ağırlık kaybını geciktirdiği ve sıklığını koruduğu tespit edilmiştir (Boro ve ark, 2022).

Birçok nanomalzeme, özellikle metal, metal oksit ve organik nanomalzemeler, çok sayıda patojen viral ve bakteri türüne karşı antimikrobiyal özelliklere sahiptir (Loomba ve Scarabelli, 2013). PLA biyopolimerinin mekanik özelliklerini geliştirmek ve

antimikrobiyal etki kazandırmak için PLA matriksine nano MgO dolgusu eklenmiştir. Ağırlıkça %1 ve 2 nano MgO içeren filmlerde mekanik, bariyer, optik (UV koruma) ve antibakteriyel özelliklerin geliştiği rapor edilmiştir. %1 MgO dolgulu filmler katkısız PLA filmlere kıyasla su buharı geçirgenliğini %57, oksijen geçirgenliğini ise %65 oranında azaltmıştır. MgO dolgusu gıda ambalajlarını yaklaşık %22 oranında UV radyasyonundan korumuştur. MgO nano dolgulu filmlerin *E. coli* bakterisine karşı antibakteriyel etkinliği kanıtlanmıştır. %3 ve daha fazla MgO eklenen filmlerde yırtılma ve pürüzlü yapı oluştuğu belirtilmiştir (Swaroop ve ark, 2019).

1.2.4. Polimer matriksli filmlere bor nitrür dolgusu eklenen çalışmalar

Polilaktik asit matriksine farklı oranlarda bor nitrür dolgusu eklenerek kompozit filmlerin gerilme-şekil değiştirme, kristalleşme sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığı ve morfolojisi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmada polilaktik asit matriksine %1, 2, 3, 4 oranlarında bor nitrür (1 µm boyutlu) ilave edilerek çözelti dökme yöntemiyle filmler hazırlanmıştır. %4 bor nitrür katkılı filmlerde aglomerasyon gözlenmiştir. Kompozitler için bozunma sıcaklığında düşüş kaydedilerek PLA ile karşılaştırıldığında kompozitin termal stabilitesi azalmıştır. %2 PLA/BN kompoziti 28,5 MPa gerilme mukavemeti göstererek katkısız PLA'ya kıyasla yaklaşık %132'lik artış meydana gelmiştir. Mekanik özelliklerde önemli bir gelişme olması nedeniyle, hazırlanan PLA/BN kompozitinin ticari ambalaj malzemesi olarak kullanılabilceği önerilmiştir (Bindhu ve ark, 2018). Bir başka çalışmada polilaktik asit matriksine farklı oranlarda bor nitrür katılarak kompozitlerin termal ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bor nitrür hacimce %0, 1, 2, 4, 8, 15, 20 ve 33,3 oranında eklenerek çözelti dökme yöntemiyle filmler hazırlanmıştır. Kompozitlerin termal iletkenliği bor nitrür oranına bağlı olarak artmış, katkısız PLA'dan 12 kat daha büyük bir değere; 0,23 W/m.K' den 2,77 W/m.K'e ulaşmıştır. %15 bor nitrür oranına kadar hazırlanan kompozitlerde sertlik ve darbe dayanımı artarken daha fazla bor nitrür dolgusu kompozitlerin mekanik özelliklerini azaltmıştır (Ghaffari ve ark, 2015). Altıgen bor nitrür (hBN) ile güçlendirilmiş polilaktik asit/polietilen-co-glisidil metakrilat (PLA/PEGM) kompozitinin termal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. . PLA/PEGM'ye 1, 5 ve 10 phr (phr; Kauçuk karışımındaki maddelerin yüzde miktarını ifade etmek için kullanılan oranlama metodu) bor nitrür eklenerek enjeksiyon kalıplama yöntemi ile kompozitler hazırlanmıştır. Kompozitlerin darbe dayanımı incelendiğinde 1phr hBN içerikli kompozit katkısız PLA'ya göre 3,5 kat artış

göstermiştir. PLA/PEGM 1 phr hBN 'e sahip kompozit, katkısız PLA, 5 ve 10 phr PLA/PEGM kompozitlerinden daha iyi mekanik ve termal özellikler göstermiştir (Kumar ve ark, 2017). Lule ve ark. (2020), bor nitrür dolgulu polilaktik asit/polibutilen adipat tereftalat üçlü kompozitinin termal iletkenliğini incelemiştir. Kompozit yapı alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu ile incelendiğinde BN yüzey işleminin polimer matrisleri ile partiküller arası etkileşimi iyileştirdiğini ve polimerler için bağdaştırıcı görevi gördüğünü doğrulanmıştır. Katkısız PLA ile karşılaştırıldığında BN parçacıklarının yapıya dahil edilmesi ile kompozitlerin düzlem içi ($\sim 1,1 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$) ve düzlem boyunca ($\sim 0,8 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$) termal iletkenliğini artırmıştır. Ek olarak kompozitin viskoelastik özelliği katkısız PLA'nın iki katına (3 GPa'dan daha fazla) çıkmıştır. Genel olarak bor nitrür partikülleri PLA içerikli kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerini geliştirdiğini tespit etmişlerdir.

Selüloz matriksine %0, 1, 2, 5, 8 ve 10 (w/w) oranlarında nano bor nitrür (BN) eklenerek çözelti dökme yöntemiyle hazırlanan nanokompozit filmlerin termal, oksijen bariyeri özellikleri ve kimyasallara karşı direnci incelenmiştir. Nanokompozitlerin termal kararlılığının katkısız selülozdan daha yüksek olduğu bulunmuştur. Selüloz/BN nanokompozitlerin oksijen bariyeri özelliği bor nitrür oranına bağlı olarak oksijen geçirgenliğinde önemli bir azalma gözlenmiş, %10 BN katkılı filmde oksijen geçirgenliği %85 azalmıştır. Ayrıca nanokompozitlerin kimyasal direncinin, katkısız selülozdan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Hazırlanan nanokompozitlerin yalıtım ve sıcaklığa dayanıklı ambalaj malzemesi olarak kullanılması ön görülmüştür (Swain ve ark, 2013). Diğer çalışmada selüloz matriksine %5 (w/w) oranında nano bor nitrür (BN) eklenerek çözelti dökme yöntemiyle filmler hazırlanmıştır. Hazırlanan nanokompozit filmlerin oksijen bariyeri özellikleri ve gerilme direnci incelenmiştir. Selüloz/BN nanokompozitlerin oksijen bariyeri özelliği bor nitrür oranına bağlı olarak oksijen geçirgenliğinde önemli bir azalma gözlenmiş, %5 BN katkılı filmde oksijen geçirgenliği değeri $4,7 \text{ cc/m}^2\cdot\text{gün}$ katkısız filmde ise $19,08 \text{ cc/m}^2\cdot\text{gün}$ bulunmuştur. Ayrıca BN'nin filmlerin şeffaflığı üzerinde hiçbir etkisi tespit edilmemiştir. Hazırlanan nanokompozitlerin gıda ambalaj malzemesi olarak kullanılması önerilmiştir (Nguyen ve ark, 2018). Elektroçirme yöntemi kullanılarak bor nitrür (BN) nanofiberlerin morfolojisinin ve bileşiminin karakterize edilmesi araştırılmıştır. Elde edilen bor nitrürün ortalama çapı $130,1 \pm 40,2 \text{ nm}$ ve spesifik yüzey alanı $512 \text{ m}^2/\text{g}$ olarak ölçülmüştür. Nanofiberlerin oksidasyon sıcaklığı $920 \text{ }^\circ\text{C}$

olarak gözlenmiştir. BN nanofiberleri geniş yüzey alanına ve yüksek sıcaklıkta oksidasyon direncine sahip olmuştur ve elde edilen BN nanofiberlerinin yüksek sıcaklık filtrasyonu alanlarında uygulama potansiyeline sahip olabileceği belirtilmiştir (Zhao ve ark, 2019). Polivinil alkol (PVA) matriksine %0.1, 0.5, 1, 2, 5 oranlarında nano bor nitrür (BN) eklenerek elektroçirime yöntemiyle elde edilen nanokompozitin termal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Nanokompozitin gerilme direnci ve elastik modülü bor nitrür oranına bağlı olarak artmış, %5 BN içeren nanolif membranın gerilme direnci 6 MPa'dan 11,37 MPa'ya elastik modülü ise 24,63 MPa'dan 87,26 MPa'a artarak katkısız PVA'dan yaklaşık 3,55 kat daha yüksek çıkmıştır. %5 BN oranındaki nanokompozitin termal iletkenliği, katkısız PVA'dan 4 kat daha yükselerek 0,45 W/m.K olarak tespit edilmiştir (Yina ve ark, 2019). Fiore ve ark. (2021), PLA matriksli kitosan-kazeinat ve biberiye esansiyel yağı katkılı aktif ambalaj geliştirerek taze kıyılmış tavuk göğsü üzerinde etkisini incelemiştir. PLA/kitosan-kazeinat kompozitine %2 biberiye esansiyel yağı ilave edilmesiyle su buharı geçirgenliği %25 oranında azalmıştır. Biberiye yağı eklenmesiyle kompozitlerin antioksidan değeri artmıştır. İn vivo testten elde edilen sonuçlar, aktif filmlerin, anaerobik modifiye atmosfer koşullarında depolama sırasında et oksidasyonunu azalttığını göstermiştir. Aktif film ile paketlenmiş numuneler, 14 güne kadar sabit malondialdehit (MDA) düzeyinde kalarak karakteristik tavuk rengini korumuştur. Kontrol filmi ile paketlenmiş numunelere kıyasla heptanal ve etanol konsantrasyonunda (sırasıyla %72 ve %90) azalma meydana gelmiştir. Genel olarak kitosan bazlı aktif PLA filmlerinin, taze et ürünleri için antioksidan etkiler sağlayarak ambalajlama için uygun olabileceğini göstermiştir.

1.3. Hipotez

PLA matriksine mikro/nano bor nitrür ilavesi PLA'nın mekanik, bariyer, antimikrobiyel ve morfolojik özelliklerini geliştirir. Nano bor nitrür ilavesi mikro bor nitrür ilavesine kıyasla PLA'nın mekanik, bariyer, antimikrobiyel ve morfolojik özellikleri üzerinde daha etkilidir. Geliştirilen malzemeler tavuk etinin ambalajlanmasında alternatif olarak kullanılabilir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Araştırmada, biyofilm eldesinde polilaktik asit granülleri (NatureWorks LLC Ingeo™ 2003D grade), kloroform (Merck), 1µ hekzagonal mikro bor nitrür (Nanografi, Ankara), 65-75 nm hekzagonal nano bor nitrür (Nanografi, Ankara), dimetil formamid (Merck) ve polietilen glikol 400 g/mol (Merck) kullanılmıştır. Mikrobiyoloji analizleri için plate count agar (PCA) (Merck 1,05463) kullanılmıştır.

2.2. PLA/BN ve PLA/NBN Filmleri Hazırlama

Film çözeltisi hazırlamak üzere öncelikle PLA granülleri 90°C’de 2 saat boyunca kurutulmuştur. Çözücü olarak kloroform kullanılarak ağırlıkça %5’lik PLA çözeltisi hazırlanmıştır. 2 saat boyunca 60°C’de manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Çözelti içerisine %10 plastikleştirici (PEG 400) eklenmiştir. Ağırlıkça %1, 3, 5, 7 ve 10 oranında mikro/nano bor nitrür tartılıp DMF ile çözündürülmüştür. 12 saat boyunca 60°C 700 rpm’de manyetik karıştırıcı (Heildolph, Hei Standart, German) ile karıştırılmıştır (Bindhu ve ark, 2018; Chen ve ark, 2019; Oliveira ve ark, 2017). Tablo 2.1’de deneme planı verilmiştir. Hazırlanan polimer solüsyonu 10x10 cm’lik cam petrilere 4,5 ml dökülmüştür. Her bir formülasyon için 3 tekerrürlü olarak 3 paralel film ve her formülasyon için toplam 9 adet film üretilmiştir. Raf ömrü analizleri için aynı formülasyonla hazırlanan polimer çözeltileri 20x20 cm boyutlarında cam plakalara (TLC plaka kaplayıcı, CAMAG, İsviçre) 500 µm kalınlığında dökülmüştür. Petri ve plakalar etüve yerleştirilerek 30 dakika boyunca 75°C’de kurutulmuştur. 30 dakika sonra etüvden çıkarılan filmler plakalardan soyulmuş ve 23±2°C’de %50±5 bağıl nemli ortama alınmıştır (Busolo ve ark, 2009; Erdohan ve ark, 2013). Hazırlanan filmler fiziksel, mekanik, antimikrobiyel, bariyer ve morfolojik özellikler açısından test edilmiştir. Karakterizasyon sonrası ambalajlamaya uygun olan film formülasyonları hazırlanarak raf ömrü çalışmasında kullanılmıştır.

Tablo 2.1. Bor nitrür içeren filmler için deneme planı.

Film	Mikro Bor Nitrür Konsantrasyonu (%)	Nano Bor Nitrür Konsantrasyonu (%)
K	0	0
BN.1	1	0
BN.3	3	0
BN.5	5	0
BN.7	7	0
BN.10	10	0
NBN.1	0	1
NBN.3	0	3
NBN.5	0	5
NBN.7	0	7
NBN.10	0	10

*K: Kontrol (PLA film), BN: Mikro bor nitrür, NBN: Nano bor nitrür

2.3. Fiziksel Analizler (Kalınlık ve Renk Ölçümü)

Elde edilen filmlerin kalınlığını belirlemek için 0,001 mm hassasiyetli dijital mikrometre (Asimeto, Almanya) ile her bir formülasyon için üretilen bir filmde 3 farklı noktadan ölçüm yapılmış ve toplam 3 paralel filmde yapılan 27 ölçümün ortalaması alınmıştır (Gao ve ark, 2017).

Renk ölçümü CIE L* (beyaz-siyah), a* (kırmızı-yeşil) ve b* (sarı-mavi) ölçeğini kullanan renk ölçüm cihazı (PCE-CSM 7, Meschede, Almanya) ile gerçekleştirilmiştir. Toplam renk değişimi formül 2.1'e göre hesaplanmıştır. Her bir filmin farklı 3 noktasından ölçüm yapılmış, her bir uygulama için toplam 3 filmde yapılan 27 ölçümün ortalaması alınmıştır (Liu ve ark, 2017).

$$\text{Toplam renk değişimi } (\Delta E) = [(L^* - L)^2 + (a^* - a)^2 + (b^* - b)^2]^{1/2} \quad (2.1)$$

L, a, b: Film örneğinin değerleri

L*,a*,b*: Kontrol PLA filmin değerleri

2.4. Mekanik Analizler (Gerilme Mukavemeti, Kopma Anındaki Uzama Oranı, Isıl Yapışma Mukavemeti)

Gerilme mukavemeti (MPa) ve kopma anındaki uzama (%) testleri için her bir örnekten 10 cm boyunda (ölçüm uzunluğu) ve 2 cm eninde (10x2 cm) kesit alınmıştır. Her bir formülasyon için 3 tekerrürlü olarak 3 paralel film ve her formülasyon için toplam 9 adet film kesitinde ölçüm yapılmıştır. Filmler test öncesinde 23±1°C'deki %50±5 bağıl nemde en az 48 saat boyunca bekletilmiştir. TA.XT Plus (Stable Micro

Systems, Surrey, İngiltere) cihazının A/MTG probu ile ön test hızı: 1,0 mm/s, test hızı: 1,0 mm/s, test sonrası hızı: 10,0 mm/s, trigger kuvveti: 0,049 N ve uzaklık: 100 mm parametreleri kullanılarak çekme yapılmış ve gerilme/uzama eğrisi elde edilmiştir. Gerilme mukavemeti (MPa) 2.2'deki formülden, kopma anındaki uzama ise 2.3'teki formülden hesaplanmıştır (Bhat ve ark, 2013; Gao ve ark, 2017).

$$\text{Gerilme mukavemeti (MPa)} = \text{En yüksek kuvvet (Fmax)/alan} \quad (2.2)$$

Kopma anındaki uzama (%)

$$= \frac{\text{Kopma anında uzunluktaki değişim}}{\text{Başlangıç uzunluğu}} * 100 \quad (2.3)$$

Elde edilen filmler ısı kaynak makinesi (ME-400 CFN, Mercier Corporation, Tayvan) ile 1,5 cm genişliğinde üç tarafı ısı olarak yapıştırılmıştır. Her bir film için optimum ısı yapıştırma sıcaklıkları ön denemelerle belirlenmiştir. Filmler 100 °C'de 5, 10 ve 15 saniyede yapıştırılmıştır. Görsel test metodunda ambalaj kaynak yeri; boşluklar, kırışıklıklar, kaynak dikiş yerinin düzgünlüğü için görsel olarak ve büyüteç altında incelenmiştir. Boya penetrasyon test metodunda 0.5 g kırmızı renkli bir boya olan Rhodamine B (Merck, Darmstadt, Germany) 100 ml isopropanol içinde çözüldürüldükten sonra süzölmüş ve boya çözeltisi hazırlanmıştır. Isıl olarak yapıştırılan filmlerin açık tarafından kaynak yerinin iç tarafına doğru hazırlanan boya pastör pipet ile 1 damla uygulanıp belli bir süre bekletildikten sonra boyanın dışarıya sızıp sızmadığı büyüteç altında görsel olarak kontrol edilmiştir (Nalçabasmaz, 2014).

Yapıştırılan filmlerden 5,5 cm boyunda 2 cm eninde paralel 6 film kesiti hazırlanmıştır. Isıl yapışma mukavemeti için sızdırma gözlemlenmeyen film kesitleri üst üste konulmuştur. Her bir ölçüm için toplam film ebatı 9,5 x 2 cm olacak şekilde uç kısmından yapıştırılmıştır. Film örnekleri 48 saat boyunca 23±1°C ve %50±5 bağıl nemde bekletilmiştir. Şekil 2.1'de gösterilen TA.XT Plus cihazında A/MTG probu ile yapışan yerleri ayırmak için gerekli kuvvet ölçülmüştür. Örnekler ısı yapıştırılan uçları orta noktaya gelecek şekilde diğer uçlarından probun çenelerine şekil 2.1'deki gibi tutturulmuştur. 50 mm mesafe ve 5 mm/s hız kullanılmış, her bir film için 9 ölçümün ortalaması alınmıştır (Bhat ve ark, 2013; Voon ve ark, 2012).



Şekil 2.1. Isıl yapışma mukavemeti test düzeneği

2.5. Su Buharı Bariyer Testi (WVTR)

Su buharı geçiş hızı için geçirgenlik kabı (TQC permeability cups, VF2201-488, Hollanda) kullanılarak ASTM E95-96 yöntemine göre test edilmiştir. Filmler, conta halkası yardımıyla 89 mm çapında kesilmiştir (Şekil 2.2). Geçirgenlik kabı 25 ml saf su ile doldurulmuştur. Test $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de $\%50\pm 5$ bağıl nemli ortamda gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ve nem kontrollü şartlar altındaki kabinlere ölçüm yüzeyleri herhangi bir yüzeye temas etmeyecek şekilde yerleştirilerek 7 gün boyunca depolanmıştır. Depolama süresi boyunca örnekler tartılarak kütle değişimleri belirlenmiştir. Elde edilen değerlerden kütleye karşı zaman grafiği çizilmiş, doğrunun eğimi ve analizde kullanılan film örneğinin m^2 cinsinden alanı kullanılarak formül 2.4'e göre su buharı geçiş hızı hesaplanmıştır. Her bir formülasyon için 2 paralel ölçümün ortalaması alınmıştır (ASTM, 2005; Shankar ve ark, 2018; Raheem 2019).

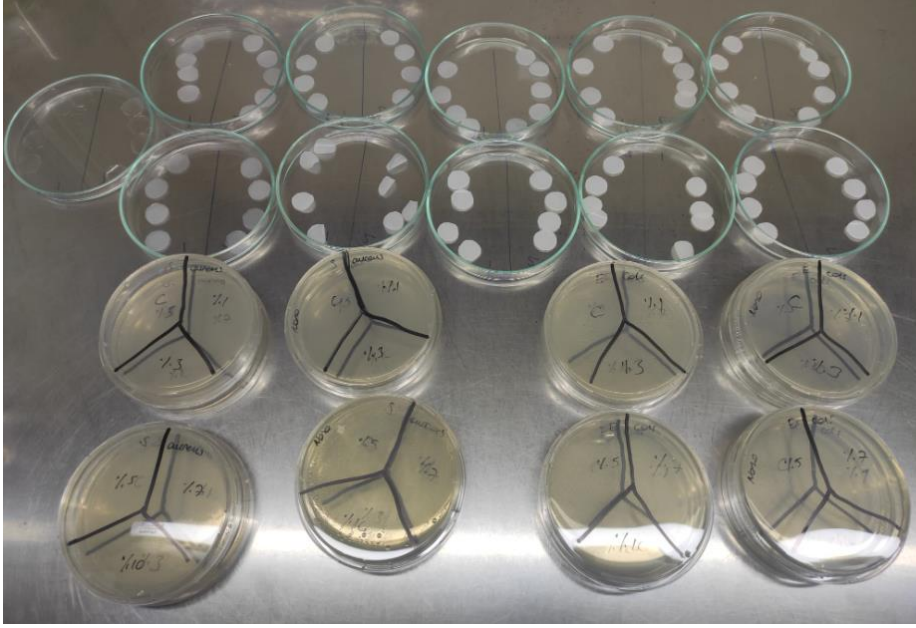
$$\text{Su buharı geçiş hızı (g/(m}^2\text{/gün))} = \frac{\text{Son tartım (g)} - \text{ilk tartım (g)}}{\text{alan (m}^2\text{)/gün}} \quad (2.4)$$



Şekil 2.2. Su buharı geçiş hızı (WVTR) ölçümü için hazırlanan örnek

2.6. Antimikrobiyal Aktivite Testi

E. coli (ATCC 25927) ve *S. aureus* (gıda izolatu) stok kültürlerinden çift pasaj yapılarak hazırlanan aktif kültürler yaklaşık 10^8 kob/ml olacak şekilde ayarlanmıştır. Aktif bakteri içeren her bir inokulumdan (10^8 kob/ml) Mueller Hinton Agar (Merck) içeren petrilere 100 µl aktarılarak drigalski spatülü ile yayma yapılmış ve kuruması için 2 dakika beklenmiştir. Film örnekleri 10 mm çapında kesilerek steril bir pens yardımıyla agar yüzeyine yerleştirilmiştir. Delgeç ve disklerin her iki tarafı, uygulamadan önce 15 dakika ultraviyole ışık altında sterilize edilmiştir (Şekil 2.3). 37°C’de 24 saat boyunca inkübasyon sonrasında inhibisyon zonlarının oluşup oluşmadığı kontrol edilmiştir. Antimikrobiyal aktivite testi 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir (Ahmed ve ark, 2017).



Şekil 2.3. Disk difüzyon yöntemine göre hazırlanan örnekler

2.7. Morfolojik Analiz (FE-SEM)

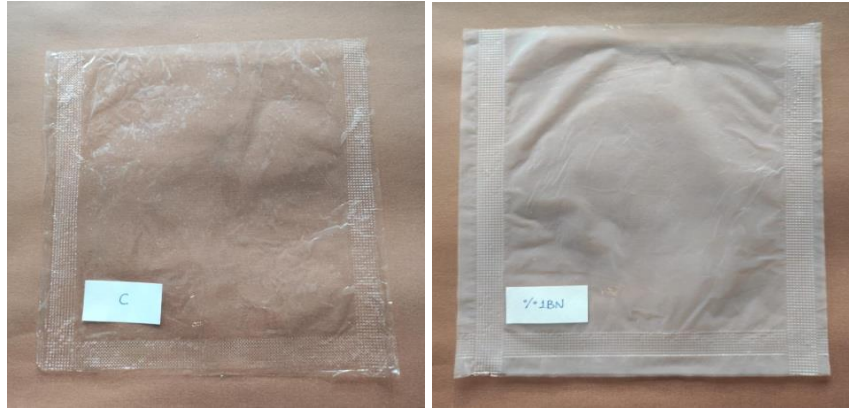
Kontrol PLA, mikro ve nano bor nitrür içeren filmlerin morfolojik özellikleri alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FEI, Quanta FEG 450, USA) ile incelenmiştir (Chieng ve ark, 2014). Her bir film için 2 film örneği incelenmiştir. Analiz öncesinde filmler küçük parçalar halinde kesilmiş, altın ile kaplanarak filmlere iletkenlik kazandırılmıştır. Düşük vakum altında ve 15 kV'luk voltajda yüzey görüntüleri 1000x büyütme oranıyla elde edilmiştir.

2.8. Raf Ömrü Çalışması

2.8.1. Ambalaj üretim yöntemi

2.2'deki formülasyona göre hazırlanan film çözeltisi manuel TLC plaka kaplayıcı (CAMAG, İsviçre) kullanılarak 20x20 cm boyutlarında cam plakalara 500 µm kalınlığında dökülmüştür. Plakalar etüve yerleştirilerek 30 dakika boyunca 75°C'de kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan filmler plakalardan soyulmuş ve $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de %50±5 bağıl nemli (BN) ortama alınmıştır (Erdoğan ve ark, 2013; Zhang, 2015). Hazırlanan filmlerin 3 tarafı ısıtılabilir kaynak makinesi (ME-400 CFN, Mercier Corporation, Tayvan) ile yapıştırılarak 13x13 cm boyutlarında torbalar haline getirilmiştir. Filmler torba ambalaj haline getirilmeden önce 10 dakika ultraviyole ışığa maruz bırakılmıştır (Mikloskova ve ark, 2021). Torba ambalaj haline getirilen filmler Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

Yerel marketten satın alınan tavuk filetolar, dezenfekte edilmiş bıçaklar ve kesme tahtası ile yaklaşık 100 ± 2 g'lık parçalara ayrılmıştır. Hazırlanan tavuk parçaları rastgele üç gruba ayrılmıştır. Daha önce hazırlanarak torba haline getirilen PLA, %1BN, %1NBN esaslı torbalar içinde (Şekil 2.4) %40:%60 oranında CO₂:N₂ gazları kullanılarak MAP cihazı (Reepack, RV 300, İtalya) ile ambalajlanmıştır. Tüm ambalajlanmış ürünler, 4 ± 1 °C'de 8 gün boyunca depolanmış ve 0., 2., 4., 6, ve 8. günlerde raf ömrü analizleri yapılmıştır (Şekil 2.5). Her bir analiz günü ve her bir ambalaj grubu için 3'er paralel torba ambalaj hazırlanmıştır (Chen ve ark, 2022).



Şekil 2.4. Kontrol PLA ve %1 mikro bor nitrür içeren PLA esaslı torba ambalaj örnekleri



Şekil 2.5. MAP ambalajlı tavuk örneği

2.8.2. Renk ölçümü

Örneklerin L*, a* ve b* renk değerleri renk ölçüm cihazı (PCE-CSM 7, Meschede, Almanya) kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla her bir analiz gününde her ambalaj grubundan 3 paralel ambalaj açılmıştır. Her bir ambalajdaki tavuk etlerinin 3 farklı

noktasından renk ölçümü yapılmış ve her bir grup için toplam 9 ölçümün ortalaması alınarak renk değerleri hesaplanmıştır (Zhang ve ark, 2007).

2.8.3. pH ölçümü

Tavukların pH değerini belirlemek amacıyla warring blender ile homojenize edilen tavuklardan 10 g tartılıp üzerine 100 ml saf su ilave edilmiştir. Önceden kalibre edilmiş pH-metre (WTW, pH315i, Germany) ile pH değerleri ölçülmüştür (AOAC, 2005). Her bir ambalaj grubundan 3 paralel ambalaj açılmıştır. Açılan her ambalaj için 2 tekrarlı ölçüm yapılarak 6 farklı pH değerinin ortalaması alınmıştır.

2.8.4. Nem içeriği (%)

Önceden 105°C'de 18 saat bekletilerek sabit tartıma getirilen ve darası alınan kuru madde kaplarına 5 g civarında örnek tartılmıştır. 105°C'teki etüvde (Zhicheng 2RD5110) örnek sabit ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmuş ve tartım farkından örnekteki % nem miktarı hesaplanmıştır (Anonymous, 2000).

$$\%nem = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100 \quad (2.5)$$

m₁: Kurutulmuş boş kurutma kabı ve kapağın ağırlığı (g)

m₂: İçerisinde deney örneği bulunan kurutma kabı ve kapağının kurutma işlemi öncesi ağırlığı (g)

m₃: İçerisinde deney örneği, kurutma kabı ve kapağının kurutma işlemi sonrası ağırlığı (g)

2.8.5. Mikrobiyolojik analiz

Tavuklardan steril koşullarda 10 g örnek alınmış ve 90 ml fizyolojik tuzlu su içerisinde stomacher (Mayo, HG400, Italy) kullanılarak 2 dk süreyle homojenize edilmiştir. Hazırlanan homojenizattan 9 ml fizyolojik tuzlu su bulunan dilüsyon tüpleri kullanılarak seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. Uygun dilüsyondan 0.1 ml alınarak yayma kültür yöntemine göre içerisinde Plate Count Agar (PCA) (Merck 1.05463) bulunan petrilere ekim yapılmıştır. Petrilere 37°C de 24 saat inkübe edildikten sonra gelişen koloniler sayılmış ve sonuçlar log kob/g olarak verilmiştir (Anonim, 2011).

2.8.6. Duyusal değerlendirme

Ambalajlanmış tavuk örneklerinin depolama süresince duyusal değerlendirmesi 6 kişilik deneyimli panelist grubu ile yapılmıştır. Panelistlerden renk/dış görünüş, koku, tekstür ve genel ürün beğenisi parametrelerini 5’li hedonik skala kullanılarak değerlendirmeleri istenmiştir. Renk/dış görünüş, koku, tekstür ve genel ürün beğenisi için 5 li hedonik skala açıklamaları sırasıyla řu şekilde kategorize edilmiştir: Renk için 1=çok kötü/solgun pembe/yüzeyde grileşme, 3=kabul edilebilir/renkte koyulaşma/koyu pembe, 5=beğendim-taze/karakteristik tavuk göğsü rengi; koku için 1=çok kötü/ransit koku/bozuk tavuk kokusu, 3=kabul edilebilir/hafif amonyak/sülfür kokusu, 5=karakteristik tavuk kokusu; tekstür için 1=geri dönüş yok/yumuşak tekstür, 3=yavaş geri dönüş/yumuşama başlamış, 5=hızlı geri dönüş/diri/dolgun tekstür; Genel ürün beğenisi 1=hiç beğenmedim, 3=kabul edilebilir, 5=çok beğendim olarak alınmıştır (Ek A.).

2.8.7. İstatistiksel analiz

Filmlerin karakterizasyonu çalışmalarını ile elde edilen dataların varyans analizleri Minitab 16 istatistik programında Tukey çoklu karşılaştırma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Raf ömrü çalışmasında “gruplar (K, BN ve NBN)”, “günler” ve “günler x gruplar” arasındaki farklılıkları belirlemek amacıyla SPSS 29 paket programını kullanarak tekrarlanan ölçümlü varyans analizleri yapılmış, tespit edilen farklılıkların önem düzeyleri ise MSTAT istatistik programını ($\alpha=0,05$) Duncan’s çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Fiziksel Özellikler (Renk ve Kalınlık)

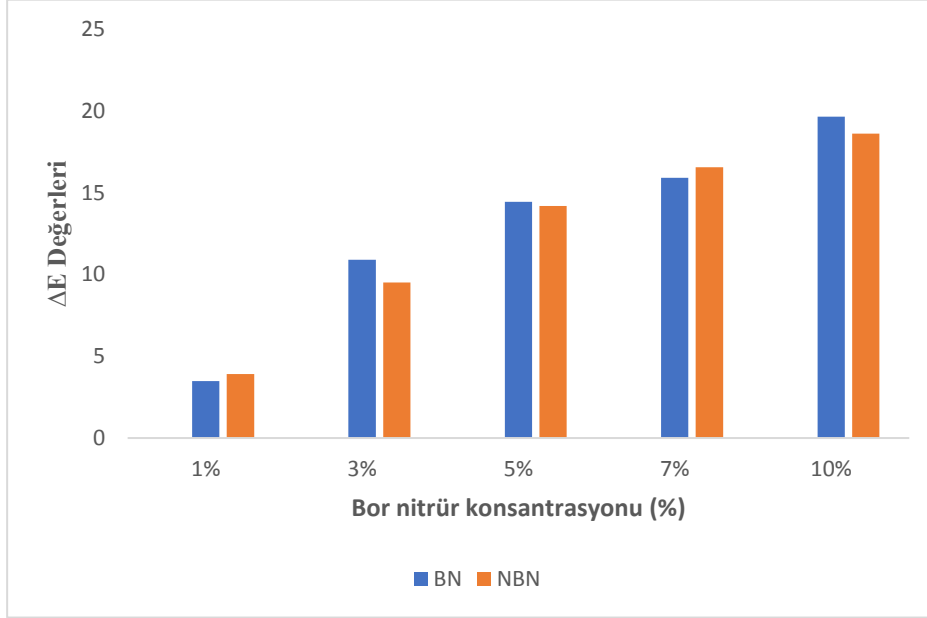
Mikro ve nano bor nitrür ile geliştirilen PLA filmlerin renk değerleri ve kalınlıkları Tablo 3.1.'de yer almaktadır. Filmlerin toplam renk değişimi (ΔE) değerleri Şekil 3.1.'de, kalınlık değerleri Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Mikro ve nano bor nitrür oranı arttıkça ΔE değerinin istatistik olarak önemli düzeyde arttığı görülmektedir ($p \leq 0,05$). Bu değişim mikro ve nano bor oranı arttıkça PLA kompozit filmlerin beyazlığının artmasıyla ilişkilendirilebilir. %3 mikro/nano bor nitrür içeren filmler haricinde diğer tüm oranlarda nano bor nitrür içeren filmlerin renk değişimi ile mikro bor nitrür içeren filmlerin renk değişimi arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir ($p > 0,05$). PLA filmlerde mikro ve nano bor nitrür oranı arttıkça kontrol filmlere göre transparanlık azalmış ve beyazlık artmıştır. Toz bor nitrür beyaz renklidir ve şeffaf PLA içerisinde konsantrasyon değeri arttıkça filmlerin gözle görünür düzeyde beyazlığı artmıştır (Şekil 3.3 ve 3.4).

Tablo 3.1. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin renk ve kalınlık özelliklerine etkisi.

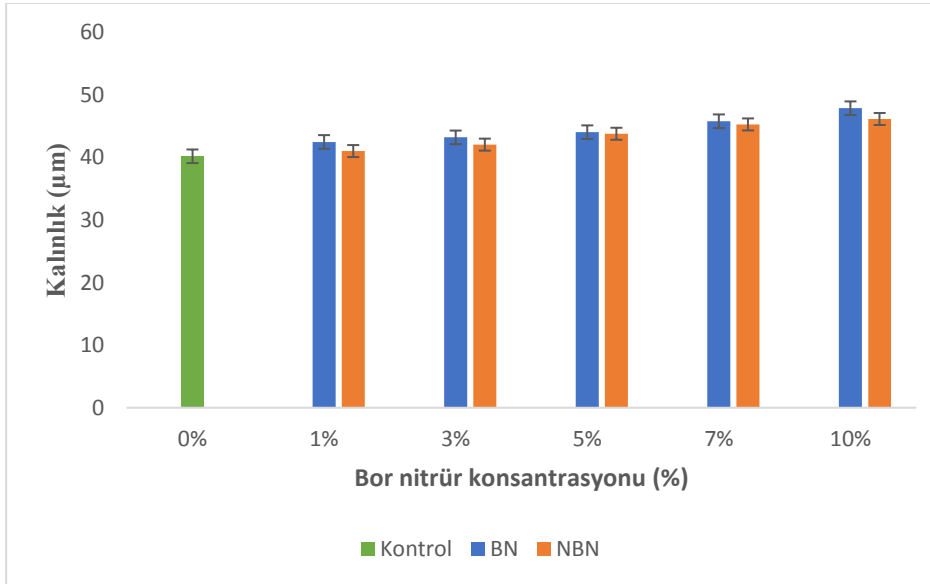
Film	Bor Nitrür Konsantrasyonu (% a/a)	L* Değeri	a* Değeri	b* Değeri	Toplam renk değişimi (ΔE)	Kalınlık (μm)
K	0	27.48±0.54 ^G	-0.28±0.05 ^A	-0.93±0.02 ^A	-	40.19±0.60 ^H
BN.1	1	29.58±0.78 ^F	-0.61±0.20 ^B	-3.64±0.25 ^B	3.48±0.70 ^F	42.48±0.42 ^F
BN.3	3	37.45±0.37 ^D	-1.52±0.08 ^{DE}	-5.15±0.12 ^D	10.90±0.12 ^D	43.21±0.45 ^E
BN.5	5	41.32±0.70 ^C	-1.70±0.12 ^E	-4.75±0.29 ^{CD}	14.44±0.33 ^C	44.04±0.31 ^D
BN.7	7	42.85±0.62 ^B	-1.46±0.03 ^D	-4.81±0.09 ^{CD}	15.90±0.35 ^B	45.79±0.37 ^{BC}
BN.10	10	46.74±0.34 ^A	-1.05±0.05 ^C	-4.72±0.04 ^{CD}	19.65±0.21 ^A	47.87±0.29 ^A
NBN.1	1	30.33±0.30 ^F	-0.59±0.02 ^B	-3.58±0.08 ^B	3.91±0.08 ^F	41.02±0.17 ^G
NBN.3	3	35.60±0.48 ^E	-1.53±0.01 ^{DE}	-5.68±0.10 ^E	9.50±0.12 ^E	42.05±0.28 ^F
NBN.5	5	41.10±0.40 ^C	-1.72±0.01 ^E	-4.60±0.17 ^C	14.18±0.15 ^C	43.79±0.25 ^D
NBN.7	7	43.54±0.33 ^B	-1.65±0.02 ^{DE}	-4.73±0.02 ^{CD}	16.56±0.07 ^B	45.28±0.29 ^C
NBN.10	10	45.66±0.38 ^A	-1.49±0.06 ^{DE}	-4.65±0.03 ^C	18.60±0.12 ^A	46.15±0.23 ^B

K: Kontrol (PLA film), BN: Mikro bor nitrür, NBN: Nano bor nitrür, (A-H): aynı sütundaki gruplar arasındaki farklar anlamlıdır ($P \leq 0,05$)

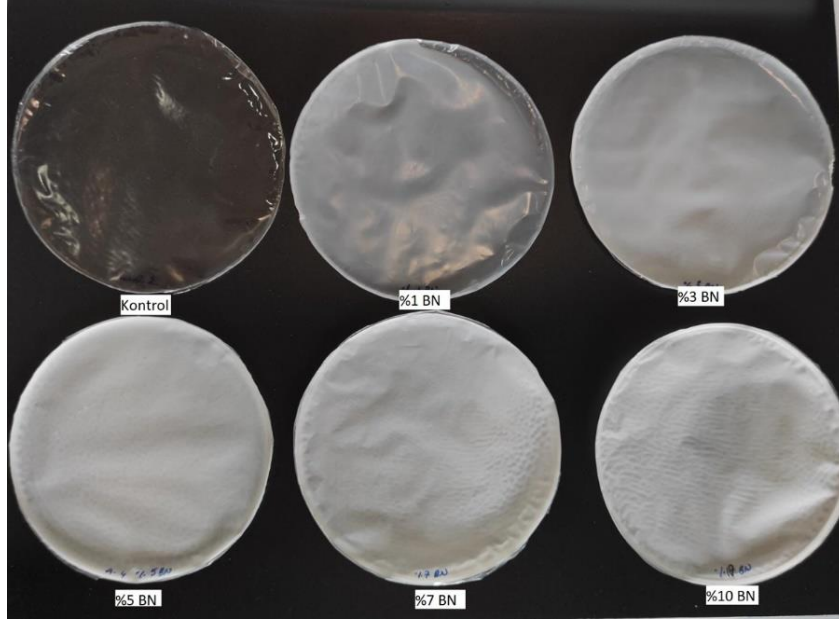
Farklı formülasyonlara sahip aynı miktarda dökülen çözeltilerin kurutulduktan sonraki film kalınlıkları arasında istatistiksel açıdan fark olduğu gözlemlenmiştir ($p \leq 0,05$). Şekil 3.3'te katkısız PLA ve mikro bor nitrür katkılı film, Şekil 3.4'te ise katkısız PLA ve nano bor nitrür katkılı film örnekleri verilmektedir.



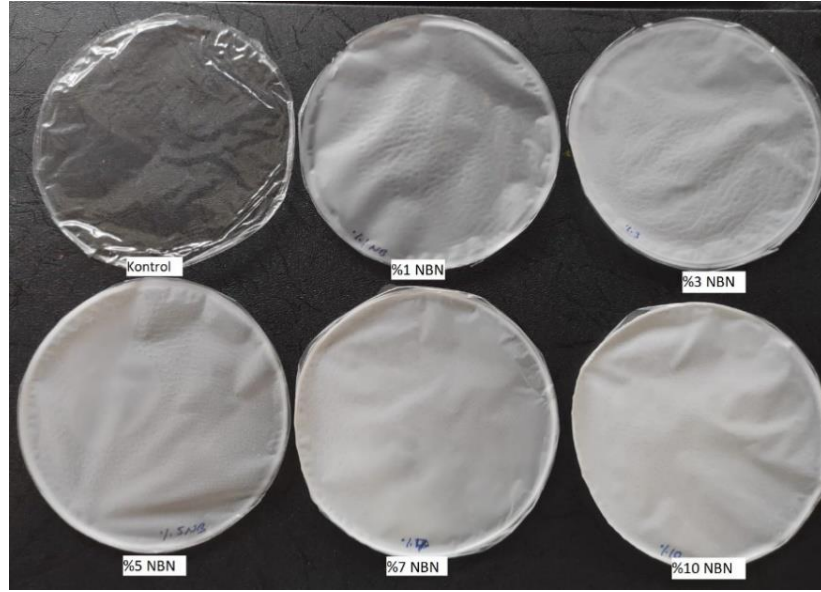
Şekil 3.1. Mikro/nano bor nitrür konsantrasyonunun filmlerin toplam renk değişimine (ΔE) etkisi



Şekil 3.2. Mikro/nano bor nitrür konsantrasyonunun filmlerin kalınlığına (μm) etkisi



Şekil 3.3. Kontrol PLA ve PLA/mikro bor nitrür kompozit filmler



Şekil 3.4. Kontrol PLA ve PLA/nano bor nitrür kompozit filmler

3.2. Mekanik Özellikler (Gerilme Mukavemeti, Kopma Anındaki Uzama Oranı, Isıl Yapışma Mukavemeti)

%0-10 arasındaki mikro ve nano bor nitrür konsantrasyonunun filmlerin gerilme mukavemeti ve kopma anındaki uzama oranlarına etkileri Tablo 3.2’de ve ayrıca Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Bor nitrür konsantrasyonunun elde edilen filmlerin gerilme mukavemeti üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Her bir konsantrasyon için mikro bor nitrür (BN) içeren filmlerde gerilme mukavemeti (MPa) değerleri bakımından en yüksek değer 42,12 MPa ile %1 mikro bor nitrür katkılı filmde, en

düşük değer ise 19,57 MPa ile %10 mikro bor nitrür katkılı filmde elde edilmiştir. Kontrol filmlere kıyasla %1 mikro BN içeren filmde %28, %3 mikro BN dolgulu filmde ise %11 oranında gerilme mukavemeti artarken, %5 mikro BN konsantrasyonundan sonra gerilme mukavemetinde azalma başlamıştır. %5 ve daha yüksek oranda mikro bor nitrür içeren PLA filmlerin gerilme mukavemeti istatistiki olarak kontrol PLA ve %1 ve 3 mikro BN içeren filmlerinkinden çok daha düşük düzeydedir ($p \leq 0,05$).

Nano bor nitrür (NBN) dolgulu filmlerde ise gerilme mukavemeti (MPa) değerleri bakımından en yüksek değer 46,06 MPa ile %1 nano bor nitrür katkılı filmde, en düşük değer ise 23,15 MPa ile %10 nano bor nitrür katkılı filmde elde edilmiştir. Kontrol PLA'ya kıyasla %1 ve 3 nano bor nitrür ilavesi gerilme mukavemetini önemli düzeyde artırmıştır. Kontrol filmlerine kıyasla %1 nano BN içeren filmde %40, %3 nano BN içeren filmde ise %20 oranında gerilme mukavemeti artarken, %5 nano BN ve daha fazla bor nitrür ilavesi gerilme mukavemetinde azalmaya neden olmuştur.

Bindhu ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada %1, 2, 3, 4 oranlarında mikro bor nitrür ilave edilerek hazırlanan filmlerde %2 PLA/BN kompoziti 28,5 MPa gerilme mukavemeti göstererek katkısız PLA'ya kıyasla %132 oranında artış rapor edilmiştir. %1 mikro bor nitrür içerikli film 19,8 MPa göstermiştir. %4 mikro BN katkılı filmlerin SEM görüntülerinde aglomerasyon gözlenmiştir. Bir başka çalışmada polilaktik asit matriksine farklı oranlarda bor nitrür katılarak kompozitlerin termal ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. %15 mikro bor nitrür oranına kadar hazırlanan kompozitlerde sertlik ve darbe dayanımı artarken daha fazla bor nitrür ilavesinin kompozitlerin mekanik özellikleri azalttığı vurgulanmıştır (Ghaffari ve ark, 2015). Geliştirilen %1 nano BN film 46,06 MPa gerilme mukavemeti göstererek literatürdeki çalışmalardan daha iyi sonuç vermiştir.

Kopma anındaki uzama (%) açısından en yüksek değerler %2,83 ile kontrol, %2,81 ile %1 mikro BN ve %2,92 ile %1 nano BN katkılı filmlerde, en düşük değer ise %1,59 ile %10 mikro bor nitrür katkılı filmde elde edilmiştir. Kontrol PLA ve %1 mikro bor nitrür içeren PLA filmlerde kopma anında uzama oranları arasında istatistiki açıdan fark yoktur ($p > 0,05$). %3, 5, 7 ve 10 oranında mikro BN içeren filmlerin kopma anında uzama oranları arasında da önemli bir fark yoktur ($p > 0,05$). Ancak bu iki grup arasında önemli düzeyde fark vardır. %1'den fazla mikro bor nitrür ilavesi malzemelerin esnekliğini azaltmıştır.

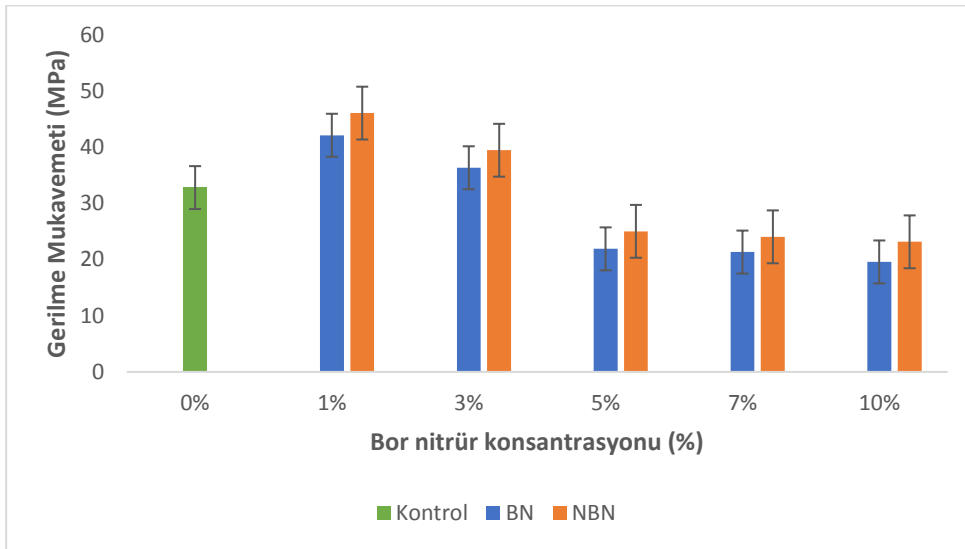
Kontrol PLA ve %1 nano bor nitrür içeren PLA filmlerde kopma anında uzama oranları arasında istatistiki açıdan fark yoktur ($p>0.05$). %3, 5, 7 ve 10 oranında nano BN içeren filmlerin kopma anında uzama oranları arasında da önemli bir fark yoktur ($p>0.05$). Kopma anında uzama oranları incelendiğinde kontrol filmine kıyasla PLA matriksine %1 oranından daha fazla nano bor nitrür ilavesi ile uzama azalmış kısaca malzeme esnekliği azalmıştır. Shen ve Kim (2020) tarafından yapılan çalışmada %5 nano bor nitrür içeren filmlerin doygunluğu arttırdığı ve kopma anında uzamanın kontrol filmine kıyasla %25 oranında azaldığı rapor edilmiştir (Shen ve Kim, 2020). Bakhshi ve ark. (2023) PLA matriksine farklı oranlar mikro magnezyum (Mg) dolgusu ekleyerek PLA-Mg kompozitinin mekanik özelliklerini incelemiştir. PLA matrisine Mg partiküllerinin katılması çekme gerilim-gerinim eğrilerini ve gerilme modülünü önemli ölçüde artırmıştır. Ağırlıkça %8 Mg'nin dahil edilmesi, katkısız PLA'nın gerilme mukavemetini ve gerilme modülünü sırasıyla %33.82 ve %23.45 artırmıştır. Ağırlıkça %8'e kadar Mg içeren PLA-Mg kompozitlerinin gerilme özelliklerindeki artış eğilimine rağmen, %10 Mg içeren PLA-Mg kompozitleri nispeten düşük gerilme mukavemeti göstermiştir. Bunun başlıca nedeni, kompozitin içinde mikro boşluklara yol açan bazı bölgelerde Mg parçacıklarının kümelenmesiyle açıklanmıştır. Ağırlıkça %10'dan daha fazla Mg ilavesinin, kompozitlerin mekanik özelliklerini bozduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle PLA-Mg kompozitlerinin homojen yapı oluşturma özelliği ağırlıkça %8'e kadar Mg oranıyla sınırlandırılmıştır.

PLA ile ilgili çalışmalar incelendiğinde gerilme mukavemeti ve kopma anında uzama oranları bakımından doygunluk sınırının %1 oranında mikro ve nano bor nitrür içeren PLA/BN filmlerinin olduğu tespit edilmiştir. Yapıya %1 oranından daha fazla mikro ve nano bor nitrür eklenmesiyle filmlerin gerilme mukavemeti ve kopma anında uzama oranlarında meydana gelen azalma mikro ve nano bor nitrür aglomerasyonu ile açıklanabilir.

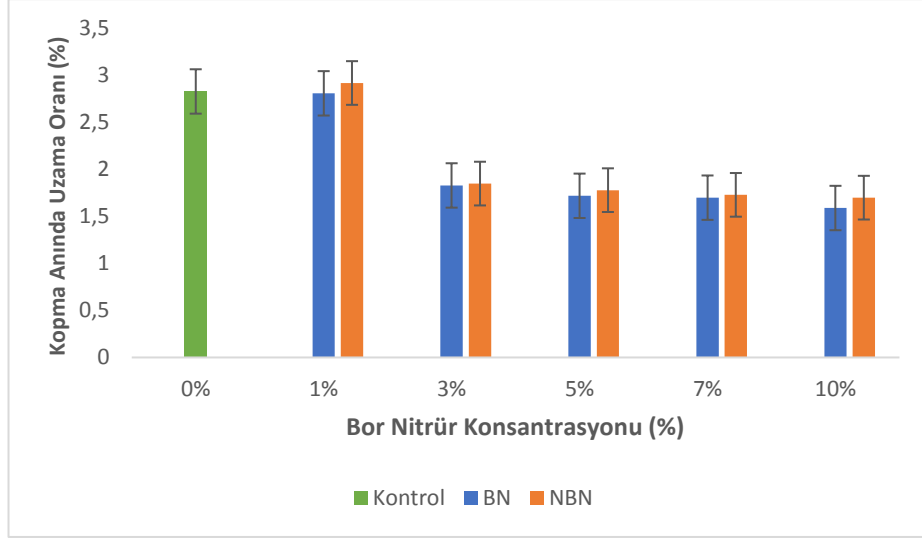
Tablo 3.2. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin mekanik özelliklerine (gerilme mukavemeti ve kopma anında uzama oranı) etkisi.

Film	Bor Nitrür Konsantrasyonu (% a/a)	Gerilme Mukavemeti (MPa)	Kopma Anında Uzama Oranı (%)
K	0	32,80±0,98 ^E	2,83±0,52 ^A
BN.1	1	42,12±0,74 ^B	2,81±0,66 ^A
BN.3	3	36,11±0,72 ^D	1,83±0,49 ^B
BN.5	5	21,90±0,91 ^{HI}	1,72±0,38 ^B
BN.7	7	21,33±0,80 ^I	1,70±0,24 ^B
BN.10	10	19,57±0,86 ^J	1,59±0,23 ^B
NBN.1	1	46,06±0,41 ^A	2,92±0,20 ^A
NBN.3	3	39,45±0,78 ^C	1,85±0,08 ^B
NBN.5	5	25,02±0,46 ^F	1,78±0,10 ^B
NBN.7	7	24,04±0,34 ^{FG}	1,73±0,02 ^B
NBN.10	10	23,15±0,30 ^{GH}	1,70±0,02 ^B

K: Kontrol (PLA film), BN: Mikro bor nitrür, NBN: Nano bor nitrür (A-J): aynı sütunda gruplar arasındaki farklılıklar önemlidir ($p \leq 0,05$)



Şekil 3.5. Mikro/nano bor nitrür konsantrasyonunun PLA filmlerin gerilme mukavemetine etkisi



Şekil 3.6. Mikro/nano bor nitrür konsantrasyonunun PLA filmlerin kopma anında uzama oranı (%) özelliğine etkisi

Kontrol, %1, %3 mikro/nano bor nitrür konsantrasyonlarındaki filmler plastik yapıdayken %5 ve daha fazla mikro/nano bor nitrür konsantrasyonlarındaki filmler kağıda benzer yapı göstermeye başlamıştır. 100°C’de 5, 10 ve 15 saniyede yapıştırılarak boya penetrasyon testi yapılan %0-10 arasındaki mikro ve nano bor nitrür içeren filmlerin ısıl yapışma sonuçları Tablo 3.3’te gösterilmiştir. 100°C’de 5 ve 10 saniyede yapıştırılan tüm filmlerde ve 15 saniyede yapıştırılan kağıt benzeri yapıdaki %5, %7, %10 mikro/nano bor nitrür içeren filmlerde sızdırma görülürken, 15 saniyede yapıştırılan plastik yapıdaki kontrol, %1, %3 mikro/nano bor nitrür içeren filmlerde ise kaynak bölgesinde boya sızıntısı görülmemiştir.

Tablo 3.3. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin ısıl yapışma sonuçları.

Film	Bor Nitrür Konsantrasyonu (% a/a)	100 °C / 5 sn	100 °C / 10 sn	100 °C / 15 sn
K	0	-	-	+
BN.1	1	-	-	+
BN.3	3	-	-	+
BN.5	5	-	-	-
BN.7	7	-	-	-
BN.10	10	-	-	-
NBN.1	1	-	-	+
NBN.3	3	-	-	+
NBN.5	5	-	-	-
NBN.7	7	-	-	-
NBN.10	10	-	-	-

K: kontrol (PLA film), BN: mikro bor nitrür, NBN: nano bor nitrür, - : sızdırma var, + : sızdırma yok

100°C’de ve 15 saniyede yapıştırılıp sızdırma görülmeyen kontrol, %1 BN, %3 BN, %1 NBN, %3 NBN filmlerin ısıl yapışma mukavemeti değerleri (N/m) Tablo 3.4.’te verilmiştir. Kontrol ve mikro/nano bor nitrür katkılı filmler için en yüksek ısıl yapışma mukavemeti 305,22 N/m ile %1 nano bor nitrür (NBN) katkılı filmde, en düşük değer ise 153,78 N/m ile %3 mikro bor nitrür katkılı filmde elde edilmiştir. Kontrol filmlerine kıyasla %1 nano BN dolgulu film %47,3, %1 mikro BN içeren filmde ise %37,7 oranında ısıl yapışma mukavemeti artmıştır. Kontrol PLA ile kıyaslandığında %1 oranında mikro ve nano bor nitrür ilavesi ısıl yapışma mukavemetini önemli düzeyde arttırmıştır ($p<0,05$). Ancak %3 oranında mikro ve nano bor ilavesi ise ısıl yapışma mukavemetinin düşmesine neden olmuştur ($p<0,05$). Nano yapıli filmlerin ısıl yapışma mukavemetinin daha yüksek olması 100 nm'den daha küçük boyutlara sahip nano dolguların yüzey-hacim oranının yüksek olmasıyla açıklanabilir. Nano dolgular polimer ile yüzey etkileşimi sağlayarak kompozit yapıların mekanik özelliklerini iyileştirme, termal ve elektriksel iletkenlik kazandırma, renklendirme ve yüzey kayganlığı sağlama gibi yeni işlevsellikler kazandırmaktadır (Jamróz ve ark, 2019). %5 ve daha fazla oranda mikro/nano bor nitrür ilavesi, film matrisinin doyma sınırını aşarak yapının fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Tablo 3.4. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin ısıl yapışma mukavemeti.

Film	Bor Nitrür Konsantrasyonu (% a/a)	Isıl Yapışma Mukavemeti (N/m)
K	0	207,33±2,45 ^C
BN.1	1	285,33±1,89 ^B
BN.3	3	153,78±1,31 ^E
NBN.1	1	305,22±1,62 ^A
NBN.3	3	161,67±1,70 ^D

(A-E): aynı sütunda gruplar arasındaki farklılıklar önemlidir ($p<0,05$)

K: kontrol (PLA film), BN: mikro bor nitrür, NBN: nano bor nitrür

3.3. Su Buharı Bariyer Özelliği

Filmlerin 23°C’de %50 bağıl nemli ortamda ölçülen su buharı geçiş hızları (WVTR) Tablo 3.5’te verilmektedir. Filmlerin su buharı geçiş hızı bakımından en düşük değer 8,68 g/(m²/gün) ile %1 nano BN katkılı filmde, en yüksek değer ise 13,23 g/(m²/gün) ile kontrol PLA filminde elde edilmiştir. PLA matrisine %1 nano BN eklenmesiyle su buharı geçiş hızında %52 oranında azalma meydana gelirken %1, %3 BN ve %3 NBN ilavesi istatistiki olarak önemli bir azalmaya yol açmamıştır ($p>0,05$). Bu durum

bor nitrür açısından doygunluk seviyesine ulaşıldığını göstermektedir (Nacas ve ark, 2019). Tüm sonuçlar dikkate alındığında PLA matrisine nano bor nitrür ilavesi ile filmlerin su buharı geçiş hızını %50 oranına kadar düşürebilmek mümkündür. Damari ve ark. (2019) epoksi matrisine nano grafen (GNP) ve bor nitrür (BNNP) ilave edilmesiyle su buharı geçiş hızını %80 oranında azaldığını rapor etmişlerdir. Yapılan çalışmada %20 nano bor nitrür ilavesinin su buharı bariyer özelliğini geliştirmek için etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Rhim ve ark. (2009) kompozit yapıya farklı tipte nanodolgu eklenmesinin, kontrol PLA filmine göre su buharı bariyer özelliğini %6-%33 arasında artırabileceğini rapor etmişlerdir. PLA'nın su buharı bariyer özelliği geleneksel fosil bazlı plastiklerden yaklaşık iki kat daha yüksektir (Robertson, 2008). Özellikle ambalaj sektörü için PLA'nın su buharı bariyer özelliğinin artırılması gerekmektedir. PLA matrisinde homojen dağılım sağlayan nano malzemelerin yapıya ilave edilmesi su buharı bariyer özelliğini geliştirebilir.

Bu durumda PLA matrisine %1 nano bor nitrür ilave edilen filmler ile kontrol PLA ve mikro bor nitrür filmlerin su buharı geçiş hızı arasındaki istatistiksel fark, nano bor nitrürün homojen dağılım sağlayarak PLA yapısındaki boşlukları doldurması ile açıklanabilir.

Tablo 3.5. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin su buharı geçiş hızına (WVTR) etkisi.

Film	Bor Nitrür Konsantrasyonu (% a/a)	Su buharı geçiş hızı (WVTR, g/(m ² /gün), 23 °C %50 BN)
K	0	13,23±1,13 ^A
BN.1	1	9,13±0,63 ^{AB}
BN.3	3	9,35±0,75 ^{AB}
NBN.1	1	8,68±0,63 ^B
NBN.3	3	8,80±0,75 ^{AB}

(a-b): aynı sütunda gruplar arasındaki farklılıklar önemlidir (p≤0,05)
K: kontrol (PLA film), BN: mikro bor nitrür, NBN: nano bor nitrür

3.4. Antimikrobiyal Aktivite

Tüm filmlerde bor nitrürün antimikrobiyal aktivite üzerine etkisi incelenmiştir. Disk difüzyon testi yapılan filmlerde inkübasyon süresi sonunda *S. aureus* ve *E. coli*'ye karşı inhibisyon zonu görülmemiştir (Tablo 3.6, Şekil 3.7, 3.8). Shen ve ark. (2022) meyve ve sebzelerin paketlenmesinde kullanılmak üzere bor nitrür katkı ambalajları test etmişlerdir. Bor nitrür katkı polikaprolakton filmlerde antimikrobiyal etkinlik tespit

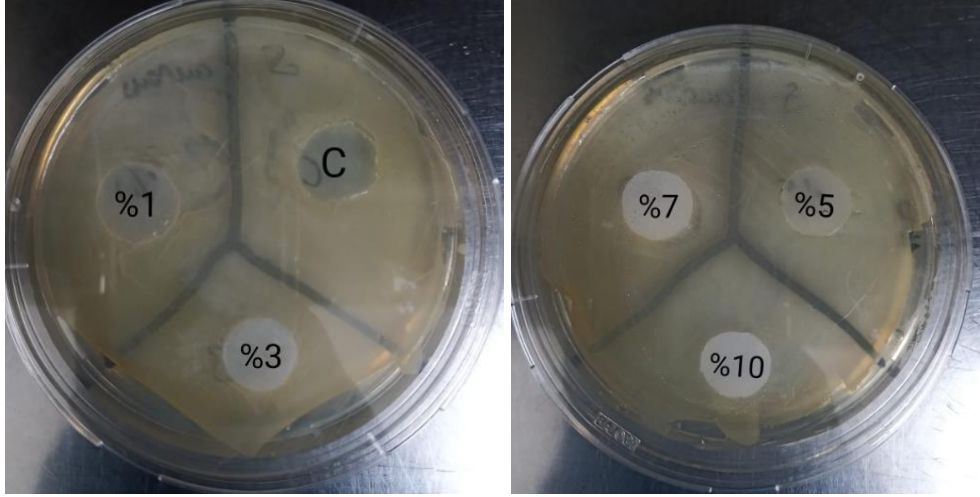
etmemişlerdir. Ancak nano lif yapıda üretilen bor nitrür katkılı filmlerde antimikrobiyal etkinlik belirlemişlerdir (Shen ve ark, 2022). Yegin ve ark. (2022) poli N-metilpirol (PNMPy) ve bor nitrürden (BN) oluşan kompozitin (PNMPy-BN) antimikrobiyal aktivitesini incelemiştir. BN nanoparçacıklarının eklenmesiyle hem gram-negatif hem de gram-pozitif bakteri türlerine karşı PNMPy yapısının antimikrobiyal aktivitesini önemli ölçüde artırdığını belirlemişlerdir. Antimikrobiyal etkinin BN partikülleri ile bakteriler arasındaki elektrostatik etkileşimden kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir. PNMPy-BN kompozitinde bulunan BN'nin nitrojen atomlarındaki yalnız elektron çiftleri, pirol halkasındaki nitrojen atomlarının yanı sıra bakteri hücre duvarları ile ek bir elektrostatik etkileşim olmasıyla açıklanmıştır. Doğan ve Metin (2022) biyomedikal uygulamalar için bor nitrür nanotabakalarla güçlendirilmiş poli(2-hidroksietilmetakrilat) (pHEMA) kompozitin *E. coli* ve *S. aureus* üzerinde antimikrobiyal aktivitesini incelemiştir. 24 saatlik inkübasyondan sonra BN konsantrasyonundaki artışla orantılı olarak bakteri süşunun canlılığının azaldığını belirtmişlerdir.

Mikro/nano bor nitrürün antimikrobiyal aktivite sağladığı çalışmalar olmasına rağmen disk difüzyon yöntemi ile belirlenememesi; polimerlere kimyasal olarak bağlanmış partiküllerin, dış etkenler olmadıkça (titreşim, çözücü bileşen vb.) polimer matriksinde gömülü kalmasıyla açıklanabilir (ASTM International, 2013).

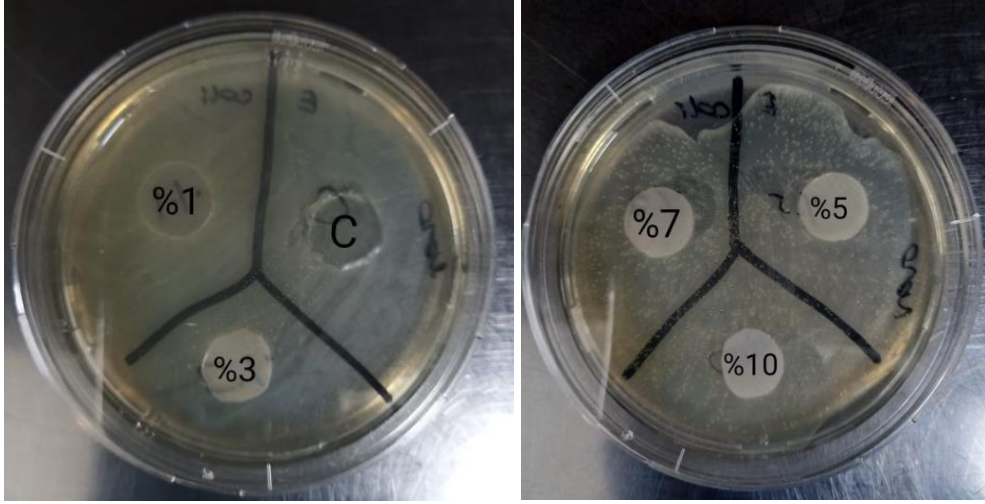
Tablo 3.6. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin antimikrobiyal aktivitesi.

Film	Bor Nitrür Konsantrasyonu (% a/a)	İnhibisyon zonu
K	0	Yok
BN.1	1	Yok
BN.3	3	Yok
BN.5	5	Yok
BN.7	7	Yok
BN.10	10	Yok
NBN.1	1	Yok
NBN.3	3	Yok
NBN.5	5	Yok
NBN.7	7	Yok
NBN.10	10	Yok

K: kontrol (PLA film), BN: mikro bor nitrür, NBN: nano bor nitrür



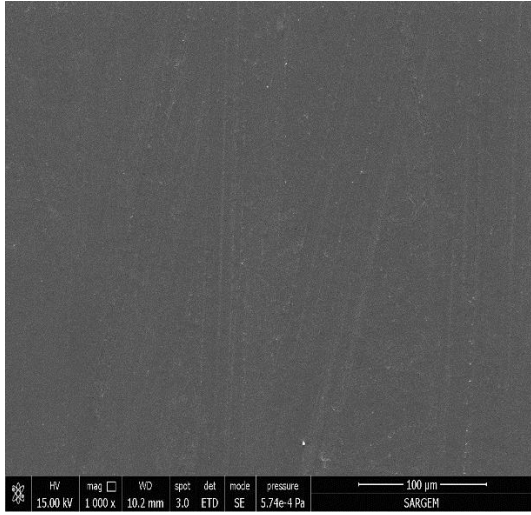
Şekil 3.7. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin *S. aureus*'a etkisi



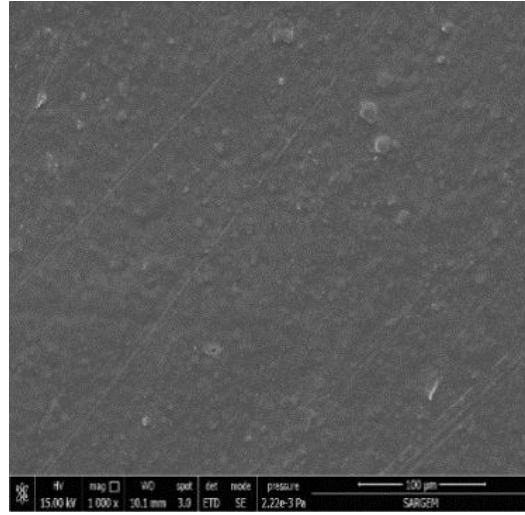
Şekil 3.8. Mikro ve nano bor nitrür içeren PLA filmlerin *E. coli*'ye etkisi

3.5. Morfolojik Özellikler

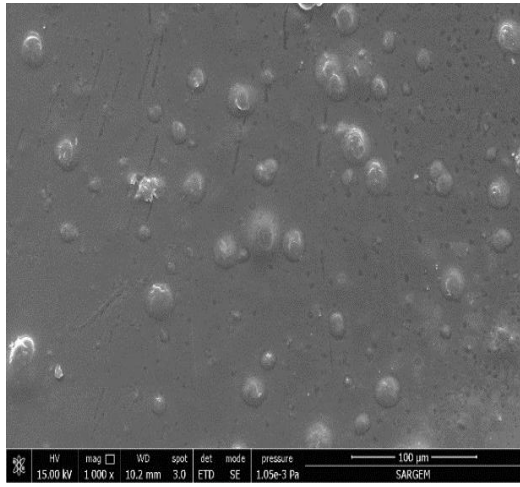
Morfolojik özellikler biyofilmlerin yüzey yapılarındaki gözenekleri ve homojenliği göstermektedir. Biyofilmlerin yapılarının homojen olması hem bariyer hem de mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Tüm filmlerin 1000x büyütme oranlarına ait FE-SEM görüntüleri Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da verilmiştir.



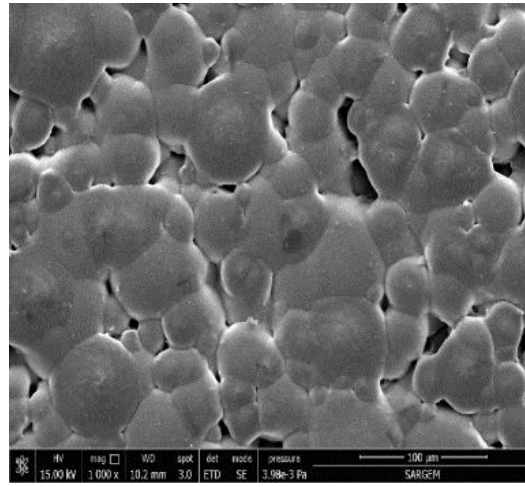
a



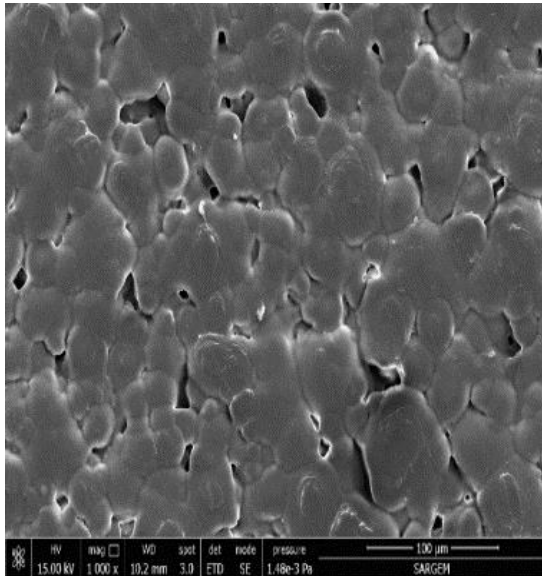
b



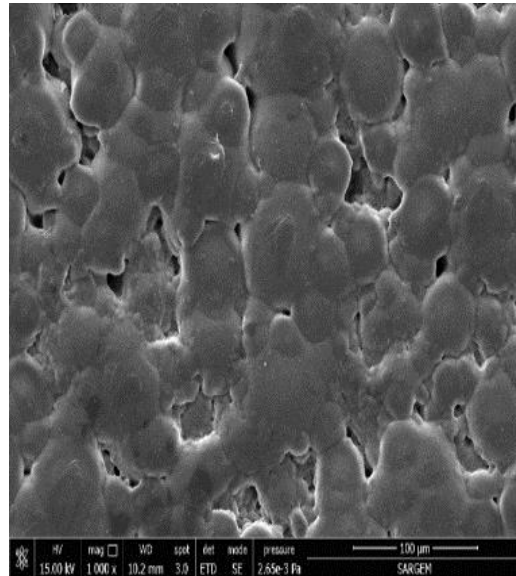
c



D

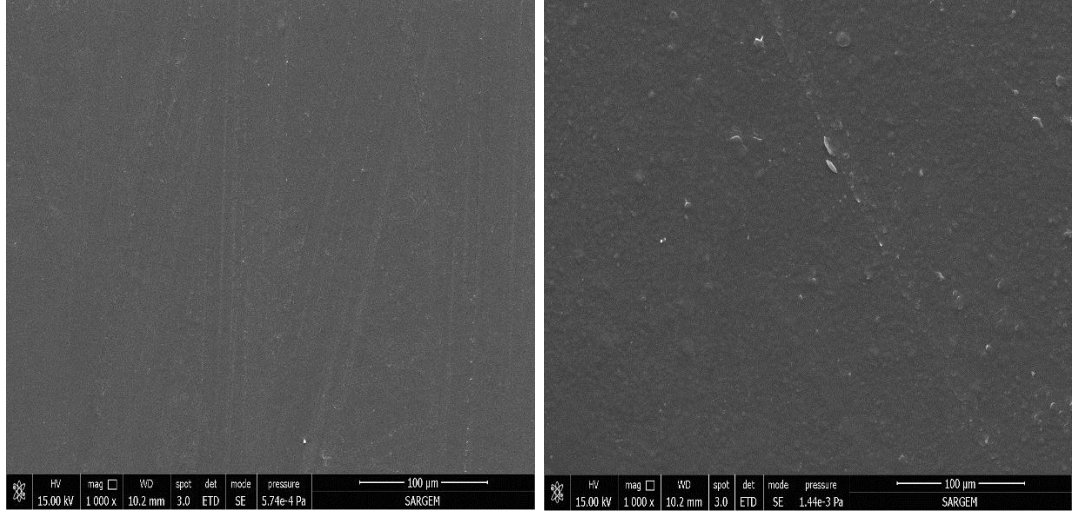


e



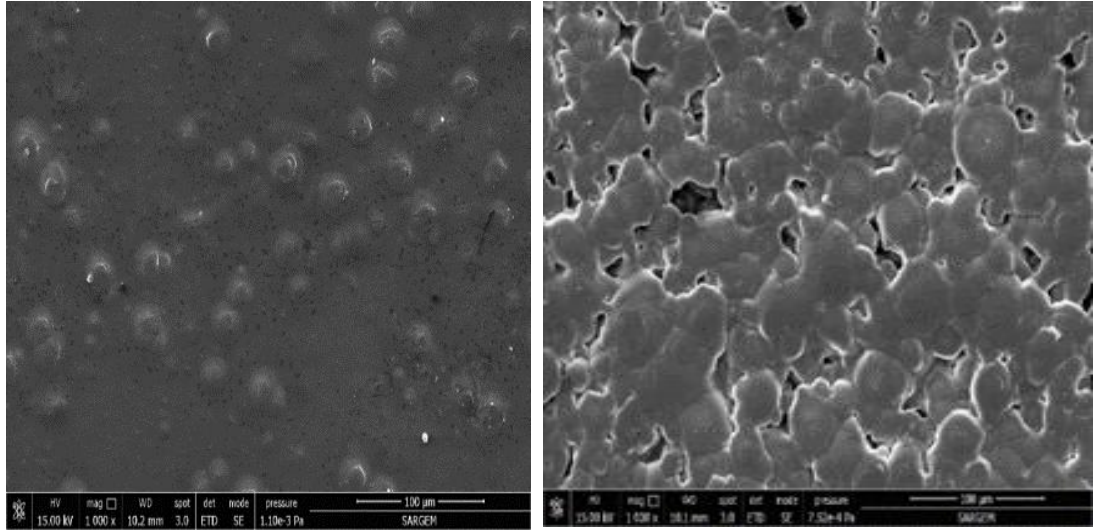
f

Şekil 3.9. a) Kontrol, b) 1% BN, c) 3%BN, d) 5%BN, e) 7%BN, f) 10%BN filmlerin FE-SEM görüntüleri



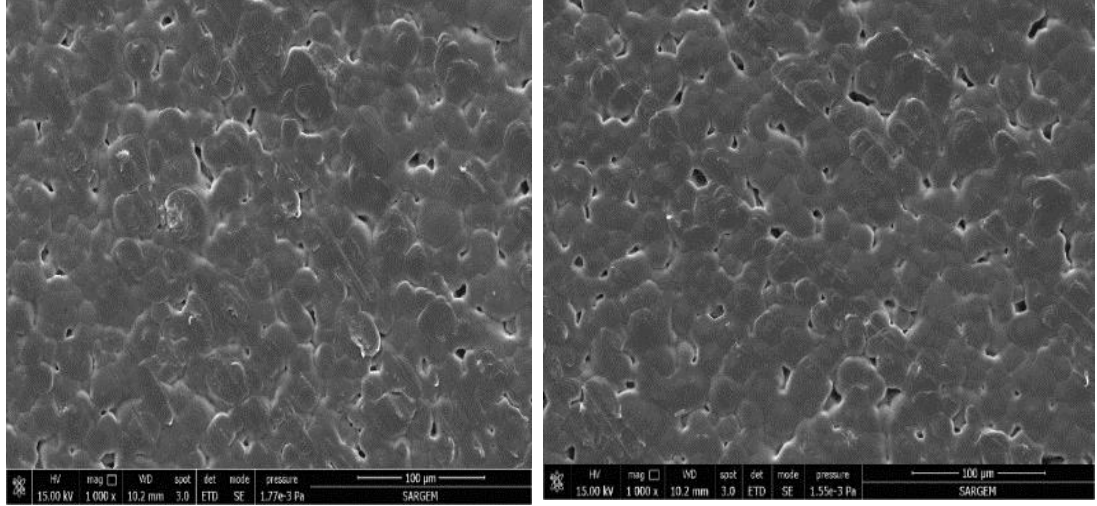
a

b



c

d



e

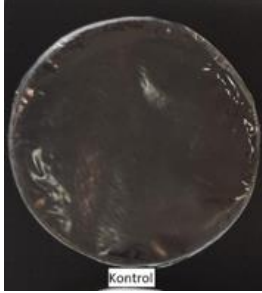

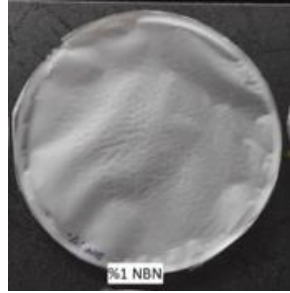
f

Şekil 3.10. a) kontrol b) 1%NBN, c) 3%NBN, d) 5%NBN, e) 7%NBN, f) 10%NBN filmlerin FE-SEM görüntüleri

Şekil 3.9 ve 3.10’da görüldüğü gibi katkısız PLA filmlerin pürüzsüz ve homojen yapıda olduğu gözlemlenmiştir. PLA matrisine %1 oranında mikro/nano bor nitrür eklendiğinde homojen ve pürüzsüz yapının korunduğu, %3 oranında mikro/nano bor nitrür eklendiğinde ise hafif pürüzlü yapının oluşmaya başladığı gözlemlenmiştir. Ancak daha yüksek konsantrasyonlarda bor nitrür eklendiğinde katmanlı ve pürüzlü yapı oluşmaktadır. Nano bor nitrür ilavesi de mikro bor nitrüre göre daha pürüzsüz ve homojen yapı oluşmasını sağlamıştır (Şekil 3.10). %5 ve daha fazla mikro/nano bor nitrür eklendiğinde mekanik özelliklerde azalma, kağıt benzeri yapı oluşma ve ısı yapışma sağlayamama gibi sorunlar meydana gelmiştir. FE-SEM görüntüleri incelendiğinde bu durumunun %5 ve daha fazla mikro/nano bor nitrür içeren filmlerde BN partiküllerinin aglomerasyona uğrayıp homojen yapının bozulmasıyla açıklanabilir. Ancak mikro boyutlarda aglomerasyon nanoya göre daha belirgindir. Nacas ve ark. (2019) polimer geçirgenliğini azaltmak için poliüretana farklı oranlarda bor nitrür eklemişlerdir. FE-SEM görüntülerindeki topaklanmayı BN partiküllerinin düzensiz disk benzeri yapısı ile ilişkilendirmişlerdir (Nacas ve ark, 2019). PLA matrisine farklı oranlarda bor nitrür katılan bir çalışmanın FE-SEM görüntülerinde PLA’nın pürüzsüz yüzeye sahip olduğu BN katkısı eklendikçe düzensiz morfoloji oluştuğu gözlemlenmiştir. %2 BN katkılı filmlerde homojen dağılım gözlemlenirken %4 BN katkılı filmlerde ise BN agregasyonu gözlemlenmiştir ve bu sonuçlar bizim çalışma sonuçlarımızla paralel niteliktedir (Bindhu ve ark, 2018).

Geliştirilen filmlerin karakterizasyon analizlerinde en iyi sonuçları veren kontrol PLA, %1 mikro BN ve %1 nano BN filmlerine ait genel özellikler Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7. Kontrol PLA, %1 mikro ve %1 nano bor nitrür (BN) filmlerin genel özellikleri.

Özellik/Film Adı	Kontrol PLA	%1 mikro BN	%1 nano BN
Görsel			
Renk	L*: 27,48 a*: -0,28 b*: -0,93	L*: 29,58 a*: -0,61 b*: -3,64 ΔE: 3,48	L*: 30,33 a*: -0,59 b*: -3,58 ΔE: 3,91
Kalınlık (μm)	40,19	42,48	41,02
Gerilme mukavemeti (MPa)	32,8	42,12	46,06
Kopma anında uzama (%)	2,83	2,81	2,92
Isıl yapışma mukavemeti (N/m)	207,33	285,33	305,22
Su buharı geçiş hızı (g/(m ² /gün))	13,23	9,13	8,68
Morfoloji	homojen/pürüzsüz	homojen/pürüzsüz	homojen/pürüzsüz

3.6. Raf ömrü

Daha önce üretim detayları anlatılan ve ısıl olarak yapıştırılan torba ambalajlar (Kontrol PLA, %1 BN ve %1 NBN içeren torba ambalajlar) kullanılarak MAP (% 40 CO₂, %60 N₂) uygulaması ile tavuk etleri ambalajlanmıştır. Ürünler +4°C'de depolanmış ve depolama süresince (0, 2, 4, 6 ve 8. günlerde) ürünlerin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyal kalite parametrelerindeki değişimler izlenmiştir. %1 BN ve %1 NBN içeren torbalar ile ambalajlamanın tavukların raf ömrü üzerine etkileri araştırılmıştır.

3.6.1. Renk

Depolama süresince tavuk etlerinde ölçülen renk değerleri Tablo 3.8'de verilmiştir. Genel olarak bakıldığında L* değerinin tüm uygulamalarda depolama süresince azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. a* değerinin de genel olarak tüm uygulamalarda depolama süresi uzadıkça arttığı tespit edilmiştir. a* değerindeki artış özellikle

depolamanın 4. gününden sonra tavuk etinin karakteristik açık pembe renginin kırmızı/kahverengine dönüştüğünü açıklamaktadır. b*(sarılık) değerlerinde ise önemli bir değişim izlenmemiştir ($p>0,05$). Patsias ve ark. (2008) MAP ambalajlamanın tavuk filetolarında kalite üzerine etkisini araştırmışlardır. MAP ambalajlamanın tavuk numuneleri için kırmızılığı (a* değeri) veya sarılığı (b* değeri) etkilemediği sonucuna varmışlardır (Patsias ve ark, 2008). Min ve Ahn (2012) hem aerobik hem de vakum ambalajlama yapılmış hindi etinde 15 günlük depolama süresi boyunca L* ve a* değerlerinde herhangi bir değişiklik olmadığını bildirmişlerdir. Ancak, aerobik olarak paketlenmiş örneklerde b* değerlerinde artış bildirmişlerdir (Min ve Ahn, 2012).

Tablo 3.8. Kontrol PLA, PLA/BN ve PLA/NBN’de ambalajlanan tavuk etinin depolama süresince renk özellikleri.

Depolama Günü	Ürün Grubu	L*	a*	b*
0. gün	K	71,32±1,49 ^{Aa}	1,41±0,21 ^C	-1,23±0,56
	BN	68,93±4,90 ^{Ab}	1,67±1,40 ^C	-2,10±1,19
	NBN	67,82±1,24 ^{Bb}	1,88±1,29 ^C	-2,19±0,20
2.gün	K	69,06±1,17 ^{BCa}	3,56±1,20 ^A	-1,00±0,42
	BN	63,91±1,28 ^{Cb}	3,44±1,20 ^A	-1,66±1,22
	NBN	68,66±0,85 ^{Ba}	3,27±0,43 ^A	-1,49±1,01
4.gün	K	68,11±1,71 ^{Cb}	2,87±0,56 ^B	-2,90±1,11
	BN	66,94±1,72 ^{Bb}	2,51±0,79 ^B	-2,56±0,53
	NBN	70,58±2,23 ^{Aa}	2,31±0,80 ^B	-0,76±0,26
6.gün	K	70,42±1,05 ^{ABa}	2,76±0,60 ^B	-2,29±0,76
	BN	63,82±1,58 ^{Cc}	2,87±0,91 ^B	-1,80±0,86
	NBN	67,74±1,68 ^{Bb}	2,88±0,86 ^B	-1,54±1,57
8.gün	K	68,80±3,73 ^{BCa}	2,79±0,86 ^B	-2,41±1,41
	BN	64,94±3,58 ^{Cb}	2,41±0,45 ^B	-3,41±0,94
	NBN	64,64±2,10 ^{Cb}	2,68±0,39 ^B	-2,48±0,55

(A-C): Aynı grupta günler arasındaki farklılıklar önemlidir ($p\leq 0,05$).

(a-c): Aynı günde gruplar arasındaki farklılıklar önemlidir ($p\leq 0,05$).

K: kontrol (PLA film), BN: mikro bor nitrür, NBN: nano bor nitrür

3.6.2. pH

Kontrol PLA, %1 BN ve NBN içeren PLA ile ambalajlanan tavuk etinin depolama süresince pH değerlerindeki değişim Tablo 3.9’da verilmiştir. Ambalajlı tüm gruplarda tavuk etinin 0. günde 5.8 olan pH düzeyi depolamanın sonunda (8. günde) yaklaşık olarak 6,29-6,33’e yükselmiştir. Ambalaj çeşidinin pH üzerinde çok etkili olmadığı görülmektedir. Al-Nehlawi ve ark. (2012) kastaki pH değişiminin, CO₂'nin etin su ve yağ fazlarında çözünmesi, proteinlerin dekarboksilasyonu üstüne alkalik aminler ve laktik asit oluşumuna neden olan amino asitlere ayrışması şeklinde birçok faktörden

etkilendiğini rapor etmişlerdir (Al-Nehlawi ve ark, 2012). Liu ve ark. (2022) kitosan matrisli aktif ambalajın tavuk göğüs etinin raf ömrü üzerine etkisini incelemişlerdir. Tavuk göğsü etlerinin pH'larının 10 günlük depolama süresi boyunca 5,9 ile 6,5 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Depolama süresince meydana gelen bu değişimi depolamanın 2. ve 4. günlerinde kas glikojeninin fermentasyona uğraması ve hücrel solunum sebebiyle laktik asit ve fosforik asit gibi asidik maddeler oluşmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Depolamanın 6. gününden sonra ise tavuk göğsü etinin mikroorganizmaların etkisi altında kaldığını ve bu nedenle etteki proteinler, amino asitler ve diğer maddeler, tavuk göğsünün pH'sını artıran amin metabolitlerine dönüştüğünü ifade ederek açıklamışlardır (Liu ve ark, 2022).

Tablo 3.9. Kontrol PLA, PLA/BN ve PLA/NBN'de ambalajlanan tavuk etinin depolama süresince pH değeri.

Ürün Grubu	0.gün	2.gün	4.gün	6.gün	8.gün
K	5,8±0,04 ^{Ca}	6,19±0,12 ^{Ba}	6,41±0,01 ^{Aba}	6,13±0,13 ^{ABb}	6,33±0,12 ^{Aa}
BN	5,8±0,04 ^{Ca}	5,98±0,14 ^{Bb}	6,14±0,13 ^{ABb}	6,20±0,02 ^{Aba}	6,29±0,13 ^{Ab}
NBN	5,8±0,04 ^{Ca}	6,01±0,13 ^{Bb}	6,02±0,16 ^{ABb}	6,15±0,10 ^{ABb}	6,29±0,02 ^{Ab}

(A-C): Aynı grupta günler arasındaki farklılıklar önemlidir ($p \leq 0,05$).

(a-b): Aynı günde gruplar arasındaki farklılıklar önemlidir ($p \leq 0,05$).

K: kontrol (PLA film), BN: mikro bor nitrür, NBN: nano bor nitrür

3.6.3. Nem içeriği (%)

Kontrol PLA, %1 BN ve NBN içeren PLA ile ambalajlanan tavuk etinin depolama süresince nem değerlerindeki değişim Tablo 3.10'da verilmiştir. Kontrol PLA, BN ve NBN gruplarında ambalanan tavuk etlerinin % nem içeriğinde depolamanın 6. gününe kadar önemli bir değişim olmamıştır ($p > 0,05$). Depolamanın 6. gününden sonra nem içeriğinde istatistiki olarak düşüş ortaya çıkmıştır ($p \leq 0,05$). Depolama süresince nem değerleri açısından gruplar arasında istatistiksel açıdan önemli bir farklılık tespit edilmemiştir ($p > 0,05$).

Tablo 3.10. Kontrol PLA, PLA/BN ve PLA/NBN'de ambalajlanan tavuk etinin depolama süresince nem (%) içeriği.

Ürün Grubu	0.gün	2.gün	4.gün	6.gün	8.gün
K	75,00±0,00 ^A	74,87±0,25 ^A	74,80±0,19 ^A	75,41±0,29 ^A	72,41±1,53 ^B
BN	75,00±0,00 ^A	73,48±0,66 ^A	73,72±0,61 ^A	73,71±0,40 ^A	73,14±0,22 ^B
NBN	75,00±0,00 ^A	73,67±1,67 ^A	74,16±0,48 ^A	73,98±0,66 ^A	73,66±0,36 ^B

(A-B): Aynı grupta günler arasındaki farklılıklar önemlidir ($p \leq 0,05$).

K: kontrol (PLA film), BN: mikro bor nitrür, NBN: nano bor nitrür

3.6.4. Toplam mezofilik bakteri (TMB)

Kontrol PLA, %1 mikro ve nano BN içeren PLA ile ambalajlanan tavuk etinin depolama süresince toplam mezofilik bakteri sayılarındaki değişim Tablo 3.11’de ve Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Her üç ambalaj grubunda depolamanın 4. gününe kadar toplam bakteri sayıları arasında önemli bir değişim görülmemiştir ($p>0,05$). Depolamanın 4. gününden sonra toplam mezofilik bakteri değerleri önemli ölçüde artış göstermiştir ($p\leq 0,05$). TMB sayıları açısından depolama süresince K, BN ve NBN grupları arasında istatistiksel bir farklılık olmadığı ($p>0,05$) tespit edilmiştir. Et ve et ürünlerinde toplam bakteri sayısı için kritik limit 6 log kob/g’dır (Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği, 2011). Bu değerden sonra etlerin yavaş yavaş bozulma belirtileri göstermeye başlayacakları, TMB sayısının 8 log kob/g’ın üzerine çıkmasının ise et ve et ürünlerinde duyuşsal olarak da algılanabilen kötü koku oluşumuna neden olacağı belirtilmektedir (Aksan, 2010). Çalışma kapsamında analizi yapılan tavuk göğüs etlerinin TMB sayıları depolama süresince artmıştır. Bu artış neticesinde; kontrol ve mikro BN ambalaj gruplarında 4. günde, nano BN ambalaj grubunda ise yaklaşık 5. günde kritik limit olan 6 log kob/g değerine ulaşmıştır. Tüm gruplarda 6.günden itibaren bozulmanın başladığı gözlenmiştir. Duyuşsal analiz sonuçları da bunu destekler niteliktedir.

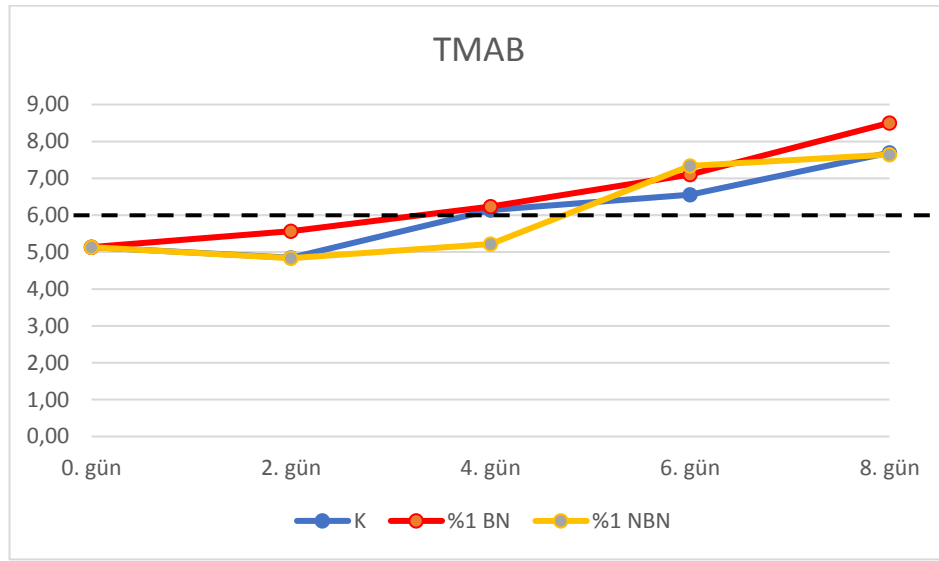
Tablo 3.11. Kontrol PLA, PLA/BN ve PLA/NBN de ambalajlanan tavuk etinin toplam mezofilik bakteri sayısı (log kob/g).

Ürün Grubu	0.gün	2.gün	4.gün	6.gün	8.gün
K	5,14±0,57 ^D	4,85±0,15 ^D	6,14±0,05 ^C	6,55±0,34 ^B	7,70±0,48 ^A
BN	5,14±0,57 ^D	5,57±0,19 ^D	6,24±0,29 ^C	7,10±0,23 ^B	8,50±0,15 ^A
NBN	5,14±0,57 ^D	4,83±0,70 ^D	5,22±0,57 ^C	7,34±0,18 ^B	7,64±0,12 ^A

(A-D): Aynı grupta günler arasındaki farklılıklar önemlidir ($p \leq 0,05$).

* Aynı günde gruplar arasındaki farklılıklar önemli değildir ($p > 0,05$).

K: kontrol (PLA film), BN: mikro bor nitür, NBN: nano bor nitür



Şekil 3.11. Tavukların depolama süresince toplam mezofilik bakteri değerleri

3.6.5. Duyusal değerlendirme

Depolama süresince tavuk etlerinin duysal değerlendirme puanlarındaki değişimler Tablo 3.12’de verilmiştir. Her üç malzemeye ambalajlanmış tavuk etlerinin duysal nitelikler (görünüş-renk, koku, tekstür) ve genel beğeni açısından 4. günün sonuna kadar kabul edilebilir ve üzeri puanlar aldığı gözlenmiştir. 6. günde kontrol PLA grubundaki tüm duysal parametreleri kabul edilebilir (3-orta) değerde iken BN ve NBN ambalajlarındaki tavuk etlerinin görünüş, koku ve genel beğeni puanları kabul edilebilir sınırının altında kalmıştır. Tekstür puanları ise kabul edilebilir bulunmuştur. 6. günde tüm tavuklarda yüzeyde kuruma, renkte sararma ve bozulma kokusu meydana geldiği tespit edilmiştir. Her üç malzemeye ambalajlanmış tavuk etlerinin 8. günde görünüş, koku ve genel beğeni puanları kabul edilebilir limitinin altında kalmıştır.

Mikrobiyolojik ve duyu analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde kontrol PLA, %1 mikro ve nano bor nitür torbalarda ambalajlanan tavuk etlerinin raf ömrünün +4 °C’de %40CO₂ ve %60N₂ MAP koşullarında 4-5 günle sınırlı olduğu belirtilebilir.

Tablo 3.12. Kontrol PLA, PLA/BN ve PLA/NBN’de ambalajlanan tavuk etinin depolama süresince duyu özellikleri ve genel beğeni.

Kriter	Ürün grubu	0.gün	2.gün	4.gün	6.gün	8.gün
Görünüş/Renk	K	5±0,00 ^{Aa}	5±0,00 ^{Aa}	5±0,55 ^{Aa}	3±1,03 ^{Ba}	2±0,75 ^{Ca}
	BN	5±0,00 ^{Aa}	5±0,00 ^{Aa}	3±0,55 ^{Bb}	2±0,75 ^{Cb}	1±0,41 ^{Db}
	NBN	5±0,00 ^{Aa}	5±0,00 ^{Aa}	3±0,55 ^{Bb}	2±1,21 ^{Cb}	2±0,55 ^{Ca}
Koku	K	5±0,00 ^{Aa}	5±0,00 ^{Aa}	4±0,75 ^{Ba}	3±1,21 ^{Ca}	1±0,00 ^{Da}
	BN	5±0,00 ^{Aa}	5±0,00 ^{Aa}	3±1,03 ^{Bb}	2±0,82 ^{Cb}	1±0,00 ^{Db}
	NBN	5±0,00 ^{Aa}	5±0,00 ^{Aa}	3±1,10 ^{Bb}	2±0,52 ^{Cb}	1±0,00 ^{Db}
Tekstür	K	5±0,00 ^{Aa}	5±0,00 ^{Aa}	4±0,52 ^{Ba}	3±0,89 ^{Ca}	3±0,55 ^{Ca}
	BN	5±0,00 ^{Aa}	5±0,00 ^{Aa}	3±1,17 ^{Bb}	3±0,75 ^{Ba}	2±0,63 ^{Cb}
	NBN	5±0,00 ^{Aa}	5±0,00 ^{Aa}	3±0,84 ^{Bb}	3±0,75 ^{Ba}	2±0,63 ^{Cb}
Genel beğeni	K	5±0,00 ^{Aa}	5±0,00 ^{Aa}	4±0,52 ^{Ba}	3±0,84 ^{Ca}	1±0,00 ^{Da}
	BN	5±0,00 ^{Aa}	5±0,00 ^{Aa}	3±0,52 ^{Bb}	2±0,52 ^{Cb}	1±0,00 ^{Da}
	NBN	5±0,00 ^{Aa}	5±0,00 ^{Aa}	3±0,55 ^{Bb}	2±0,55 ^{Cb}	1±0,00 ^{Da}

(A-D): Aynı grupta günler arasındaki farklılıklar önemlidir ($p \leq 0,05$).

(a-b): Aynı günde gruplar arasındaki farklılıklar önemlidir ($p \leq 0,05$).

K: kontrol (PLA film), BN: mikro bor nitür, NBN: nano bor nitür

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada PLA'ya mikro ve nano boyutta ve farklı konstrasyonlarda bor nitrür eklenerek mekanik, bariyer, morfolojik ve antimikrobiyal özelliklerinin geliştirilmesi, geliştirilen PLA bazlı kompozit filmlerin sentetik plastik gıda ambalajlarına alternatif olarak tavuk etinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çözelti dökme yöntemiyle homojen ve pürüzsüz filmler oluşturabilmiştir. PLA matrisindeki mikro ve nano bor nitrür oranı arttıkça transparanlık azalmış, beyazlık ve kalınlık değerleri artmıştır. %1 ve %3 oranındaki mikro/nano bor nitrür filmlerin kontrol filmine kıyasla mekanik ve su buharı bariyer özellikleri artmış ve yalnızca bu filmlerde sızdırmayan ısıl yapışma sağlanmıştır. PLA matrisindeki %1 ve %3 oranındaki mikro/nano bor nitrür ilavesi filmlerin su buharı geçiş hızını %50 oranına kadar azaltmaktadır. Mikro ve nano bor nitrür içeren filmlerin hiçbirinde *S. aureus* ve *E. coli*'ye karşı antimikrobiyal aktivite disk difüzyon yöntemiyle tespit edilememiştir. Filmlerin FE-SEM ile görüntülenen morfolojik özellikleri incelendiğinde %3'ten daha fazla mikro/nano bor nitrür eklenmesiyle aglomerasyona bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve homojenliğin azaldığı görülmektedir.

Mikrobiyolojik ve duyu analizi sonuçları birlikte değerlendirildiğinde kontrol PLA, %1 mikro ve nano PLA torbalarda ambalajlanan tavuk etlerinin raf ömrünün +4 °C'de %40 CO₂ ve %60 N₂ MAP koşullarında 4-5 güne sınırlı olduğu belirtilebilir. Ambalaj filmleri tavuk eti sektöründe kullanılan ambalajlardan daha ince olmasına rağmen kıyaslanabilir bir raf ömrü elde edilmiştir.

Sonuç olarak geri dönüşümü zor olan LDPE/PS gibi petrol türevi plastik gıda ambalajlarının yerine kullanılacak bor nitrür içerikli PLA biyobozunur malzemesi geliştirilmiştir. Özellikle nano bor nitrür PLA'nın mekanik ve su buharı bariyer özelliklerini geliştirmiştir. Bor nitrür katkılı filmlerin gıda ambalajlama teknolojilerinden biri olan MAP uygulamasında kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir. Geliştirilen malzeme ile ambalajlanan tavuk eti, ticari plastik malzemelerle ambalajlanan tavuk etine yakın raf ömrü sağlamıştır. Bor nitrürle birlikte antimikrobiyal bir bileşenin ilavesi ile PLA'ya aktif özellikte kazandırılarak gıdaların

Özellikle et ürünlerinin raf ömrünü artırmak mümkün olabilecektir. Özellikle tavuk eti gibi raf ömrü kısa ürünlerde PLA gibi biyobozunur malzemelerin kullanılması evre kirliliği açısından ciddi bir sorun olan atık yönetimi problemlerinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Ambalaj malzemesinin ticari üretiminin yapılabilmesi için sitotoksisite ve migrasyon testlerinin yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdelhedi, O., Nasri, R., Jridi, M., Kchaou, H., Nasreddine, B., Karbowiak, T. (2018). Composite bioactive films based on smooth-hound viscera proteins and gelatin: Physicochemical characterization and antioxidant properties. *Food Hydrocolloids*, 74, 176-186. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.006>
- Ahmed, J., Hiremath, N., Jacob, H. (2017). Antimicrobial efficacies of essential oils/nanoparticles incorporated polylactide films against *L. monocytogenes* and *S. typhimurium* on contaminated cheese. *International journal of food properties*, 20(1), 53-67. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1131165>
- Aksan, E. (2010). *Gıdaların mikrobiyal bozulması: Gıda mikrobiyolojisi*. Erkmen, O. (Ed). Efil Yayınevi, 552 s., Ankara.
- Al-Nehlawi, A., Saldo, J., Vega, L.F., Guri, S. (2012). Effect of high carbon dioxide atmosphere packaging and soluble gas stabilization pre-treatment on the shelf-life and quality of chicken drumsticks. *Meat Sci*, 94, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.12.008>
- Anonim. (2011). Mikrobiyoloji el kitabı (Hızlı Erişim). Halkman K., Sağdaş Ö.E. (Ed.), *Merck*.
- Anonymous. (2000). *Official methods of analyses*. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), Washington, DC
- AOAC. (2005). *Official methods of analysis* (18th ed. pp. 2087-2417). AOAC International press.
- ASTM D3985-05. (2005). *Standard Test Method for Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Coulometric Sensor*. ASTM International.
- ASTM E2149-10. (2013). *Standard Test Method for Determining the Antimicrobial Activity of Immobilized Antimicrobial Agents Under Dynamic Contact Conditions*. Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM E96-05. (2005). *Standard test methods for water vapor transmission of material*. Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM E96-80. (1989). *Standard test methods for water vapor transmission of materials*. Annual Book of ASTM Standards.
- Auras, R.A., Harte, B., Selke, S., Hernandez, R. (2003). Mechanical, Physical, and Barrier Properties of Poly(Lactide) Films. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 19(2), 123-135. <https://doi.org/10.1177/8756087903039702>
- Argente, E.T. (2018). Incorporation of active components in biopolymer-based films for food use. [Doctoral Thesis], Universitat Politècnica de València

- Atarés, L., ve Chiralt, A. (2016). Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 48, 51-62.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.001>
- Auras, R. A., Lim, L. T., Selke, S. E., & Tsuji, H. (Eds.). (2011). *Poly (lactic acid): synthesis, structures, properties, processing, and applications (Vol. 10)*. John Wiley & Sons.
- Bakhshi, R., Mohammadi-Zerankeshi, M., Mehrabi-Dehdezi, M., Alizadeh, R., Labbaf, S., Abachi, P. (2023). Additive manufacturing of PLA-Mg composite scaffolds for hard tissue engineering applications. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 105655.
<https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2023.105655>
- Bhat, R., Abdullah, N., Din, R. H., Tay, G. S. (2013). Producing novel sago starch based food packaging films by incorporating lignin isolated from oil palm black liquor waste. *Journal of Food Engineering*, 119(4), 707-713.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.043>
- Bindhu, B., Renisha, R., Roberts, L., Varghese, T.O. (2018). Boron Nitride reinforced polylactic acid composites film for packaging: Preparation and properties. *Polymer Testing*, Volume 66, 172-177.
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.01.018>
- Boro, U. ve Moholkar, V. (2022). Antimicrobial bionanocomposites of poly(lactic acid)/ZnO deposited halloysite nanotubes for potential food packaging applications. *Materials Today Communications, Materials Today Communications*, (33), 104787.
<https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104787>
- Busolo, M.A., Torres-Giner, S., Lagaron, J.M. (2009). Enhancing the gas barrier properties of polylactic acid by means of electrospun ultrathin zein fibers. In *ANTEC* (proceedings of the 67th annual technical conference, Volume: 5, 2763-2767). Chicago, ABD
- Castro-Aguirre, E., Iñiguez-Franco, F., Samsudin, H., Fang, X., Auras, R. (2016). Poly (lactic acid) Mass production, processing, industrial applications and end of life. *J Clean Prod.*, 107, 333-366.
<https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.03.010>
- Chang, C. C., Trinh, B. M., Mekonnen, T. H. (2021). Robust multiphase and multilayer starch/polymer (TPS/PBAT) film with simultaneous oxygen/moisture barrier properties. *Journal of Colloid and Interface Science*, 593, 290-303.
<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.03.010>
- Chen, J., Li, Y., Wang, Y., Yakubu, S., Tang H., Li L. (2022). Active polylactic acid/tilapia fish gelatin-sodium alginate bilayer films: Application in preservation of Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*). *Food Packaging and Shelf Life*, 33, 100915.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100915>

- Chen, L., Li, K., Li, B., Ren, D., Chen, S., Xu, M., Liu X. (2019). Enhanced thermal conductivity of benzoxazine nanocomposites based on non-covalent functionalized hexagonal boron nitride. *Composites Science and Technology*, 182, 107741. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2019.107741>
- Chieng, B.W., Ibrahim, N.A., Yunus, W.M.Z.W., Hussein, M.Z., Then, Y.Y., Loo, Y.Y. (2014). Effects of graphene nanoplatelet and reduced graphene oxide on poly (lactic acid) and plasticized poly (lactic acid): a comparative study. *Polymers*, 6(8), 2232-2246. <https://doi.org/10.3390/polym6082232>
- Civancik-Uslu, D., Ferrer, L., Puig, R., Fullana-I-Palmer P. (2018). Are functional fillers improving environmental behavior of plastics? A review on LCA studies. *Sci. Total Environ.*, 626, 927-940. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.149>
- Council, E. (2019). Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the Reduction of the Impact of Certain Plastic Products on the Environment. *European Union: Maastricht, The Netherlands*.
- Damaria, S. P., Cullaria, L., Laredo, D., Nadiv, R., Ruse, E., Sripada, R., Regev, O. (2019). Graphene and boron nitride nanoplatelets for improving vapor barrier properties in epoxy nanocomposites. *Progress in Organic Coatings*, Volume 136, 105207. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.06.053>
- Dave, F. 2020. COVID-19 has worsened the ocean plastic pollution problem. *Scientific American*, <https://www.scientificamerican.com/article/covid-19-has-worsened-the-ocean-plastic-pollution-problem/>; Erişim tarihi: [25.02.2021].
- Doğan, D., and Metin, A. Ü. (2022). Physicochemical and biological assessment of boron nitride nanosheets-reinforced poly (2-hydroxyethylmethacrylate) composite for biomedical applications. *Materials Today Communications*, 33, 104807. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104807>
- Elsawy, M.A., Kim, K.H., Park, J.W., Deep, A. (2017). Hydrolytic degradation of polylactic acid (PLA) and its composites. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 79, 1346-1352. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.143>
- Erdoğan, Z.Ö., Çam, B., Turhan, K.N. (2013). Characterization of antimicrobial polylactic acid based films. *Journal of Food Engineering*, 119 (2), 308-315. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.043>
- Fang, Y., Tung, M.A., Britt, I. J., Yada, S., Dalgleish, D.G. (2002). Tensile and barrier properties of edible films made from whey proteins. *Journal of Food Science*, 67(1), 188-193. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11381.x>
- Fiore, A., Park, S., Volpe, S., Torrieri, E., Masi, P. (2021). Active packaging based on PLA and chitosan-caseinate enriched rosemary essential oil coating for fresh minced chicken breast application. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100708. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100708>

- Foschi, E., Bonoli, A. (2019). The Commitment of Packaging Industry in the Framework of the European Strategy for Plastics in a Circular Economy. *Adm. Sci.*, 9(1), 18. <https://doi.org/10.3390/admsci9010018>
- Fu, Y., Wu, G., Bian, X., Zeng, J., Weng Y. (2020). Biodegradation Behavior of Poly(Butylene Adipate-Co-Terephthalate) (PBAT), Poly(Lactic Acid) (PLA) and Their Blend in Freshwater with Sediment. *Molecules*, 25, 3946. <https://doi.org/10.3390/molecules25173946>
- Gao, H., Fang, X., Chen, H., Qin, Y., Xu, F., Jin, T.Z. (2017). Physiochemical Properties and Food Application of Antimicrobial PLA Film. *Food Control*, 73, 1522–31. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.11.017>
- Ge, X., Huang, X., Zhou, L., Wang, Y. (2022). Essential oil-loaded antimicrobial and antioxidant zein/poly (lactic acid) film as active food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 34, 100977. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100977>
- Ghaffari, S., Khalid, S., Butler, M., Naguib, H.E. (2015). Development of High Thermally Conductive and Electrically Insulative Polylactic Acid (PLA) and Hexagonal Boron Nitride (hBN) Composites for Electronic Packaging Applications. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 9(2). <https://doi.org/10.1166/jbmb.2015.1516>
- Halkman, A.K. ve Sağdaş, Ö.E. (Ed.) (2011). *Merck Mikrobiyoloji el kitabı (Hızlı Erişim)* (2. Baskı).
- Han J. (2000). Antimicrobial food packaging, Novel food packaging techniques (8, pp.50-70). CRC Press.
- Han, L., Qin, Y., Liu, D., Chen, H., Li, H., Yuan, M. (2015). Evaluation of biodegradable film packaging to improve the shelf-life of Boletus edulis wild edible mushrooms. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 29, 288-294. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.04.008>
- Han, N., Wang, S., Rana, A., Asif, S., Klemeš J.J., Bokhari, A., Long, J., Thakur, V.K., Zhao, X. (2022). Rational design of boron nitride with different dimensionalities for sustainable applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 170,112910. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112910>
- Hassan, B., Chatha, S.A.S., Hussain, A.I., Zia, K.M., Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: a review. *Int. J. Biol. Macromol.*, 109, 1095-1107. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>
- Huo, Y., Dijkstra, F.A., Possell, M., Singh, B. (2022). Ecotoxicological effects of plastics on plants, soil fauna and microorganisms: a meta-analysis. *Environ. Pollut.*, 310, 119892. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119892>

- Ita-Nagy, D., Vázquez-Rowe, I., Kahhat, R., Quispe, I., Chinga-Carrasco, G., Clauser, N. M., & Area, M. C. (2020). Life cycle assessment of bagasse fiber reinforced biocomposites. *Science of the Total Environment*, 720, 137586. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137586>
- Jamróz, E., Kulawik, P., Kopel, P. (2019). The Effect of Nanofillers on the Functional Properties of Biopolymer-Based Films: A Review. *Polymers*, 11, 675 <https://doi.org/10.3390/polym11040675>
- Karagöz, Z. ve Candoğan, K. (2007). Et teknolojisinde antimikrobiyal ambalajlama, *Gıda*, 32 (3), 113-122. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gida/issue/6807/91493>
- Kayani, Z.N., Bashir, Z., Mohsin, M., Riaz, S., Naseem, S. (2021). Sol-gel synthesized boron nitride (BN) thin films for antibacterial and magnetic applications. *Optik*, 243, 167502. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2021.167502>
- Kıvanç, M., Barutca, B., Koparal A.T, Göncü, Y., Bostancı, S.H., Ay, N. (2018). Effects of hexagonal boron nitride nanoparticles on antimicrobial and antibiofilm activities cell viability. *Materials Science and Engineering: C*, 91, 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.05.028>
- Kisku, S.K., Swain, S.K. (2012). Synthesis and characterization of chitosan/boron nitride composites. *Journal of the American Ceramic Society*, 2753-2757. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2012.05140.x>
- Kumar, A., Venkatappa, Rao T., Chowdhury, S., Ramana, Reddy S.V.S. (2017). Compatibility confirmation and refinement of thermal and mechanical properties of poly (lactic acid)/poly (ethylene-co-glycidyl methacrylate) blend reinforced by hexagonal boron nitride. *Reactive and Functional Polymers*, 117, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2017.05.005>
- Kumbar, S.G., James, R., Nukavarapu, S.P. (2008). Electrospun nanofiber scaffolds: engineering soft tissues. *Biomedical Materials*, 3 (3), 34002. <https://doi.org/10.1088/1748-6041/3/3/034002>
- Liang, T., Sun, G., Cao, L., Li, J., Wang, L. (2018). Rheological behavior of film-forming solutions and film properties from *Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum and purple onion peel extract. *Food Hydrocolloids*, 82, 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.055>
- Liu, J., Meng, C.G., Liu, S., Kan J., Jin, C.H. (2017). Preparation and characterization of protocatechuic acid grafted chitosan films with antioxidant activity. *Food Hydrocoll*, 63, 457-66. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.035>
- Liu Y., Wang R., Wang D., Güneş Z., Liu F., Zhang D., Wang D. (2022). Development of a food packaging antibacterial hydrogel based on gelatin, chitosan, and 3-phenyllactic acid for the shelf-life extension of chilled chicken. *Food Hydrocolloids*, Volume 127, 107546. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107546>

- Loomba, L., Tiziano, Scarabelli. (2013). Metallic nanoparticles and their medicinal potential. Part II: aluminosilicates, nanobiomagnets, quantum dots and cochleates. *Therapeutic Delivery*, 4, 9. <https://doi.org/10.4155/tde.13.74>
- Lule, Z.C., Oh, H., Kim, J. (2020). Enhanced directional thermal conductivity of polylactic acid/polybutylene adipate terephthalate ternary composite filled with oriented and surface treated boron nitride. *Polymer Testing*, 86, 106495. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106495>
- Madival, S., Auras, R., Singh, S. P., Narayan, R. (2009). Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology. *Journal of Cleaner Production*, 17(13), 1183-1194. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.03.015>.
- Martucci, R.A.R.J.F., Reyes, E.A., Rastogi, S., Ozkoc, G. (2010). Three-layer sheets based on gelatin and poly(lactic acid), Part 1: preparation and properties, rubber-toughened PLA blends with low thermal expansion. *J. Appl. Polym. Sci.*, 118. <https://doi.org/10.1002/app.32751>
- Mielnik M.B., Olsen E., Vogt G., Adeline D., Skrede G. (2006). Grape seed extract as antioxidant in cooked, cold stored turkey meat. *LWT - Food Science and Technology*, 39, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.02.003>
- Mikloskova, H., Witte, F., Joeres, E., Terjung, N. (2021). Storage stability of plain stirred whole milk yoghurt (3.7% fat) packed in polylactic acid and polystyrene. *International Dairy Journal*, 120, 105088. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105088>
- Min, B., and Ahn, D. U. (2012). Sensory properties of packaged fresh and processed poultry meat. *In Advances in meat, poultry and seafood packaging*, (pp. 112-153). <https://doi.org/10.1533/9780857095718.1.112>
- Mulla, M., Ahmed, J., AL-Attar, H., Castro-Aguirre, E., Arfat, J., Auras, R. (2017). Antimicrobial efficacy of clove essential oil infused into chemically modified LLDPE film for chicken meat packaging, *Food Control*, 73, 663-671. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.foodcont.2016.09.018>
- Nacas, A.M., Antonino, L.D., Chinellato, A.C., Santos, D.J.dos. (2019). Nano boron nitride/polyurethane adhesives in flexible laminated food packaging: Peeling resistance and permeability properties, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 93, 102326. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.01.020>
- Nalçabasmaz S. (2014). *Nanomalzemelerin vakum ve modifiye atmosferde ambalajlanan tüketime hazır dilimlenmiş salamın kalitesi ve raf ömrüne etkisi*. [Yüksek lisans tezi]. Mustafa Kemal Üniversitesi.
- Nguyen, H. L., Hanif, Z., Park, S. A., Choi, B. G., Tran, T. H., Hwang, D. S., Oh, D. X. (2018). Sustainable boron nitride nanosheet-reinforced cellulose nanofiber composite film with oxygen barrier without the cost of color and cytotoxicity. *Polymers*, 10(5), 1–11. <https://doi.org/10.3390/polym10050501>

- No, E.R. (2011). 1169/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2011 on the provision of food information to consumers. *Official Journal of the European Union L*, 304.
- Oliveira, T.I.S., Rosa, M.F., Ridout, M.J., Cross, K., Brito, E.S., Silva, L.M., Mazzetto, S.E., Wildron, K.W., Azeredo H.M. (2017). Bionanocomposite films based on polysaccharides from banana peels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.068>
- Orozco, S., Artetxe, M., Lopez, G., Suarez, M., Bilbao, J., Olazar, M. (2021). Conversion of HDPE into value products by fast pyrolysis using FCC spent catalysts in a fountain confined conical spouted bed reactor, *Chem. Sus. Chem.*, 14, pp. 4291-4300. <https://doi.org/10.1002/cssc.202100889>
- Palos, R., Rodríguez, E., Gutiérrez, A., Bilbao, J., Arandes, J.M. (2022). Cracking of plastic pyrolysis oil over FCC equilibrium catalysts to produce fuels: kinetic modeling. *Fuel*, 316. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123341>
- Patsias, A., Badeka, A.V., Savvaidis, I.N., Kontominas, M.G. (2008). Combined effect of freeze chilling and MAP on quality parameters of raw chicken fillets. *Food Microbiology*, 25(4), 575-581. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2008.02.008>
- Park, K.B., Jeong, Y.S., Kim, J.S. (2019). Activator-assisted pyrolysis of polypropylene. *Appl. Energy*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113558>
- Peter, A., Cozmuta, L.M., Nicula, C., Cozmuta, A.M., Talasman, C.M., Drazic, G., Peñas, A., Calahorro, A.J., Sagratini, G., Silvi, S. (2021). Chemical and organoleptic changes of curd cheese stored in new and reused active packaging systems made of Ag-graphene-TiO₂-PLA. *Food Chemistry*, 363, 130341. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130341>
- Piotrowski, S., Carus, M., Carrez, D. (2016). European bioeconomy in figures. *Industrial Biotechnology*, 12(2), 78-82. <https://doi.org/10.1089/ind.2016.29030.spi>
- Plastics Europe, Plastics-the facts 2019. Plastics Europe, 2019, <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>; Erişim tarihi: [23.12.2020].
- Plastics Europe, Plastics-the facts 2020. Plastics Europe, 2020, <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2020>; Erişim tarihi: [23.12.2020].
- Raheem, Z. (2019). *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials I*. Research Gate. https://www.researchgate.net/publication/336879226_Standard_Test_Methods_for_Water_Vapor_Transmission_of_Materials_1

- Reshmy, R., Philip, E., Vaisakh, P. H., Raj, S., Paul, S. A., Madhavan, A., Sindhu, R., Binod, P., Sirohi, R., Pugazhendhi, A., Pandey, A. (2021). Development of an eco-friendly biodegradable plastic from jack fruit peel cellulose with different plasticizers and *Boswellia serrata* as filler. *Science of the Total Environment*, 767, 144285. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144285>
- Rhim, J.W., Hong, S.I., Ha, C.S. (2009). Tensile, water vapor barrier and antimicrobial properties of PLA/nanoclay composite films. *LWT Food Sci. Technol.*, 42, 612-617. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.02.015>
- Ritchie, H., M. Roser, Plastic pollution. Our World in Data, 2019, <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>; Erişim tarihi: [23.12.2020].
- Robertson, G. (2008). State-of-the-art biobased food packaging materials. *In Environmentally Compatible Food Packaging*, 3-28. <https://doi.org/10.1533/9781845694784.1.3>
- Shankar, S., Wang, L.F., Rhim, J.W. (2018). Incorporation of zinc oxide nanoparticles improved the mechanical, water vapor barrier, UV-light barrier, and antibacterial properties of PLA-based nanocomposite films. *Materials Science & Engineering C*, 93, 289–298. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.08.002>
- Sharma, S., Jaiswal, A. K., Duffy, B., Jaiswal, S. (2020). Ferulic acid incorporated active films based on poly (lactide)/poly (butylene adipate-co-terephthalate) blend for food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 100491. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100491>
- Soares, N.F.F., Pires, A.C.S., Camilloto, G.P., Santiago-Silva, P., Espitia, P.J.P., Silva, W.A. (2009). Recent patents on active packaging for food application. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 1 (2), 171-178. <https://www.ingentaconnect.com/content/ben/pfna/2009/00000001/00000002/art00008>
- Shen, C., Yang, Z., Rao, J., Li, J., Wu, D., He, Y., Chen, K. (2022). Development of a thermally conductive and antimicrobial nanofibrous mat for the cold chain packaging of fruits and vegetables. *Materials & Design*, 221, 110931. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110931>
- Shen, X., and Kim, J. K. (2020). 3D graphene and boron nitride structures for nanocomposites with tailored thermal conductivities: recent advances and perspectives. *Functional Composites and Structures*, 2(2), 022001. <https://doi.org/10.1088/2631-6331/ab953a>
- Shin, H., Thanakkasaranee, S., Sadeghi, K., & Seo, J. (2022). Preparation and characterization of ductile PLA/PEG blend films for eco-friendly flexible packaging application. *Food Packaging and Shelf Life*, 34, 100966. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100966>
- Swain, S., Dash, S., Behera, C., Kisku, S., Behera, L. (2013). Cellulose nanobiocomposites with reinforcement of boron nitride: Study of thermal, oxygen barrier and chemical resistant properties. *Carbohydrate Polymers*, 95, 2, 728-732. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.02.080>

- Swaroop, C. and Shukla, M. (2019). Development of blown polylactic acid-MgO nanocomposite films for food packaging. *Composites Part A*, 124, 105482. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.105482>
- Thakur, V.K., Thakur, M.K. (2014). Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites. *Carbohydrate Polymers*, 109, 102-117. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.039>
- Thompson, R.C., Moore, C.J., Vom Saal, F.S., Swan, S.H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 364(1526), 2153-2166. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>
- Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği. (2011). Resmi Gazete.
- Vermeiren, L., Devlieghere, F., Debevere, J. (2002). Effectiveness of some antimicrobial packaging concepts. *Food Addit. & Contam.*, 19, 163-17. <https://doi.org/10.1080/02652030110104852>
- Vert, M., Doi, Y., Hellwich, K.H., Hess, P., Hodge, M., Kubisa, P. (2012). Terminology for biorelated polymers and applications (IUPAC Recommendations 2012). *Pure and Applied Chemistry*, 84 (2), 377-410. <https://doi.org/10.1351/PAC-REC-10-12-04>
- Voon, H.C., Bhat, R., Easa, A.M., Liong, M.T., Karim, A.A. (2012). Effect of addition of halloysite nanoclay and SiO₂ nanoparticles on barrier and mechanical properties of bovine gelatin films. *Food and Bioprocess Technology*, 5(5), 1766-1774. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0461-y>
- Vural, H. ve Öztan A. (1996). *Et ve ürünleri kalite kontrol laboratuvarı uygulama klavuzu*. Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, (ss. 236).
- Wang, J., Gardner, D.J., Stark, N.M., Bousfield, D.W., Tajvidi, M., Cai, Z. (2018). Moisture and Oxygen Barrier Properties of Cellulose Nanomaterial-Based Films. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 6(1), 49–70. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03523>
- Wang, Y., Jin, H., Shen, J., Wang, B., Feng, X., Mao, Z., Zhang, Y., Sui, X. (2022). Thermally conductive poly(lactic acid)/boron nitride composites via regenerated cellulose assisted Pickering emulsion approach. *Journal of Materials Science & Technology*, 101, 146-154. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2021.06.015>
- Wróblewska-Krepsztul J., Rydzkowski T., Borowski G., Szczypiński M., Klepka T., Thakur V.K. (2018). Recent progress in biodegradable polymers and nanocomposite-based packaging materials for sustainable environment. *Int. J. Polym. Anal. Charact.*, 23 (4), 383-395. <https://dx.doi.org/10.1080/1023666X.2018.1455382>
- Yegin, B., Ozkazanc, H., Er, D.K., Ozkazanc, E. (2022). Antimicrobial performance and charge transport mechanism of Poly(N-methylpyrrole)-boron nitride composite. *Materials Chemistry and Physics*, 278, 125709. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.125709>

- Yina, C.G., Ma, Y., Liua, Z.J., Fana, J.C., Shia, P.H., Xua, Q.J., Mina, Y.L. (2019). Multifunctional boron nitride nanosheet/polymer composite nanofiber membranes. *Polymer*, 162, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.12.038>
- Yuan, X., Zhang, Y., Dong, C., Sheng J. (2004). Morphology of ultrafine polysulfone fibers prepared by electrospinning. *Polymer International*, 53 (11), 1704–10. <http://dx.doi.org/10.1002/pi.1538>
- Zengwen, C., Pan, H., Chen, Y., Bian, J., Han L., Zhang, H., Dong, L., Yang, Y. (2019). Transform poly (lactic acid) packaging film from brittleness to toughness using traditional industrial equipments. *Polymer*, 180, 121728. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.121728>
- Zhang, M. (2015). *Development of Polyhydroxybutyrate Based Blends for Compostable Packaging* [Doktora tezi], Loughborough Üniversitesi.
- Zhang, Y., Xu, W., Wu, X., Zhang, X., Zhang, Y. (2007). Addition of antioxidant from bamboo leaves as an effective way to reduce the formation of acrylamide in fried chicken wings. *Food Additives and Contaminants:Part A*, 24(3), 242-51. <https://doi.org/10.1080/02652030601064839>
- Zhao, Z.L.K., Luo, J., Tang, Y. (2019). Electrospinning of boron nitride nanofibers with high temperature stability, *Scripta Materialia*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2019.06.002>

EKLER

EK A. Tavuk etinde duyuşal değerlendirme formu

EK A**Duyusal Değerlendirme Formu**

Adı/Soyadı:

Tarih:...../...../.....

	1	2	3	4	5	685	361	421
RENK/DIŞ GÖRÜNÜŞ	↓		↓		↓			
	Çok kötü/Solgun pembe/Yüze yde grileşme		Kabul edilebilir/renkte koyulaşma/koyu pembe		Beğendim-Taze/Karakteristik tavuk göğüs rengi			

	1	2	3	4	5	685	361	421
KOKU	↓		↓		↓			
	Çok kötü/ransit koku/ bozuk tavuk kokusu		Kabul edilebilir/Hafif amonyak/sülfür kokusu		Karakteristik tavuk kokusu			

	1	2	3	4	5	685	361	421
TEKSTÜR	↓		↓		↓			
	Geri dönüş yok/yumuşak tekstür-doku		Yavaş geri dönüş/yumuşama başlamış		Hızlı geri dönüş/diri/dolgun tekstür			

	1	2	3	4	5	685	361	421
GENEL ÜRÜN BEĞENİSİ	↓		↓		↓			
	Hiç beğenmedim		Kabul edilebilir		Çok beğendim			

Yorum ve Düşünceler:

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : İlknur ARA

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği
- **Lisans** : 2018, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Gıda Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2018-2019 yılları arasında SAÜ Teknokent'te İnnovist Sağlık Ürünleri firmasında Ar-Ge Mühendisi olarak çalıştı.
- 2020 yılından itibaren Burda Bebek Ürünleri firmasında Ambalaj Ar-Ge Yöneticisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

DİĞER ESERLER:

- Ara İ. , Akın M.B., (11-15 Kasım 2017). Inhibition Effect Of Pomegranate Extract On Calcium Carbonate Crystallization. *International Conference On Application In Chemistry And Chemical Engineering (ICACCHE)*. Saraybosna
- Ara İ., Karakuş E., Balballı E., Ayhan Z., 2021. Polisakkarit ve Protein Bazlı Aktif Biyokompozit Malzemelerin Gıda Ambalajlama Açısından Değerlendirilmesi, *Akademik Gıda Dergisi*, Cilt 19, Sayı 1, 74 –88.