T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOMBİNE YÖNTEMLE NİŞASTA BAZLI YENİLEBİLİR FİLM ÜRETİMİ

Merve BASUT KAZAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL

Haziran, 2023

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOMBİNE YÖNTEMLE NİŞASTA BAZLI YENİLEBİLİR FİLM ÜRETİMİ

Merve BASUT KAZAK tarafından hazırlanan tez çalışması 22.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Emek DERUN, Asıl Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Tülin Banu İYİM, Asıl Üye
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa _____

ÖNSÖZ

Danışmanım Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Kombine Yöntemle Nişasta Bazlı Yenilebilir başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Merve BASUT KAZAK

İmza

Bu çalışma, “Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü’nün FBA-2022-4960” numaralı projesi ile desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR

"Kombine Yöntemle Nişasta Bazlı Yenilebilir Film Üretimi" isimli yüksek lisans tez çalışma konumun belirlenmesi, planlanması ve yürütülmesinde her an ilgi ve desteğini esirgemeyen, değerli görüş, tecrübe, bilgisi ve katkılarıyla beni yönlendiren, yolumu aydınlatan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Nurcan TUGRUL' a, hayatımın her anında yanımda olan, her zaman bana güvenlerini hissettiren canım aileme, hayatımın en anlamlı varlığı canım eşime, yüksek lisans sürecinde beni destekleyen tüm okul arkadaşlarıma, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Merve BASUT KAZAK

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ ..... **vi**
KISALTMA LİSTESİ ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xii**
ABSTRACT ..... **xiv**
1 GİRİŞ **1**
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 1
1.3 Hipotez 1
2 KAYNAK ARAŞTIRMASI **2**
2.1 Literatür Özeti 2
3 MATERYAL VE YÖNTEM **24**
3.1 Materyal ve Yöntem 24
4 DENEYSEL SONUÇLAR **31**
4.1 Kontrol Filmleri Deneysel Sonuçları 31
4.2 Vişne Çekirdeği Esaslı Kompozit Filmleri Deneysel Sonuçları 41
4.3 Limon Esansı Kompozit Yapılı Film Analiz Sonuçları 46
4.4 Antibakteriyel Test Sonuçları 50
4.5 FTIR Analiz Sonuçları 52
4.6 Kontrol Filmleri Genel Özellikleri 60
5 SONUÇ **62**
5.1 Sonuç 62
KAYNAKÇA **65**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **69**

SİMGE LİSTESİ

α	Alfa
β	Beta
Pa	Basınç Birimi
R	Çap
Dk	Dakika
g	Gram
m	Metre
ml	Mililitre
mm	Milimetre
X	Mm cinsinden film kalınlığı
n	Mol
N	Normalite
Π	Pi sayısı
s	Saat
sn	Saniye
cm^2	Santimetre kare
ºC	Santigrat derece
Cm	Santimetre
p	Yoğunluk
r	Yarıçap
%	Yüzde

KISALTMA LİSTESİ

AP	Aktif Paketleme
BN	Buğday Nişastası
BN-LE	Buğday Nişastası-Limon Esansı
BN-VÇ	Buğday Nişastası-Vişne Çekirdeği Yağı
Dk	Dakika
EF.	Yenilebilir Film
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometre Cihazı
FT-IR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)
g	Gram
GRAS	Genel Olarak Güvenilir Kabul Edilen
Kg	Kilogram
m/m	Kütle/ Kütle
MC	Nem İçeriği
min	Minimum
ml	Mililitre
mm	Milimetre
MN	Mısır Nişastası
MN-LE	Mısır Nişastası-Limon Esansı
MN-VÇ	Mısır Nişastası-Vişne Çekirdeği Yağı
Pİ	Pirinç Nişastası
Pİ-LE	Pirinç Nişastası-Limon Esansı
Pİ-VÇ	Pirinç Nişastası-Vişne Çekirdeği Yağı
PN	Patates Nişastası
PN-LE	Patates Nişastası-Limon Esansı
PN-VÇ	Patates Nişastası-Vişne Çekirdeği Yağı
rpm	Birim zamandaki dönüş hızı
SW	Şişme İndeksi
TN	Tapyoka Nişastası
TN-LE	Tapyoka Nişastası- Limon Esansı

TS	Düşük Gerilme Mukavemeti
WS	Sudaki Çözünürlük

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Yenilebilir filmin tipik hazırlanma yöntemi ve gıda kaplanması 4
Şekil 2.2 Yenilebilir film örnekleri 4
Şekil 2.3 Guavaların yenilenme sürecini yavaşlatan bir kaplama örneği 4
Şekil 2.4 (a) Selüloz,(b)amiloz ve (c) kitosan kimyasal yapıları 8
Şekil 2.5 Kazeinin kimyasal yapısı 10
Şekil 2.6 Moleküllerin film boyunca hareketinin mekanik diyagramı 14
Şekil 2.7 Uygulama Yöntemleri 16
Şekil 2.8 Daldırma yöntemi 16
Şekil 2.9 Püskürtme yöntemi 17
Şekil 2.10 Dökme yöntemi 18
Şekil 2.11 Boyama prosesi 18
Şekil 2.12 Kaydırma yöntemi 19
Şekil 2.13 Ekstrüzyon prosesi 20
Şekil 2.14 Amiloz ve amilopektinin kimyasal yapısı 21
Şekil 3.1 OHAUS AB-0066-K marka hassas terazi 22
Şekil 3.2 Isıtılıcı manyetik karıştırıcı 23
Şekil 3.3 Ultrasonik homojenizatör 23
Şekil 3.4 Ultrasonik su banyosu 24
Şekil 3.5 Etüv 24
Şekil 3.6 FTIR cihazı 24
Şekil 4.1 Buğday Nişastası İle Hazırlanan Filmler 29
Şekil 4.2 Mısır Nişastası İle Hazırlanan Filmler 29
Şekil 4.3 Mısır Nişastası İle Hazırlanan Filmler 29
Şekil 4.4 Pirinç Nişastası İle Hazırlanan Filmler 29
Şekil 4.5 Patates Nişastası İle Hazırlanan Filmler 29
Şekil 4.6 Nişasta ve esansiyel yağ kullanılarak elde edilen kompozit yapılı film örnekleri 30
Şekil 4.7 Nişasta ve esansiyel yağ kullanılarak elde edilen kompozit yapılı film örnekleri 30
Şekil 4.8 Nişasta ve esansiyel yağ kullanılarak elde edilen kompozit yapılı film örnekleri 30
Şekil 4.11 BN-LE-1 filmi FTIR spektrumu 48

Şekil 4.12 BN -VÇ-1 filmi FTIR spektrumu 49
Şekil 4.13 BN-1 filmi FTIR spektrumu 49
Şekil 4.14 MN-1filmi FTIR spektrumu 50
Şekil 4.15 MN-LE-1 filmi FTIR spektrumu 50
Şekil 4.16 MN-VÇ-1 filmi FTIR spektrumu 51
Şekil 4.17 PN-LE-1 fimi FTIR spektrumu 51
Şekil 4.18 PN-VÇ-1 filmi FTIR spektrumu 52
Şekil 4.19 PN-1filmi FTIR spektrumu 52
Şekil 4.20 Pİ-LE-1 filmi FTIR Spektrumu 53
Şekil 4.21 Pİ-VÇ-1 filmi FTIR spektrumu 53
Şekil 4.22 Pİ-1 filmi FTIR spektrumu 54
Şekil 4.23 TN-LE-1 filmi FTIR spektrumu 54
Şekil 4.24 TN-VÇ-1 filmi FTIR spektrumu 55
Şekil 4.25 TN-1 filmi FTIR spektrumu 55

TABLO LİSTESİ

Tablo 2. 1 Yenilebilir filmler ve kaplama bileşenleri..... 7
Tablo 2. 2 Plastikleştirici türler ve formülleri 13
Tablo 2. 3 Bazı bitkilerde doğal nişasta granülünün özellikleri..... 23
Tablo 2. 4 Farklı kaynaklardan elde edilen amiloz ve amilopektin yüzdeleri..... 23
Tablo 3. 1 Nişasta kontrol filmleri bileşimi 28
Tablo 3. 2 Vişne çekirdeği esansiyel yağı ile üretilen kompozit filmlerin bileşimi..... 28
Tablo 3. 3 Limon esansiyel yağı ile üretilen kompozit filmlerin bileşimi 28
Tablo 4. 1 Nişastası kontrol filmleri kalınlıkları 33
Tablo 4. 2 Nişasta Kontrol Filmleri Nem İçeriği 34
Tablo 4. 3 Nişasta Kontrol Filmlerinin Çözünürlüğü..... 36
Tablo 4. 4 Nişasta Kontrol Filmleri Şişme İndeksi 37
Tablo 4. 5 Nişasta Kontrol Filmleri Su Buharı Geçirgenliği Oranı 39
Tablo 4. 6 Nişasta-Vişne Çekirdeği Kompozit Esaslı Film Kalınlıkları 41
Tablo 4. 7 Nişasta-Vişne Çekirdeği Kompozit Esaslı Film Kalınlıkları 42
Tablo 4. 8 Nişasta - Vişne Çekirdeği Kompozit Yapılı Film Çözünürlüğü 43
Tablo 4. 9 Nişasta- Vişne Çekirdeği Kompozit Yapılı Film Şişme İndeksi 44
Tablo 4. 10 Nişasta-Vişne Çekirdeği Kompozit Yapılı Film Su Buharı Geçirgenliği... 45
Tablo 4. 11 Nişasta-Limon Esansı Kompozit Yapılı Film Kalınlıkları 46
Tablo 4. 12 Nişasta- Limon Esansı Kompozit Yapılı Nem İçeriği 47
Tablo 4. 13 Nişasta - Limon Esansı Kompozit Yapılı Film Çözünürlüğü 48
Tablo 4. 14 Nişasta- Limon Esansı Kompozit Yapılı Film Şişme İndeksi 49
Tablo 4. 15 Nişasta - Limon Esansı Kompozit Yapılı Film Su Buharı Geçirgenliği Oranı..... 50
Tablo 4. 16 Nişasta Filmleri Genel Özellikleri 60

ÖZET

Kombine Yöntemle Nişasta Bazlı Yenilebilir Film Üretimi

Merve BASUT KAZAK

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL

Son yıllarda, dünya çapında plastik tüketimi artmakta ve biyolojik olarak parçalanamaması nedeniyle ciddi çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bu nedenle, atık sorunlarını azaltabilecek yenilenebilir kaynakların kullanımı araştırılmaktadır. Plastik ambalajların malzemelerinin olumsuz etkilerine ilişkin çevresel kirliliklere ilave olarak, tüketicilerin kaliteli ve güvenilir gıda ürünlerine yönelik artan talebi ile gıda endüstrisi, yeni türde yenilebilir filmler geliştirmeye ve uygulamaya yönelmektedir. Yenilebilir film ve kaplamaların artan plastiklerden kaynaklı oluşan çevre kirliliğini azaltabilecek ve gıdaların raf ömrünü artırabilen doğa ile uyumlu doğal polimerlere dayalı yenilebilir film ve kaplamalar geliştirilmektedir.

Yenilebilir filmlerin gıda ambalajı olarak kullanılması çok çeşitli taze ve işlenmiş gıdaların kalitesi, güvenliği, nakliyesi ve depolanması önemli yer sahibi olabilir. Yenilebilir filmler, nem kayıplarını önleyen gıdadaki doğal katmanların değiştirilmesini veya güçlendirilmesini sağlarken, gıda kalitesindeki bozulmayı en aza indirerek raf ömrünü uzatır. Nem kayıplarını önleyerek ve olumsuz kimyasal reaksiyonları azaltarak temel bozulmayı en aza indirebilir, böylece gıdanın bozulmasını ve mikrobiyal kontaminasyonu engellemeye yardımcı olabilir. Ek olarak yenilebilir film kaplamalar

tatlar, antimikrobiyaller ve antioksidanlar gibi gıda katkı maddeleri içerebilir ve bu, uygulamalar üzerinde geliştirilmesine olanak sağlayabilir. Yenilebilir ambalaj filmleri yenilebilir içeriklerden üretildiğinden, içerdiği gıda maddeleri ile insanlar ve hayvanlar tarafından yenebilir. Bunun sonucunda atık bertaraf sorunun büyük oranda azalma olabilir. Hidrokolloidler ve lipitler, yıllardır yenilebilir kaplamalar ve çeşitli uygulamalar için filmler olarak kullanılmaktadır. Çeşitli hidrokolloid kaynakları arasında nişasta bazlı yenilebilir filmler, kolay bulunabilirlik ve işlenebilirlik, daha yüksek verim ve yüksek besin değeri, düşük maliyet, biyouyumluluk, biyolojik olarak bozunabilirlik, yenilebilirlik ve fonksiyonel özellikleri nedeniyle tercih edilebilir. Farklı kaynaklardan üretilen her ayrı nişastanın bileşimi farklıdır ve nişastalardan üretilen yenilebilir filmler farklı film özellikleri sergilemiştir. 5 ayrı nişasta kullanılarak film üzerinde etkisi karşılaştırmalı olarak analizleri yapılmıştır. Plastikleştirici olarak gliserol ve sorbitol kullanılmıştır. Nişasta bazlı yenilebilir filmler laboratuvar ortamında döküm yöntemiyle hazırlanmış ve filmlerin kalınlıkları, nem içeriği, suda, çözünürlüğü, su buharı geçirgenliği ve şişme indeksine bakılarak özellikleri karşılaştırılmıştır. Belli oranlarda hazırlanan film örnekleri 60 dk'a manyetik karıştırıcıda karıştırıldı.10 dakika boyunca ultrasonik prob'da karıştırma işlemi devam etti. 50 derecede ultrasonik su banyosunda 10 dakika bekletildi. 24 saat 40 derece etüv de bekletilmiştir. Bu 5 nişasta örneğine ayrı ayrı vişne çekirdeği esansı yağı ve limon esansı yağı kullanılarak film oluşturuldu. Sonuçlara bakıldığında tapyoka, buğday ve patates nişastaları mısır ve pirinç nişastasından elde edilen filmlere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gıda atıkları, yenilebilir film, nişasta, gliserol, sorbitol

ABSTRACT

Starch Based Combination Method Edible Film Production

Merve BASUT KAZAK

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL

In recent years, worldwide consumption of plastics has been increasing and it causes serious environmental problems due to its non-biodegradability. Therefore, the use of renewable resources that can reduce waste problems is being investigated. In addition to the environmental pollution related to the negative effects of the materials of plastic packaging, the food industry is turning to develop and apply new types of edible films with the increasing demand of consumers for quality and reliable food products. The use of edible films as food packaging can play an important role in the quality, safety, transportation and storage of a wide variety of fresh and processed foods. It extends shelf life by minimizing deterioration in quality. It can minimize basic spoilage by preventing moisture losses and reducing adverse chemical reactions, thus helping to prevent food spoilage and microbial contamination. In addition, edible film coatings can provide food additives such as flavours, antimicrobials and antioxidants. As edible packaging films are produced from edible ingredients, they can be eaten by humans and animals together with the foodstuffs or beverages they contain. As a result, the waste disposal problem can be greatly reduced. Hydrocolloids and lipids have been used for years as edible coatings and films for a variety of applications. Among the various hydrocolloid sources, starch-based edible films can be preferred due to their easy availability and processability, higher yield and higher nutritional value, low cost, biocompatibility, biodegradability, edibility and

functional properties. The composition of each individual starch produced from different sources is different, and edible films produced from starches exhibited different film properties. The effects on the film were analyzed comparatively by using 5 different starches. Glycerol-sorbitol was used as plasticizer. Starch-based edible films were prepared by casting method in the laboratory and their properties were compared by looking at the moisture content, water solubility, water vapor permeability and swelling index of the films. The film samples prepared in certain proportions were mixed in a magnetic stirrer for 60 minutes. Stirring was continued in the ultrasonic probe for 10 minutes. It was kept in an ultrasonic water bath at 50 degrees for 10 minutes. It was kept in an oven at 40 degrees for 24 hours. A film was formed on these 5 starch samples by using sour cherry seed oil and lemon essential oil separately. Looking at the results, it was observed that tapioca, rice and potato starches gave better results than the films obtained from corn and wheat starch.

Keywords: Food waste, edible film, starch, glycerol, sorbitol.

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Plastik Avrupa'ya göre (2020) küresel ambalaj malzemeleri üretimi 2019'da 368 milyon tona kadar yükselmiştir. Üretilen plastiklerin %40,5 'i gıda paketlemelerin de kullanıldı. Kullanılan ambalaj malzemelerinin %1 'den daha azı doğada biyolojik olarak parçalanabilir. Büyük oranda biyolojik olarak parçalanamayan plastik çevreye atıldı ve bu da ciddi çevre kirliliğine neden oldu. Biyolojik ve sentetik olarak yok olmayan parçalanamayan plastik kullanımını azaltmak ve çevre sağlığını korumak için, birçok araştırmacı parçalanabilen yenilebilir filmler üretmeye ilgi duymaktadır. Gıda ambalaj malzemesi olarak plastiklere potansiyel alternatif olarak biyobozunur filmler uygulanmıştır.Nişasta bazlı yenilebilir filmlerinin üretimi biyolojik olarak bozunmayan plastiklere ve çevre sağlığı açısından faydalı bir yöntem olacaktır. Nişasta maliyetinin düşük olması, ucuz üretim olması nedeniyle tercih edilmektedir. Nişasta bazlı yenilebilir filmler geliştirilerek yeni ambalaj malzemesi olarak kabul edilir. Nişasta bazlı yenilebilir filmler kokusuz, tatsız, renksiz ve mekaniközellikler gibi yönlere sahiptir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada patates, mısır, buğday, tapyoka ve pirinç nişastalarına sodyum aljinat, farklı oranlarda gliserol ve/veya sorbitol eklenerek yenilebilir film üretimi gerçekleştirmektir. Patates, mısır, buğday, tapyoka ve pirinç nişastalarına vişne çekirdeği esansı ve limon esansı yağı eklenerek antibakteriyel özellikli kompozit esaslı yenilebilir film üretimi oluşturmaktır.

1.3 Hipotez

Yenilebilir film ve kaplamalar gıdalarda kalite kayıplarının önler ve raf ömrünü uzatır. Yenilebilir filmler gıdanın dış yüzeyini ince tabaka halinde sarar, gıda ile birlikte tüketilir.Bu çalışmada 5 ayrı nişastadan filmler elde etme hedeflenmiştir. Elde edilen filmlere tekrar karışım hazırlanarak esansiyel yağlar kullanarak elde edilen filmlerin antibakteriyellik özellikleriaraştırılmıştır. Esansiyel yağ olarak limon ve vişne çekirdeği yağı kullanılmıştır. Oluşan %1 gliserol kullanılan filmlerin FTIR analizleri yapılmıştır. Gliserol kullanılan filmlerin sorbitol kullanımına göre oluşan filmlerin çok daha iyi olduğu görülmüştür. Film kalınlıkları, nem içeriği, suda çözünürlük, su buharı geçirgenliği hızı ve şişme oranı hesaplanmıştır. Birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

2
KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Literatür Özeti

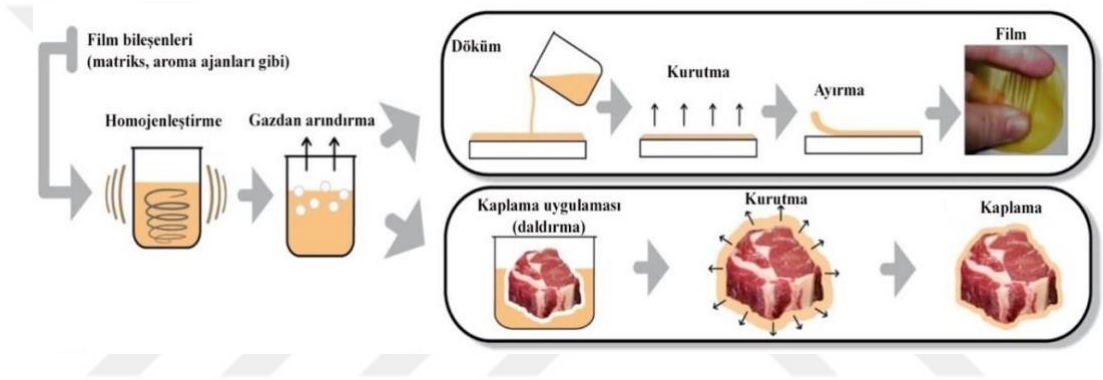
2.1.1 Yenilebilir film ve kaplamalar

Gıda ambalajı, gıda ürünlerinin korunması ve muhafaza edilmesinin en önemli amaçlarından olması sebebiyle, gıda ambalajı araştırmalarının en başında gelir. Ambalaj malzemesi olarak kullanılan petrol türevi malzemeler sağlık ve çevresel etkileri olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etki biyolojik olarak parçalanabilen ve doğada yok olabilen yenilebilir ambalaj malzemelerinin gerekliliği ortaya çıkar. Dünyada genelinde plastik üretimi 380 milyon tona ulaşmıştır ve üretilen plastiğin %40'ının ambalaj uygulamalarında kullanıldığı ortaya çıkmıştır. Plastiğin düşük maliyeti, yüksek mukavemeti, kolay işlenebilirliği, hafif olması oldukça kullanışlı olmasına rağmen birçok sorunlara yol açar. Plastik atığın doğada bozulması yüzyıllarca bozulmaz ve yakılarak imha edilmesi zehirli gazlar açığa çıkabilir. Buda hem havaya hem de çevreye oldukça zarar verir. Dünya kirliliğinin en büyük nedeni plastik kullanımı denilebilir [1]. Yenilebilir ambalajlar, geleneksel plastik gıda ambalajlarının hemen yerini almayabilir. Ancak, uzun vadede geleneksel plastik ambalajların yerini alarak sürdürülebilir biyopolimerlere geçiş için alternatif olabilir. Yenilebilir ambalaj malzemeleri, taşıma, depolama ve taşıma sırasında doğrudan çevreye maruz kalabilecekleri için ikincil ambalaj malzemeleri olarak kullanılamazlar [2].

Yenilebilir filmler polisakkaritler, proteinler ve lipitler gibi biyopolimerler ile uyum sağlar. Polimer zincirleri arasında boşluk kalarak camsı geçiş sıcaklığı düşmesi ve esnekliğini genişleyerek hidratasyon suyu içerebilir. Hidratasyon suyu, filmin mekanik ve bariyer özellikleri gibi ana yapısal ve fonksiyonel özelliklerini etkiler [3].

Yenilebilir filmin birincil rolü, taze gıdaların yanı sıra çok çeşitli işlenmiş gıdaların kalitesini ve güvenliğini artırmak için nem kaybını kontrol etmektir. Şekil 2.3' de guavaların yenilenme sürecini yavaşlatan bir kaplama örneği gösterilmiştir.

Olumsuz kimyasal reaksiyon oranlarını azaltmaktır Ek olarak, yenilebilir film matrisine antimikrobiyaller, antioksidanlar, tatlar ve renkler gibi çeşitli gıda katkı maddelerinin eklenmesi, uygulamalarını daha da genişletmektedir [1].

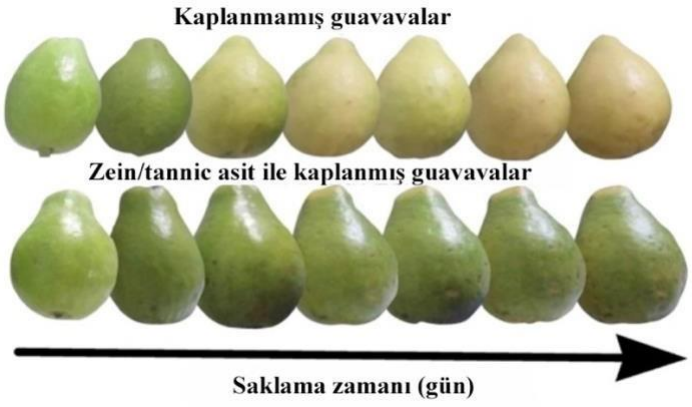


Şekil 2.1 Yenilebilir filin tipik hazırlanma yöntemi ve gıda kaplanması [6].



Şekil 2.2 Yenilebilir film örnekleri [6].

1) Mango püresi bazlı filmler
2) Guava ve mango püresi ile hazırlanan bakteriyel selüloz filmler
3) Aljinat/kaju sakız filmleri
4) Pektin/papaya püresi/cinnamaldehit nanoemülsiyon filmi



Şekil 2.3 Guavaların yenilenme sürecini yavaşlatan bir kaplama örneği [6].

Şekilde 2.1 ve 2.2'de görüldüğü gibi film oluşumu ve kaplamanın şematik gösterimi vardır. Yenilebilir filmin ana bileşeni yapışkan bir tabaka oluşturabilen polisakkaritler ve/veya proteinler den oluşur. Filmin kırılganlığını azaltmak için plastikleştiriciler kullanılır.

Yenilebilir kaplamalar temel olarak, genellikle güvenli (GRAS) olarak kabul edilen ve selüloz, proteinler, nişastalar ve diğer polisakkaritleri içeren gıda maddelerinden elde edilir. Nişasta biyopolimerlerinin düşük maliyeti, bolluğu film oluşturma özelliğinin yüksek olması tercih sebebi olmuştur. Karbonhidrat bazlı filmlerin optik özellikleri (şeffaf, renksiz), organoleptik (tatsız, kokusuz) ve bariyer (O2 ve CO2 geçirgenliği) film oluşumu için oldukça ideal özelliklerini taşırken mukavemet yönünden zayıf özellik gösterebilir. Nişasta filmlerine katkı maddeleri ekleyerek üretilen filmlerin mekanik çekme özellikleri artırılmaktadır.

Saf nişasta bazlı yenilebilir filmler doğada kırılgan yapıdadır. Sorbitol, gliserol ve ksitol gibi plastikleştiriciler nişasta ile birlikte kullanılması filme esneklik kazandırır. Nişasta bazlı filmlere bu sebeple plastikleştirici eklenir. Nişasta bazlı yenilebilir filmler laboratuvar ortamında döküm yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır [6].

Sago nişastası gliserol ve sorbitol (%25, w/w) ile plastikleştirilmiş balık jelatini karışımları ile yenilebilir filmin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Sago nişastasının balık jelatinine farklı oranlarda (1:0,2:1,3:1,4:1 ve 5:1) film oluşturma çözeltileri kullanılmış, hazırlanmıştır. Bu çalışmanın nişasta çözeltilerine balık jelatinin ilavesinin önemli bir etkiye sahip olduğu, ($p<0,05$), düşük gerilme mukavemeti (TS) ve yüksek su buharı geçirgenliği (WVP) olan filmler elde edilmiştir. Bu çalışmada tek bir

Tg' nin gözlemlenmesi, kullanılan konsantrasyon seviyelerinde sago nişastası ve balık jelatin polimerlerinin film oluşturmak için uyumluluk göstermiştir [6].

Doles ve arkadaşları (2014) antimikrobiyal hareket ile nişasta bazlı bir paketleme filmi oluşturulmuştur. Filmin temeli nişastadan oluşmaktadır. Plastikleştirici olarak gliserol kullanılmıştır. Antimoirobiyal etki restoratif bitki ekstratları kullanılmıştır. Neem, betle yaprakları, guava yaprakları, nilüfer ve zerdaçal rizomları, ebegümeci çiçekleri gibi yaygın restoratif bitkilerin özleri kullanılmıştır. Ekstraktların agar yayma stratejisi kullanılarak yaşayabilirliği çalışıldı. Araştırma için E. Coli, Pseudomonas, S. Aureus, B. Cereus ve Klebsiella gibi 5 farklı suşu kullanılmıştır. Ekstraktların en az inhibitör konsantrasyonu ve en az bakteri konsantrasyon değerleri fazla bulunmuştur. Ayrıca havuç ve tavuk kullanılarak filmler denenmiştir [6].

Rejak ve arkadaşları (2014) Nişasta filmlerinin su baharı geçirgenliğinin gravimetrik yöntemle değerlendirilmiştir. Su buharının düşük geçirgenliği, 80 rpm'de işlenen %20 gliserol ve %4 poli (vinil) alkol ile nişasta filmin de gerçekleşmiştir. Test sonuçları 2, $63 \times 10^{-9}'dan\ 0,\ 65 \times 10^{-9}$ g/(m.s.Pa)'ya su buharı geçirgenlik miktarının granül seviyesine bağlı olduğu tespit edilmiştir. Film üfleme sırasında farklı ham maddeler için geçirgenlik incelemeleri yapılmış ve çeşitli vida hızlarında işlenmiştir [7].

Adiouman ve arkadaşları (2017) Fildişi Sahilinde geliştirilen manyok dan elde edilen nişasta, kaplama için potasiyel olabilir. Manyok yerel nişastaları yenilebilir filmlerin su buharı geçirgenliği (WVP) gliserol, kabuklu fındık yağı ve soya fasulyesi lesitinin etkisi araştırılmıştır. Oluşturulan filmler homojen, açık renk ve pürüzsüzdü. WVP, nem miktarı ve filmlerin kalınlığı gliserol miktarı arttıkça artmıştır. Gliserol ve kabuklu fındık yağı filmlerin WVP' sini artırırken, soya fasulyesi lesitinin artmaya hiçbir etkisi olmamıştır. En düşük WPN değeri %25 gliserol, %5 kabuklu fındık yağı ve %5 soya fasulyesi lesitini kullanılarak elde edilmiştir. Filmler petri kabına 4 g manyok nişastası, %25 ve %30 gliserol (a/a), %5 ve %10 kabuklu fındık yağı ve %5 soya fasulyesi lesitini (a/a yağ) kullanılmıştır. Filmlerin WPN' sine 25°'de ve %75 nispi sıcaklıkta karar verildi. Film kalınlığı fiziksel olarak mikrometre yardımıyla bakıldı [8].

Gomes ve arkadaşları (2018) nişasta ve gliserol konsantrasyonları üzerinde yapılan ayarlamanın araştırmada tüketilebilir filmlerin özelliklerini etkilediği ve hasat sonrası kullanımda uygun olduğu görülmüştür. Kiraz domateslerinin korunmasına ilişkin olarak çıkan en iyi sonuç su buharına karşı daha fazla geçirgenliğe sahip yenilebilir kaplamalara

sahip meyvelerde görülmüştür. Meyveler kontrol edildiğinde sertlikte az bir düşüş sergilediği görülmüştür. Filmlerin su buharı geçirgenliği, suda çözünürlük ve film kalınlıkları ölçülmüştür. Kiraz domateslerin kapalı 10 ± 2 ℃ ve % 80 ± 5 bağıl nem de kalarak (21 gün) 8 kez değerlendirilerek takip edilmiştir. Yenilebilir filmler, çatlakların oluşmadığı gözlemlendi. Gliserol konsantrasyonu ve nişasta türü filmlerin geçirgenliğini artırmış suda çözünürlüğü azalmıştır [9][10].

2.1.2 Yenilebilir film ve kaplamaların tarihçesi

Gıda ürünleri için kullanılan yenilebilir kaplamalar çok eskilere dayanmaktadır. Çin tarihinde turunçgillere mum kaplama yapıldıkları bilinmektedir. Çin'de 12. yy' da portakal ve limonlara su kaybını geciktirmek için mumlar uygulanmıştır. 16. yy' da nem kaybını kontrol etmek için gıda ürünleri yağlanarak (örneğin domuz yağı) kaplanmıştır. Taze ürünler üzerindeki yenilebilir kaplamaların mumla kaplanmış meyvelerin mumsuz meyvelerden daha uzun süre saklanabildiği gözlemlenmiştir.

Yenilebilir film olan Yuba, 15. yy' da Japonya'da soya sütünden geliştirilerek gıda muhafazası için kullanılmıştır.

ABD 1930'dan beri narenciye meyveleri kaplamak için sıcakta eriyen parafin mumları ve 1950'lerden beri taze meyve ve sebzeleri kaplamak için karnauba mumu ve su içerisinde yağ emülsiyonları kullanılmaktadır. Yenilebilir film ve kaplamalar sosis, salamlar için kılıflar ve fındık ve meyveler için çikolata kaplamalar olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır [11].

Teknoloji yapışkanlığı daha fazla esnek ve daha iyi gaz bariyer özelliklerine sahip karbonhidrat ve protein yapılı filmler geliştirmiştir. Buğday glüteni, soya proteini, kazein, nişasta ve selülozun kullanımı üzerinde birçok çalışmalar yapılmıştır. Organik polimerlerden yapılan film ve kaplamalar yenilebilir, bozunma ve oluşum özelliğine sahiptir [12].

2.1.3 Yenilebilir film ve kaplamaların sınıflandırılması

Yenilebilir filmler ve kaplamalar, biyolojik esaslı yapılarına göre Tablo 2.1'de gösterildiği gibi 3 kısımda incelenir. Bu yapılar tek başına veya birlikte kullanılabilir.

Genellikle polisakkarit gaz bariyer olarak, lipidler su geçişini azaltırken, proteinler mekanik mukavemet sağlarlar. Lipid bazlı filmlerin dezavantajları opak, kırılgan ve kararsızdırlar [13].

Tablo 2.1 Yenilebilir filmler ve kaplama bileşenleri [14].



Yenilebilir film ve kaplamalar ana bileşenleri biyopolimerler ve lipitlerden oluşmaktadır. Bunların karışımından kompozit esaslı filmler oluşmaktadır. Fiziksel ve kimyasal yapılar birbirlerinden çok farklı olduğu için malzemelerin işlevselliğini etkilerler [5].

2.1.3.1 Polisakkarit esaslı yenilebilir filmler

Polisakkaritler bitkilerde, hücrelerde ve böceklerin dış yapısında bulunan biyolojik maddelerdir. Polisakkaritler nişasta, pektin, karragen, aljinat, sakız, kitosan, selüloz ve türevlerini içerir. Polisakkaritler yüksek vizkoziteye sahiptir. Gıda endüstrisindeki birçok uygulamada stabilizatör, koyulaştırıcı madde, jelleştirici ajan ve güçlendirici olarak kullanılır [12].

Polisakkaritler, son zamanlarda kaplamalarda ve yenilebilir filmlerin formülasyonunda sürdürülebilir bir malzeme olarak kullanılmaktadırlar [15].

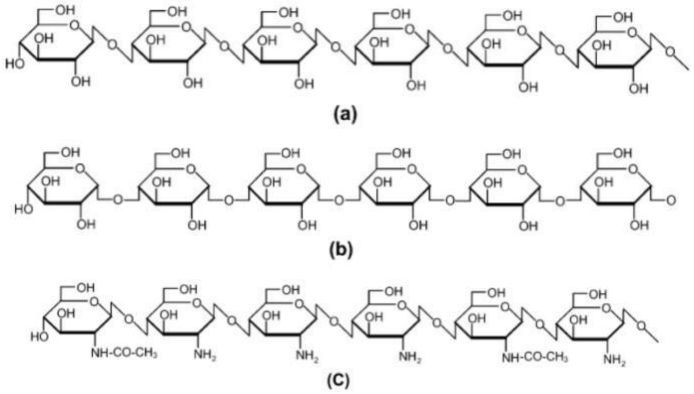
Polisakkaritler bir karbonhidrattır. Karbonhidratların yapısı hidroksil ve karbonil gruplarının ortak kimyasını içerir. Sakkarit Latinceden gelmektedir (Saccharum şeker). Basit karbonhidratların tatları tatlı olmasından dolayı bu isim verilmiştir.

Polisakkaritler yüzlerce, binlerce monosakkarit içerir. En önemli polisakkaritler nişasta ve selüloz (glukoz)'dur [16].

Polisakkarit ve benzer ürünlerin düşük maliyette ve iyi film oluşturma özellikleri olmasından dolayı yenilebilir film ve kaplamalar da tercih edilmektedir.

Polisakkarit molekülleri hidrojen bağı ile birlikte etkileşime girebilir ve sürekli bir ağ geliştirebilirler [17]. Yapısal özellikleri dayanıklı, oksijen ve gaz geçirgenliği düşüktür

[18].Polisakkarit filmlerde nişasta ve nişasta türevleri, selüloz, kitin, kitosan, bitki sakızı (pektin, aljinat) kullanılır.



Şekil 2.4 (a) Selüloz (b) amiloz ve (c) kitosan kimyasal yapıları [18].

Polisakkaritler, renkler, tatlar ve mikro besinler gibi diğer fonksiyonel katkı maddelerini bağlayan güçlü hidrojen bağına sahiptir. Polisakkaritler doğada toksik değildir, karbondioksit ve oksijene karşı seçici geçirgenliğe sahiptir. Bu özellikler, polisakkarit bazlı kaplamaların ve yenilebilir filmlerin meyve raf ömrünü uzatmasına sağlar [15].

Amiloz miktarının artması filmlerdeki elastikiyeti artırır. Amiloz yağ ve oksijen ayırma, yüksek çözünürlüğe sahip filmler üretilir. Nişasta filmleri patates ambalajlanmasında oksidasyonu önlemek ve renk değişimini önlemek için kullanılmaktadır. Mısır nişastası yumurta paketleme yaşlandırmasında kullanılmıştır. Filmler yumurtaların özelliklerini korumuş ve depolanma sırasında nem kayıplarını en aza indirmiştir.

Skurtys ve ark. Hidroksipropil, karboksimetilselüloz ve metil selüloz gibi selüloz türevlerinin daha az etkili yenilebilir film yapımında kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Özelliklerini geliştirmek için yağlar ve yağ asitleri ile karışım yapılmalıdır.

Kitosan kabuklulardan elde edilen, doğada bol miktarda bulunan, antifugal, antibakteriyel, düşük çözünürlük ile karakterize edilen ve toksik olmayan bir malzemedir. Kitosan ürünleri sakız gibi yapışkan özeliğe sahiptir. Kitosan filmleri gazların ve yağların geçişine karşı dirençle kohezyonludur. Su buharı geçirgenliği düşüktür. Çilek paketlemede kullanılır [12].

2.1.3.2 Lipit esaslı yenilebilir filmler

Lipit (lipos, yağ) bitki ve hayvanlarda bulunan, çözünürlük özellikleriyle karakterize edilen maddelerdir. Suda çözünmezler [16]. Hidrofobik özelliktedir. Lipit bazlı filmlerin yüksek sıcaklığa ve çözücüye ihtiyaç duyarlar. Lipit bazlı yenilebilir filmler zayıf

mekanik özellik gösterirler. Gaz ve buhar geçirgenliklerine karşı, sıvı fazdaki lipitler katı faza göre az direnç gösterir [19].Neme karşı mükemmel bariyer özellik gösterirler. Lipit bazlı filmlerde yapısı ve dayanımı eksik olduğundan bazı katkılara ihtiyaç duyar. Meyve sebzeler de yüzey parlaklığında kullanılır. Gliseritler, yağ asitleri, doğal ve sentetik mumlar kaplama materyali olarak kullanılır [20]. Kompozit formülasyonlar da veya filmde lipitlerin bulunması, emtia yüzeyi üzerinde çekici bir parlak yüzey sağlar.

Lipit bazlı yenilebilir filmler asetilenmiş monogliseritler, doğal mumlar ve çeşitli sıvı-katı yağlar kullanılır. Lipit filmlerin bariyer özelliklerinden dolayı genellikle et ürünlerin de kaplamasında kullanılır. Meyvelerin küf oluşumunu engellediği de bilinmektedir [18].

Filmlerin oluşumunda nemi koruma özelliği olan çeşitli mum türleri kullanılır. Parafin, uzun hidrokarbon zincirlerinin bir karışımından oluştuğu için balmumundan daha etkilidir. Balmumu hidrofobik maddelerin karışımından oluşur (Bir hidrokarbon zincirine sahip uzun bir ester zinciri ve bir yağ asitleri zinciri).

Bitkisel yağlar, hayvansal yağlar ve mumlar (balmumu, karnauba mumu, parafin mumu ve asetomonogliseritler) gibi birçok bileşik hidrofobik maddeler özelliğinden ve nem tutma kapasitesi yüksek olması nedeniyle yenilebilir filmlerin hazırlanmasında kullanılmıştır [12].

Doymuş ve doymamış yağ asitlerinin hidroksipropil- metilselüloz (HPMC) bazlı filmler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Laurik (LA), miristik (MA), stearik (SA), palmitik (PA) ve oleik (OA) asitler HPMC ile 1:0:15 polimer: lipid oranında kullanılmıştır. Doymuş LA, MA ve PA HPMC sulu sistemde SA ve OA ‘dan daha büyük lipid yapılar oluşmuştur. SA ve OA gözlenemeyen kristalize lipid tabakalara yol açmıştır. Lamine yapısı bariyer özelliklerini geliştirmiş fakat partikül boyutuna bağlı olarak kırılgan ve daha az esneyebilir, daha opak ve parlaklığı az filmler elde edilmişti [21].

2.1.3.3 Protein esaslı yenilebilir filmler

Proteinler mol kütleleri 6×10^3- 1×10^6 $gmol^{-1}$ arasında değişen, kuru hücrenin yaklaşık %50 ‘sini oluşturan ve türüne bağlı olarak birçok görev üstlenen bileşiklerdir [21].Peptit bağlarıyla bağlı yüzden fazla amino asitten (monomer) oluşan bir heteropolimerdir. Amino asitlerin her biri, karboksil grubuna, hidrojene, amino grubuna ve R- grubuna bağlıdır.

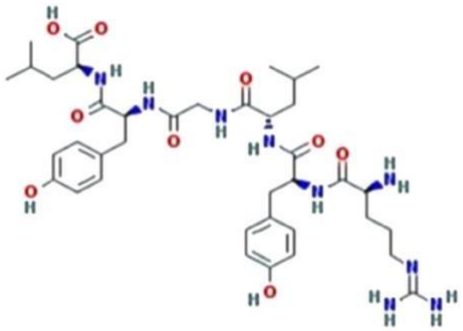
Yenilebilir filmlerde kullanılacak proteinler laktik serum, kazeinat, kollajen ve sein bulunur. Protein esaslı filmlerin mekanik özellikleri polisakkarit esaslı filmlerden daha

iyidir. Diğer filmler ve kaplamalar gibi, protein bazlı filmlerin ve kaplamaların özellikleri de doğrudan kaplamanın ve/veya filmin tipine, bileşimine ve uygulama/oluşma sürecine bağlıdır [23].

a. Süt Proteini

Litre başına 33 g protein içerir. Peynir altı suyu proteini ve kazein proteini olarak iki kısma ayrılır. Kazeinin kimyasal yapısı Şekil 2.5' de gösterilmiştir. Kazein proteini, süt proteinin %80'ini oluşturur ve α,β ve κ-kazein bileşenlerini içerir. 20°C'de ve pH 4,6 'da sütün kaymağı alınarak kazeinatlar elde edilir ve alkali ile çökeltilir. Peynir altı suyu proteini, kazein proteinin çökeltilmesinden sonra elde edilir. Peynir altı suyu proteinleri, β-Lactoglobulin, α-Lactalbumin, bovin serum albümin immünoglobulinleri ve proteaz peptonlar gibi çeşitli materyaller içerir. Süt Proteinleri esnek, tatsız ve şeffaf filmler oluşturur. Ayrıca antioksidanlar, renklendiriciler ve antimikrobiyal maddeler gibi gıda katkı maddelerinin taşıyıcısı olabilir. Kazein, sulu kazeinat çözeltilerinden yenilebilir filmler oluşturur. Elde edilen kazein solüsyonu yıkanır. pH değerini 7'ye çıkarmak için alkali içinde çözülür ve son olarak kurutulur. $Ca(OH)_2$ kullanılıyorsa kalsiyum kazeinat oluşur. PH değerini yükseltmek için NaOH kullanılırsa sodyum kazeinat oluşur. Kalsiyum proteinin protein etkileşimlerine çapraz bağlanması desteklemeye yardımcı olduğundan, kalsiyum kazeinat filmleri iyi bariyer özelliklerine sahiptir. Ancak Settir. Sodyum kazeinat filmleri optik ve çekme özellikleri iyidir.

Yenilebilir filmler oluşturmak için kullanılan peynir altı suyu proteinin, peynir altı suyu proteini izolatıdır (%90 protein). Bu filmler düşük nemlerde iyi oksijen bariyeridir, ancak su buharı geçirgenlikleri zayıftır. Kalsiyum kazeinat ve peynir altı suyu proteini konsantresi, peynir altı suyu proteini izolatından daha zayıftır [15].



Şekil 2.5 Kazeinin kimyasal yapısı [24].

Zein bir poliamindir. Mısırdan elde edilen ana proteindir. Parlak, suda çözünmeyen, bakterilere dayanıklı, antioksidan ve yapışkan film oluşturduğu için hidrofobik ve termoplastik bir maddedir.

b. Soya Proteini

Soya proteini soya fasulyesinden elde edilir. Soya proteini izolatı genellikle soya proteini filmi üretmek için kullanılır. Soya proteini (%56 protein, %34 karbonhidrat), soya konsantresi (%65 protein, %18 karbonhidrat), soya izolatı (%90 protein- %2 karbonhidrat) bulunur. Soya proteini filmleri bitki kaynaklarından elde edilen diğer proteinler tarafından oluşturulan filmlerin aksine pürüzsüz, esnek ve berraktır. Soya proteini filmleri, gaz bariyeri özellikleri bakımından lipidlerin ve polisakkaritlerinkinden üstündür [25].

2.1.3.4 Kompozit esaslı yenilebilir filmler

Yenilebilir filmler ve kaplamlar dan kompozit esaslı filmler üretmenin amacı belirli bir uygulamanın ihtiyacının gerektiği şekilde geçirgenliği veya mekanik özellikleri geliştirmektir. Polisakkarit ve/veya lipidlerin karışımından oluşan filmler heterojen olabilir. Bu heterojen karışımlı filmler her bir film oluşturucu sınıfın farklı fonksiyonel özelliklerinin kullanılmasını sağlar. Filmler oluşturmak için kombinasyon, protein ve karbonhidrat, protein ve lipit, karbonhidratlar, lipitler veya sentetik polimerlerden oluşabilir.

Heterojen filmler karışmayan bileşenlerin emülsiyonu, süspansiyonu ya da dispersiyon biçiminde ya da çok tabakalı kaplama halinde ya da ortak bir çözücü içinde bir çözelti biçimin de uygulanmaktadır.

Uygulama yöntemi, elde edilen filmlerin bariyer özelliklerini etkiler. Selüloz filmlerin su buharı bariyerini iyileştirmek için metil selüloz ve yağ asitlerinden emülsiyon filmleri oluşturulur.

Bu çalışmalara örnekler, lipid ve hidroksipropil metil selüloz, metil selüloz ve lipid (Hagenmaier ve Shaw,1990), metil selüloz ve lipid (Greener ve Fennema,1989), metil selüloz ve yağ asidi (SApru ve Labuza, 1994), peynir altı suyu izolatı ve lipitler (McHugh ve Krochta, 1994),kazein ve lipitler (Avena-Bistillos, 1993), jelatin ve çözünür nişasta (Arvanitoyannis ve diğerleri, 1997), hidroksipropil nişasta ve jelatin (Arvanitoyannis ve diğerleri, 1998), mısır zein ve mısır nişastası (Ryu ve diğerleri, 2002), jelatin ve yağ asidi (Bertan ve diğerleri, 2005), soya proteini izolatı ve jelatin (Cao ve diğerleri, 2007), soya proteini izolatı ve poliiaktik asit (Rhim ve diğerleri, 2007) verilebilir [26].

2.1.4 Yenilebilir film ve kaplamalardaki yardımcı bileşenler

2.1.4.1 Plastikleştiriciler

Plastikleştiriciler bir malzemenin esnekliğini ve mukavemetini artıran, düşük moleküler ağırlığa sahip bileşiklerdir. Film ve kaplama bütünlüğünü korumak için, film kırılganlığına sebep olan gözenek ve çatlak oluşumu için film ve kaplama işlemlerinde plastikleştiricilere ihtiyaç duyulur. Plastikleştiriciler olmadan hazırlanan filmler yüksek gerilme mukavemetine ve düşük esnekliğe sahiptir. Filmin bütünlüğüne ve bozulmasını engellemek için plastikleştiriciler gereklidir [27]. Film veya kaplama üzerine plastikleştiricilerin eklenmesi, bir polimerdeki moleküller arası kuvvetleri azaltma kapasitesi nedeniyle su ve gaz geçirgenliğini artırmaya yardımcı olur [28]. Filmler de ve kaplamalarda uygulanan ana plastikleştiriciler glikol, propilen glikol, sorbitol, su ve gliseroldür (29). En etkili plastikleştiriciler, plastikleştirdikleri polimerin yapısına çok benzerler, nişasta filmleri ve kaplamaları için en iyi plastikleştiriciler su ve alkoller gibi OH içeren türlerdir.

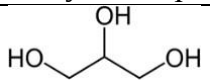
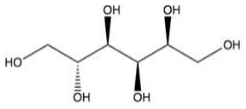
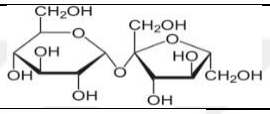
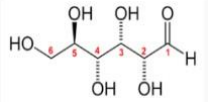
Nişasta filmi yapımı sürecinde her zaman su kullanılır ve birincil plastikleştirici olarak kabul edilirken, toksik olmayan ve gıda endüstrisinde kullanımın uygun olduğundan en sık kullanılan ikincil plastikleştirici ajan gliseroldür.

Plastikleştirici içeriği arttıkça, makromoleküller etkileşimlerin zayıflamış kuvveti ve daha büyük iç entropi nedeniyle camsı geçiş sıcaklığı düşer [27].

Monosakkaritler, oligosakkaritler, polioller, lipitler ve türevleri yenilebilir film yapımında kullanılan plastikleştirici türlerindendir. Ayrıca su iyi bir plastikleştirici

olmasına karşın düşük bağıl nemde dehidrasyonla kolayca kaybolabilir. Az miktarda plastikleştirici iyi bir film oluşturmak için yeterlidir. Gliserol ve sorbitol en sık kullanılan plastikleştiricilerindendir. Bazı plastikleştiriciler ve molekül yapıları tablo gösterilmiştir [30].

Tablo 2.1 Plastikleştirici türler ve formülleri [30].

Plastikleştirici Türü	Formül	Kimyasal Yapısı
Gliserol	$C_3H_8O_3$	
Sorbitol	$C_6H_{14}O_6$	
Sükroz	$C_{12}H_{22}O_{11}$	
Glukoz	$C_6H_{12}O_6$	

2.1.4.2 Emülgatörler

Emülgatörler ara yüzeylerinde karışmayan iki faz arasındaki yüzey gerilimini azaltabilen ve karışabilir hale gelmelerini sağlayan iyonik karakterli makro moleküler stabilizatörlerdir. Başlıca görevi, hidrofilik-lipofilik dengeyi korudukları için sineriz veya faz ayrılmasını önlemektedir.

Emülgatörler yağ ve su gibi karışmayan iki maddenin ara yüzey enerjisini değiştirerek veya modifiye ederek karışım sağlayarak yüzey aktif ajan görevi görür. Uygun yüzey alanı ve ambalaj malzemesine yapışma için gerekli olan üründe uygun ve yeterli ıslanabilirliğin elde edilmesine yardımcı olur.

Önemli emülgatörler lesitinlerdir. Fosfolipidlerin karışımları veya fraksiyonlarıdır. Yenilebilir kaplamalar ve filmler üzerinde soya lesitininin renk, opalık, çözünürlük ve mikro yapı üzerinde etkileri vardır [31].

2.1.4.3 Antimikrobiyal ajanlar

Tüketime hazır gıdaların kalitesi, güvenliği ve raf ömrü gıda yüzeyinde bulunan patojenik ve bozucu bakterilerin türü ve sayısına göre belirlenir. Antimikrobiyal yenilebilir filmler buzdolabı koşullarında saklama sırasında yüzey kirleticilerinin artmasını en aza indirmek

için kullanılabilir. Bu tür yenilebilir filmler ve kaplamalar, işlenmiş taze ürünler ve kabuklu yemişlerin yüzeyinde mikrobiyal büyümeyi engelleyerek ürünün raf ömrünü uzatmak için de kullanılır.

Tüketime hazır gıda ürünleri yüzey kontaminasyonuna maruz kalır. Bu da gıdanın raf ömrünün kısılmasına sebep olur. Yenilebilir filmlerin gıda kalitesini, gıda güvenliğini ve ürün raf ömrünü artırmak için difüzyona karşı (nem, gazlar ve uçucu maddeler) bir bariyer görevi görmeli ve bunun yanı sıra antioksidanlar, vitaminler ve renklendirici dahil olmak üzere çok çeşitli gıda katkı maddeleri kullanılabilir [11].

Bitki ve baharatlardan ekstrakt edilen esansiyel yağlar (OE), antimikrobiyal ve antioksidan özellik göstererek, gıda endüstrisinde ilgi duyulan hale getirmiştir. Yağların birçoğu tüketiciler için toksik olmayan, güvenli GRAS (Genel Olarak Güvenli Kabul Edilir) olarak sınıflandırılır. Doğal bir koruyucu olarak gıdalara dahil edilebilir.

İşlenmiş 'Fuji' elmalarına uygulanan sodyum aljinat ve limon otu esansiyel yağına dayalı aktif yenilebilir kaplama, etilen üretim oranını önemli ölçüde düşürür ve meyvenin esmerleşmesini yavaşlatmıştır [32].

2.1.4.4 Yüzey aktif maddeler

Düşük yüzey serbest enerjisi nedeniyle hidrofobik, pürüzlü yüzeylere yapışma ve tek tip yenilebilir bir kaplama elde etmek zor olabilmektedir [33]. Yüzey aktif maddelerin (sürfaktanlar) eklenmesi, ürünün ıslanabilirliğini artırmak ve kaplama malzemesinin yapışmasını iyileştirmek için ana bileşenlerdir [34]. Yüzeysel su aktivitesini azaltan yüzey aktif maddeler ve emülsiyonlaştırıcılar film formülasyonuna eklendiğinde düşük nem kaybı oranına sahip olmaktadır [35].

Yüzey aktif maddelerin ana özelliği, sıvının kütlesine kıyasla daha yüksek konsantrasyonlarda arayüzlerin (sıvı-hava, sıvı-sıvı, sıvı-katı) yüzeyinde bulunmaktadır. Yüzey aktif maddeler iki özelliğe göre sınıflandırılır. Yüzey aktif kısmın yük tipi ve hidrofilik grupların kimyasal yapısı olarak sınıflandırılır [36]. Bu gruplar; anyonik (negatif yüklü), iyonik olmayan (yüklü grup yok), katyonik (pozitif yüklü) ve amfoterik (koşullara bağlı olarak pozitif veya negatif yüklü veya her ikisi birden olabilir) şeklinde sınıflandırılabilmektedir.

Ürün üzerindeki homojen olarak yayılması, yenilebilir bir kaplamanın çok önemli bir etkinliğidir. Bu sebeple araştırmacılar, film formülasyonlarını planlarken gıda ürünlerinin

yüzey serbest enerjisini, yenilebilir kaplamaların yüzey gerilimini ve yayılma katsayısını kontrol etmektedirler [34].

2.1.4.5 Antioksidanlar

FDA tarafından antioksidasyon nedeniyle ksidanlar "oksidasyon nedeniyle bozulmayı, tatta acılaşmayı ve renginin bozulmasın da gecikme sağlayacak gıdaları korumak için kullanılan maddeler" şeklinde tanımlar [36].

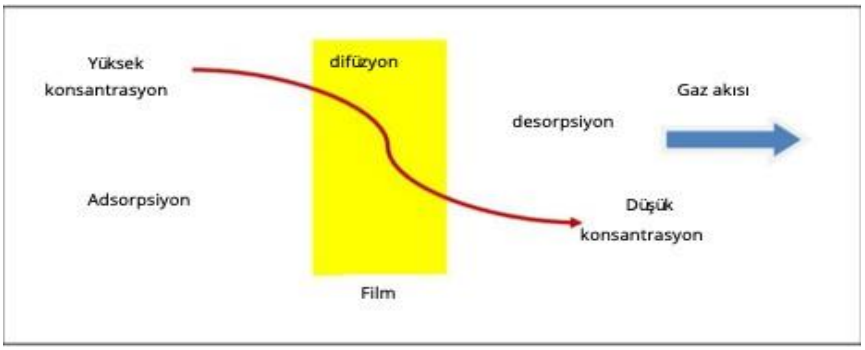
Otoksidasyon, doymamış yağ asitlerinin serbest radikallerle reaksiyona girdiği bir serbest radikal zincir mekanizmasından oluşur. Fotooksidatif lipoksijenaz destekli işleme yoluyla veya yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon sebebiyle lipit kalitesinde bozulma ortaya çıkabilir [37].

2.1.5 Yenilebilir filmlerin tutma özellikleri

Yenilebilir filmlerin uygun özelliklere sahip olması, birçok gıda uygulamalarında kullanılması gerekmektedir. Filmlerin etkinlik özelliği gaz tutma, su ve lipid geçirgenliği, koku özelliklerine bağlıdır. Bu özellikler filmlerin kimyasal bileşimi, polimer yapısı, ürün özelliklerine ve saklama koşullarına bağlıdır.

Su geçirgenliği, gaz, yağ, koku ve aroma bileşenlerinin mekanizmaları 3 adımda gerçekleşir. Şekil 2.6 adsorpsiyon (geçirgen malzemenin filmlerin yüzeyinde adsorbe edildiği yer), difüzyon (bileşenlerin polimerler yoluyla transferi) ve desorpsiyon (konsantrasyon gradyanı tarafından yönlendirilen ve filmin diğer yüzeyinden buharlaşan filmler)'dir.

Kimyasal bileşim, hazırlama yöntemi, polarite, karışıklık derecesi, polimerle, plastikleştiriciler ve katı maddeleri, film yapısını etkiler [12].



Şekil 2.6 Moleküllerin film boyunca hareketinin mekanik diyagramı [12].

2.1.6 Tutma özelliklerinin iyileştirilmesi

Filmlerin fonksiyonel özelliklerin, film çözeltilerine antioksidanlar, mikrobiyolojik maddeler, plastikleştiriciler veya gıda katkı maddeleri eklenerek iyileştirilebilir [38]. Peynir altı suyu proteini filmine askorbik asit ilavesi yapılarak filmlerin oksijen tutulumunu artırdığını bildirmiştir. Peyniraltı suyu proteini filmlerinin gram-pozitif ve negatif bakterilere karşı inhibe edici özelliğini artırmak için nisin ve glukoz oksidaz kullanılmıştır. Nisin ve enzimin karıştırılması pH_5 te bulunan enzime kıyasla daha az inhibe edici özelliğe sahiptir. Su buharı tutulmasında bir azalma oldu. Yenilebilir filmlerin özeliklerin iyileştirilmesinde karışı güçlendirmek ve filmlerin fonksiyonel özelliklerini iyileştirmek için nano-partiküller ve nano-lifleri karıştırma şeklindedir [12].

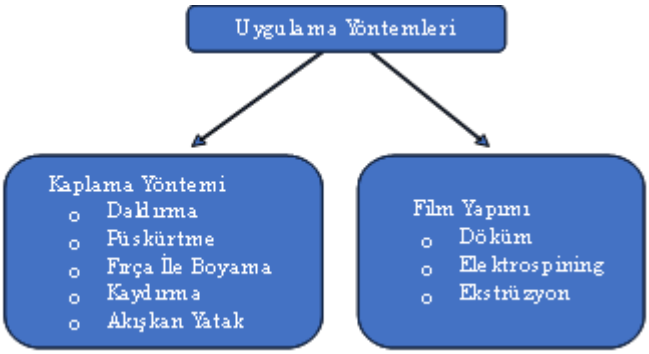
2.1.7 Yenilebilir film gıdalara uygulama yöntemleri

Taze ürünlerin kaliteli pazarlanabilirliğini sağlayabilmek önemlidir. Sebzeler ve meyveler, toplanması sırasında bozulmalar olabilir, böcekler, mikroplar, solunum ve terlemeler nedeniyle önemli kayıplar olabilir. Taze toplanan meyve ve sebzelerin hasat, nakliye ve depolama sırasında hızlı bozulmaları önemli bir konudur. Taze meyve ve sebzeler, kalite ve kararlılıklarının korumak için hasat sonrası uygun bir teknolojiye ihtiyaç duyarlar.

Yenilebilir film ve kaplamaların amacı sebze ve meyvelerin doğal bariyerlerini genişletmektir. Yenilebilir kaplamaların ürünlerin güvenle tüketilmesi ve taze raf ömürlerini uzatırken çevre dostu olmalarıdır. Gıda raf ömrünü uzatabilmek için kitosan, nişasta, pektin, aljinat, proteinler, galaktomannanlar ve mum gibi doğal polimerler biyo paketleme de kullanılabilir.

Sulu çözeltilerdeki ksantan sakızı, olgunlaşmamış Acerola ya yenilebilir film kaplaması olarak uygulandı. Sonuç, yenilebilir bir kaplama olarak %1,4 ksantan sakızı kullanılmasının, Acerola'nın yüzeyinde oksijen penetrasyonunu önleyebilen ve Acerola'nın olgunlaşma sürecini geciktiren koruyucu bir bariyer oluşturmuştur. Meyve kalitesini 30°'de 6 gün muhafaza süresini uzatmıştır.

Dilim elmaların kaplanması için farklı konsantrasyonlarda (v/v) plastikleştirici olarak karajenan konsantrasyonlarından ve hurma yağından yenilebilir film uygulanmıştır. %1,25 ve %10'luk karajenan ve hurma yağı bileşimleri, yenilebilir filmin yapısını oluşturmuştur. Yenilebilir film %30,7 kilo kaybını önleyebilir ve C vitaminin %99,85'inin koruyabilir [15].

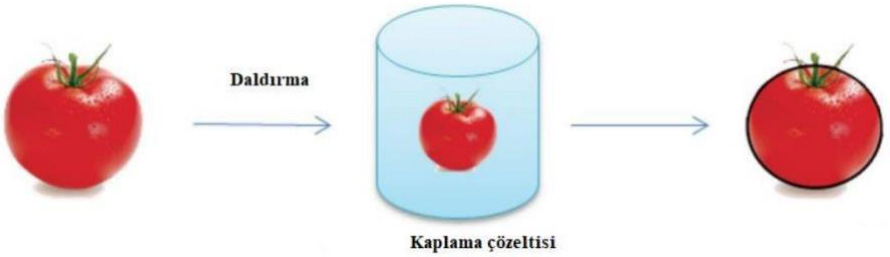


Şekil 2.7 Uygulama Yöntemleri

Yenilebilir film ve kaplamaların Şekil 2.7 'de belirtildiği gibi birçok çeşitli uygulama yöntemleri bulunmaktadır. Daldırma, pürkürtme, döküm, fırça ile boyama, kaydırma, akışkan yatak işleme elektrospining, ekstrüzyon gibi yöntemler bulunmaktadır [39].

2.1.7.1 Daldırma yöntemi

Bu yöntem en basit uygulama yöntemidir. Gıdanın 5 ila 30 saniye arasında direk hazırlanan çözeltiye daldırılarak süzülüp gıda üzerinde filmin oluşumunun sağlanması yöntemidir. Bu yöntem gıda ürünü hazırlanan çözeltiyi absorbe etmekte ve gıda yüzeyinde istenen kalınlıkta film tabakası oluşmaktadır. Bu yöntem avantaj olarak pürüzlü yüzeyleri homojen kaplar, fazla kaplama çözeltisini uzaklaştırır ve kolay kurutma sağlar. Fakat büyük ebatlı gıda ürünlerin kaplanması dezavantaj sağlar. Büyük hacimli gıdalar için uygun kaplama yöntemi değildir. Balık, et gibi kaslı gıdalara asetil gliseritlerin uygulanması, meyve ve sebzelere mumların uygulanması önerilmektedir[18] [19]. Şekilde daldırma yöntemi uygulanışı gösterilmiştir.



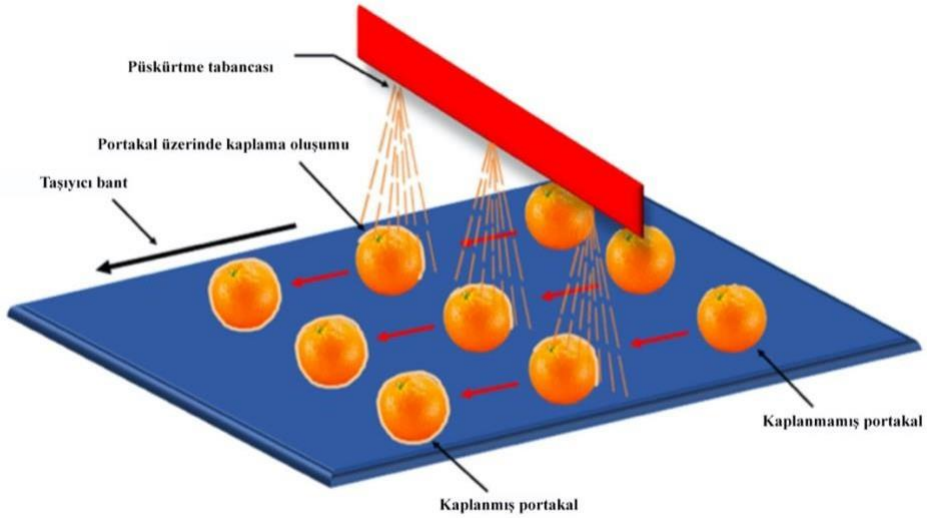
Şekil 2.8 Daldırma yöntemi [41].

2.1.7.2 Püskürtme yöntemi

Belli istenen yüzeylerin homojen ve ince tabaka halinde kaplanmasında kullanılır. Sıvı çözelti kaplanacak gıda ürününün üzerine püskürtülür. Damlacıklar gıda üzerini

saracaktır. Kalsiyum aljinat gibi ikili kaplama uygulamalarında çapraz bağlanmayı kolaylaştırır [19]. Gıda yüzeylerinde ikinci bir film tabakası oluşturmak için de bu yöntemden yararlanılır. Kaplama materyallerinin fazla olması bu yönteme dezavantaj sağlar. Bunun için yardımcı süreçlerle gıda üzerindeki kaplamanın tekdüze dağıtılması sağlanır [39] [43].

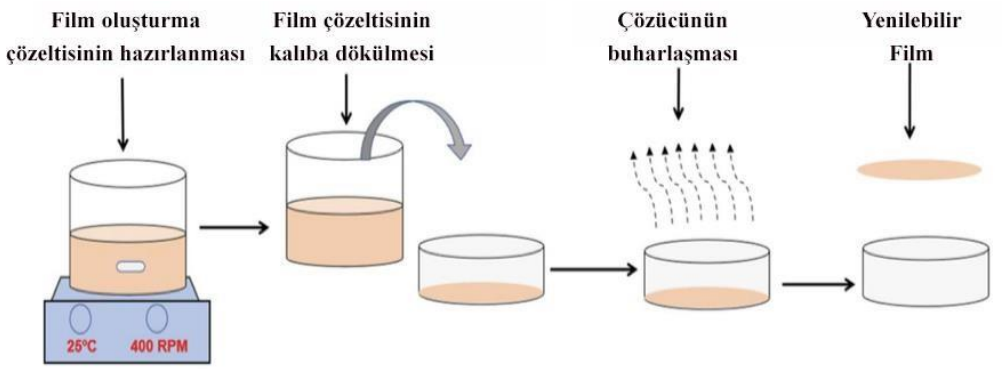
Damlacıkların oluşumuna bağlı olarak, bu yöntem hava püskürtme atomizasyonu ve basınçlı atomizasyon olarak ikiye ayrılır. Hava püskürtme atomizasyonu, sıvı damlacıklara dönüştürmek için yüksek hızlı hava kullanılır. Basınçlı atomizasyon da sıvıyı damlacıklara dönüştürmek için yüksek basınç kullanılır. Şekil 2.9 'da portakalların üzerindeki yenilebilir kaplama için pürkürtme yöntemi gösterilmektedir. Bu yöntemin dezavantajı yüksek vizkoziteli biyopolimer püskürtülemez. Yüksek vizkoziteli biyopolimer için daldırma yöntemi tercih edilir [1][42].



Şekil 2.9 Püskürtme yöntemi [1][42].

2.1.7.3 Dökme yöntemi

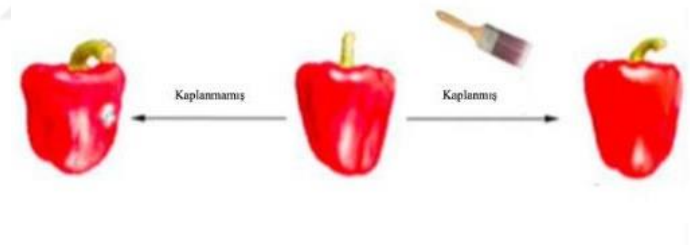
Hazırlanan film çözeltilerinin temizlenmiş uygun, düz bir yüzeye istenilen kalınlıkta dökülerek kurutulması daha sonra soğutularak gıda kaplanılması yöntemidir. Elde edilen film levha halinde durabilir [40]. Şekilde 2.10'da döküm yöntemi gösterilmektedir.



Şekil 2.10 Dökme yöntemi [1].

2.1.7.4 Boyama yöntemi

Sıvı akışkan formdaki film çözeltisinin fırça yardımıyla boyama yapılarak gıdanın üzerinin kaplanmasıyla yapılan boyama yöntemidir. Boyama yöntemi şekilde gösterilmektedir [39]. Bu yöntemde kaplama kalınlığı fırça yardımıyla yayılarak kontrol edilebilir. Kaplama kalınlığı önem arz eder. Fazla veya az olması halinde ürünün depolanması esnasında sorunlara (çatlama, kırılma, yapışma vs.) neden olabilmektedir [15].

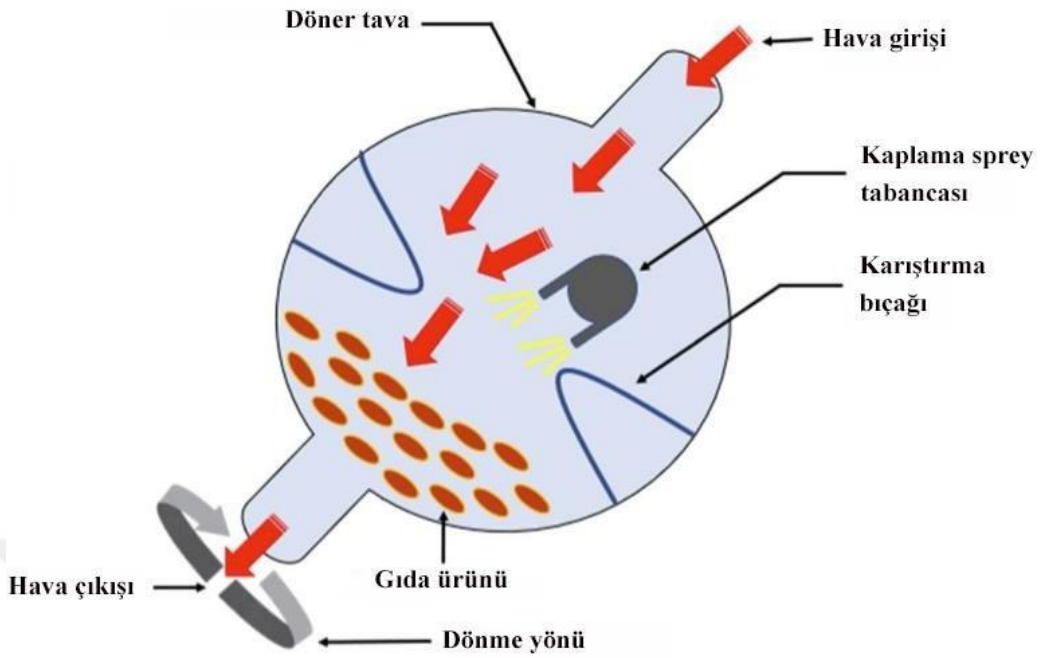


Şekil 2.11 Boyama prosesi [15].

2.1.7.5 Kaydırma yöntemi

Gıda ve şekerleme ürünleri için uygun kaplama yöntemidir. Çok sayıda yuvarlak veya oval şekilli gıda ürünü tek seferde kaplanabilir. Tava olarak bilinen büyük yuvarlak bir top döndürülür ve içinde gıda ürünleri dönmeye başlar. Tava dönmeye devam ederken kaplama oluşturucu çözelti gıda ürünlerinin yüzeyine püskürtülür. Püskürtülen çözelti miktarı, gıda ürünü üzerindeki son kaplamanın kalınlığını belirler. Sirküle edilen hava yardımıyla solvent buharlaşır ve kaplama kurur [44].

Şekilde yenilebilir kaplama malzemesini gıda ürünleri üzerine bıraktığı tavada kaplama yapım sürecini göstermektedir.



Şekil 2.12 Kaydırma yöntemi [1].

Şekil 2.12'de hava sirkülasyonu yardımıyla yenilebilir kaplama oluşumu için kaydırma yöntemi, girişten dönen tavaya hava, kaplama için kullanılan çözücüyü buharlaştırarak gıda ürünleri üzerinde kaplama oluşumunu bırakır [1] [44].

2.1.7.6 Akışkan yatak işleme yöntemi

Bu yöntem, buğday veya fındık gibi çok küçük boyutlu bir kuru gıda ürününün yüzeyine ince bir kaplama tabakası uygulaması yapılır. Kaplama çözeltisi nozullar yardımıyla püskürtülür ve bu, püskürtülen çözeltinim daha küçük boyuttaki yiyeceklere akıtılmasında yardımcı olur. Çözelti, gıda üzerinde yavaş yavaş kaplamaya dönüşen bir kabuk oluşturmaya başlar. Ardından kurutma işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntem diğer kaplama yöntemlerinden daha maliyetlidir [45]. Bu süreç, topaklanma olasılığını azaltır ve aktif bileşenlere salınma hızının azaltılmasına yardımcı olur [46].

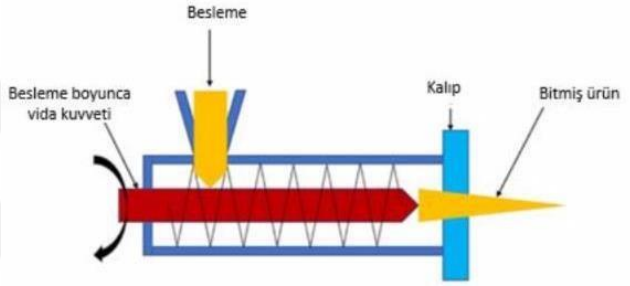
2.1.7.7 Elektrospining

Oldukça popüler yöntemlerden biri olan elektrospinnig yöntemi ekonomik, gelecek vaat eden bir yöntemdir. Nanolifleri üretmek için kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem, çapı 10 ila 1000 nm arasında değişen polimerik lifleri sentezlemek için bir elektrik alanı kullanır ve yüksek oksijen bariyeri yapılarına sahip malzemeler üretir [47].

2.1.7.8 Ekstrüzyon

Ekstrüzyon yöntemi polimerik filmler üretmek için kullanılır. Ekstrüzyon prosesi 3 bölgeye ayrılır. Besleme bölgesi, yoğurma bölgesi ve son kısım ısıtma bölgesidir. Çok katmanlı ve esnek filmler üretmek için ekstrüzyon yöntemi kullanılabilir. Ekstrüzyon makinasında nem içeriği, vida hızı, sıcaklık, basınç ve enerji gibi parametreler prosedür için büyük önem taşır. Sonlandırılmış ürünün kalitesi direk etkilemektedir.

Ekstrüzyon yöntemi diğer yöntemlere göre daha iyi mekanik ve optik özelliklere sahip film üretiminin yanında düşük enerji tüketimi, kısa işlem süresi, solvent kullanılmaması ve büyük ölçekli avantajları vardır. Ekipmanlar için yatırım maliyeti yüksektir. Proses süresince sıcaklık ve düşük nem nedeniyle kullanılacak polimerlerde sınırlama olur [42].



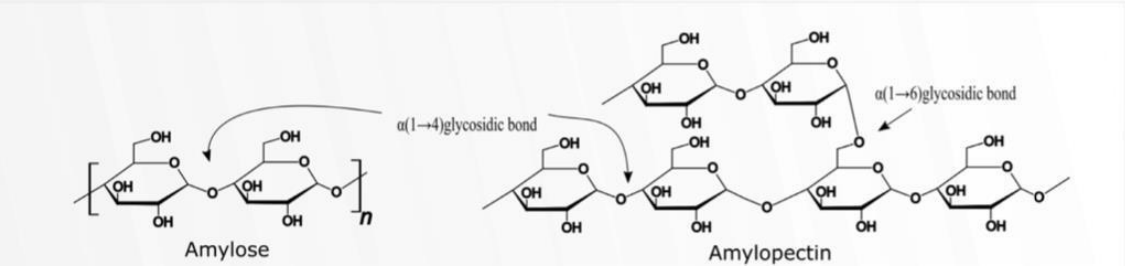
Şekil 2.13 Ekstrüzyon prosesi [42].

2.1.8 Nişasta

Nişasta bitkilerde kullanılmak üzere depolanmış besin ve enerji kaynağı olan bir karbonhidrattır. Buğday, patates, mısır ve pirincin ana bileşeni nişastadır. Nişasta bitkilerin daha sonra kullanmak üzere sakladıkları bir glukoz şeklidir. Şekil 2.14' de amiloz ve amilopektinin kimyasal yapısı gösterilmektedir. Bu glukoz birimlerinin 1,4-α-glikozit bağlarından oluşur. Zincirler 1,6-α-glikozit bağları içeren dallanmalara da sahiptir. Nişasta moleküllerinde en fazla 1000 glikoz birimi yer alır. 25 glikoz biriminden sonra dallanma görülmektedir [16]. Nişasta çeşitli çözeltiler ve çöktürme yöntemleriyle amiloz ve amilopektin denilen 2 kısım' a ayrılır [22]. Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'de bazı nişastaların özellikleri belirtilmiştir. Amiloz nişastanın %20 sini oluşturur. 50-500 glukoz biriminin 1,4-bağlanmasıyla ortaya çıkmıştır. Mol kütlesi 50000 kadardır. Dallanma çok az görülür. Amilopektin nişastanın %80' ini oluşturur. Her bir molekül ortalama 300-5000 arasında birim içerse de 1,4- bağı zincir ortalama 25-30 birimden oluşmaktadır. 1,6 – bağlanmasıyla zincirler dallanma noktalarından birbirlerine bağlanmıştır. Dallanmış

yapısının fazla olmasından dolayı nişasta içinde bulunan granüllerin şişme özelliğine sahiptir. Suyun içerisinde kolloit bir yapı sergiler [16].

Amiloz ve amilopektinin içyapısındaki birim zincir uzunluğu dağılım modeli, Şekil 2.14' de gösterilmiştir. Nişastaların termal özelliklerini ve retro gradasyon profilini etkiler (27) [48].



Şekil 2.14 Amiloz ve amilo pektinin kimyasal yapısı [1].

Tablo 2.3 Bazı bitkilerde doğal nişasta granülünün özellikleri [48].

Nişasta Kaynağı	Büyüklüğü(μm)	Şekil
Patates	5-100	Mercek Şeklinde
Mısır	2-30	Küresel/Çok Yüzlü
Buğday	20-35	Mercek Şeklinde
Pirinç	3-8(basit) /150 (bileşik)	Çok yüzlü
Tapyoka	3-32	Dairesel

2.1.9 Nişasta bileşeninin film özelliklerine etkisi

Nişastaların çoğunluğu yarı kristallidir. Yaklaşık %15 ile %45 kristalliğe sahiptir. Küçük dallı amilopektin zincirleri en önemli kristal bileşenlerdir. Nişasta bazlı filmler yüksek amiloz içeriğe sahip olması daha iyi mekanik performans sergilerler. Yapılan araştırmalar da amilozun, amilopektinden daha güçlü film oluşturma özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Amilopektin ise dalların yüksek derece birbirine bağlanması ve kısa zincir uzunluğu sebebiyle ince, kırılgan bir film oluşturur. Geleneksel nişasta filmleri %75 amilopektin ve %25 amiloz içeren nişasta tipleri en hassas olanlarıdır. Tablo 2.4 de fraklı kaynaklardan elde edilen amiloz ve amilopektin %'leri verilmiştir. Deney sırasında uzama hızlarının düşük çekme dayanımlarının az da olsa yüksektir. Gliserol ve sorbitol eklenmesiyle filmlere esneklik kazandırılır [49].

Tablo 2.4 Farklı kaynaklardan elde edilen amiloz ve amilopektin yüzdeleri [27].

Nişasta Kaynağı	Amiloz	Amilopektin	Granül boyutu (μm)
Patates nişastası	%21	%79	36
Tapyoka nişastası	%17	%83	14
Mısır nişastası	%26	%74	14,3
Pirinç nişastası	%17	%83	6
Buğday nişastası	%25	%75	7,20

3
MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal ve Yöntem

3.1.1 Materyal

Bu çalışmada patates, mısır, buğday, tapyoka ve pirinç nişastalarına sodyum aljinat, farklı oranlarda gliserol ve/veya sorbitol eklenerek yenilebilir film üretimi gerçekleştirilmiştir. Patates, mısır, buğday, tapyoka ve pirinç nişastalarına vişne çekirdeği esansiyel yağı ve limon esansiyel yağı eklenerek antibakteriyel özellikli kompozit esaslı yenilebilir film üretimi gerçekleştirilmiştir. Nişastalar Türkiye yerel aktarlardan satın alındı. Esansiyel yağlar Arifoğlu'ndan satın alındı.

3.1.2 Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler

Deneysel çalışmada patates, mısır, buğday, tapyoka ve pirinç nişastası, sodyum aljinat, gliserol, sorbitol, distile su, vişne çekirdeği yağı ve limon esansı yağı kullanılmıştır.

3.1.3 Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar

Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar; hassas terazi, ısıtıcılı manyetik karıştırıcı, ultrasonik homojenizatör, ultrasonik su banyosu, etüvdür. Ayrıca üretilen yenilebilir filmlerin karakterizasyonu FTIR cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.1.3.1 Hassas terazi

Belirlenen formülasyonların uygun şekilde hazırlanması ve dikkatli bir veri kullanımı çok önemlidir. Virgülden sonra 5 basamağa kadar gösteren oldukça hassas tartım yapabilen cihazlar hassas terazi olarak bilinir.



Şekil 3.1 OHAUS AB-0066-K marka hassas terazi

3.1.3.2 Isıtıcılı manyetik karıştırıcı

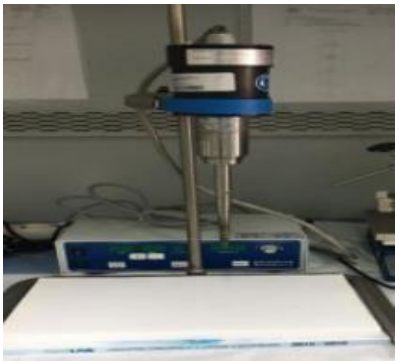
Üzerindeki tablalara konulan cam beherler içerisindeki sıvıların, manyetik alan yardımıyla karışmasını ve tablaların içerisinde yer alan ısıtıcı yardımıyla, sıvının istenilen sıcaklık ve karışma devrinde karıştırılmasını sağlayan cihazdır.



Şekil 3.2 Isıtılıcı manyeti karıştırıcı

3.1.3.3 Ultrasonik homojenizatör

Ultrasonik homojenizatör, çok hızlı bir şekilde titreşen ve sıvı çözelti içerisindeki küçük parçacıkların sıvı içerisine homojen bir bicimde dağılması için ultrasonik dalgalar ile uygulanan mekanik işlemdir.



Şekil 3.3 Ultrasonik homojenizatör

3.1.3.4 Ultrasonik su banyosu

Ultrasonik su banyosu, ultrasonik dalgalar yardımıyla film çözeltilerindeki kabarcıkların yok olması, küçük parçacıkların daha homojen dağılması ve kirlerin sterilize edilmesi amacıyla kullanılır.



Şekil 3.4 Ultrasonik banyo

3.1.3.5 Etüv

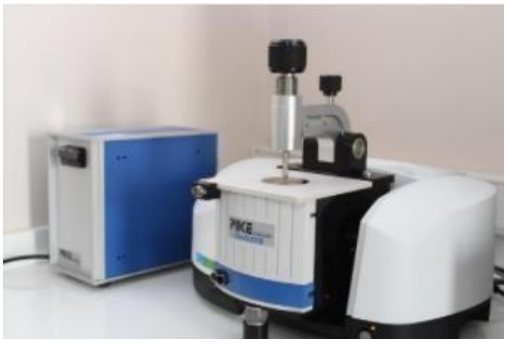
Etüv, laboratuvar fırını olarak da bilinir (Şekil3.6). Kurutma, sterilize etme, ısıtma ve pişirme gibi çeşitli işlevleri yerine getirir.



Şekil 3.5 Etüv

3.1.3.6 FTIR cihazı

FTIR cihazı (Şekil 3.7), temel olarak kızılötesi ışığın incelenen madde tarafından soğurulmasına dayanır. Soğurulma, moleküldeki bağların titreşimi ve dönüşleri için gerekli miktarda dalga enerjisinin, cihaz tarafından elektromanyetik spektrumun kızılötesi bölgesinden gönderilmesiyle gerçekleşir. Bir molekül veya bileşik yapısında bulunan bağlar hakkında tanımlayıcı bilgiler verir.



Şekil 3.6 FTIR cihazı

3.1.4 Deney yapılışı

3.1.4.1 Yenilebilir film çözeltisinin hazırlanması

Üretilen yenilebilir filmlerde nişasta türü ile plastikleştirici türü oranının ve aynı zamanda esansiyel yağın yenilebilir filmin performansını nasıl etkilediğini incelemek amacıyla her bir nişasta türü için 5 ayrı formülasyon denenmiştir. Öncelikle patates, mısır buğday, tapyoka ve pirinç nişastaları kullanılarak kontrol filmleri oluşturulmuştur. Daha sonra esansiyel yağlar eklenerek kompozit filmleri üretilmiştir. Değişen plastikleştirici oranlarına göre kontrol filmleri, patates nişastası kontrol filmleri PN-1, PN-2, PN-3, PN-4 ve PN-5 olarak, mısır nişastası kontrol filmleri MN-1,MN-2,MN-3,MN-4 ve MN-5, buğday nişastası kontrol filmleri BN-2,BN2,BN-3,BN-4 ve BN-5, tapyoka nişastası kontrol filmleri TN-1, TN-2, TN-3, TN-4 ve TN-5 ve pirinç nişastası kontrol filmleri Pİ-1,Pİ-2,Pİ-3,Pİ-4 ve Pİ-5 şeklinde kodlanmıştır.

Vişne çekirdeği esansiyel yağı eklenen kompozit filmler ise, patates nişastası kompozit filmleri PNVÇ-1, PNVÇ-2, PNVÇ-3, PNVÇ-4 VE PNVÇ-5, mısır nişastası kompozit filmleri MNVÇ-1, MNVÇ-2, MNVÇ-3,MNVÇ-4 ve MNVÇ-5, buğday nişastası kompozit filmleri BNVÇ-1,BNVÇ-2,BNVÇ-3 BNVÇ-4 ve BNVÇ-5, tapyoka nişastası kompozit filmleri TNVÇ-1, TNVÇ-2, TNVÇ-3, TNVÇ-4 ve TNVÇ-5 ve pirinç nişastası kompozit filmleri PİVÇ-1,PİVÇ-2,PİVÇ-3,PİVÇ-4 ve PİVÇ-5şeklinde kodlanmıştır.

Limon esansiyel yağı eklenen kompozit filmler ise, patates nişastası kompozit filmleri PNLE-1, PNLE-2, PNLE-3, PNLE-4 VE PNLE-5, mısır nişastası kompozit filmleri MNLE-1, MNLE-2, MNLE-3,MNLE-4 ve MNLE-5, buğday nişastası kompozit filmleri BNLE-1, BNLE-2, BNLE-3 BNLE-4 ve BNLE-5, tapyoka nişastası kompozit filmleri TNLE-1, TNLE-2, TNLE-3, TNLE-4 ve TNLE-5 ve pirinç nişastası kompozit filmleri PİLE-1,PİLE-2, PİLE-3, PİLE-4 ve PİLE-5 şeklinde kodlanmıştır.

Patates, mısır, buğday, tapyoka ve pirinç nişastasından üretilen vişne çekirdeği ve limon esansiyel yağı içeren filmlerin ve kontrol filmlerinin bileşimleri Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3 ‘de verilmiştir.

Tablo 3.1 Nişasta kontrol filmleri bileşimi

Filmin Adı	Nişasta (Patates, mısır, buğday, tapyoka, pirinç)	Sodyum Aljinat (g)	Gliserol (g)	Sorbitol (g)	Su (ml)
N-1	3	0,5	1	0	100
N-2	3	0,5	0	1	100
N-3	3	0,5	0,5	0,5	100
N-5	3	0,5	0,35	0,65	100
N-5	3	0,5	0,65	0,35	100

Tablo 3.2 Vişne çekirdeği esansiyel yağı ile üretilen kompozit filmlerin bileşimi

Filmin Adı	Nişasta (Patates, mısır, buğday, tapyoka, pirinç)	Sodyum Aljinat (g)	Gliserol (g)	Sorbitol (g)	Su (ml)	Vişne çekirdeği esansı
N-1	3	0,5	1	0	100	0,5
N-2	3	0,5	0	1	100	0,5
N-3	3	0,5	0,5	0,5	100	0,5
N-5	3	0,5	0,35	0,65	100	0,5
N-5	3	0,5	0,65	0,35	100	0,5

Tablo 3.3 Nişasta esansiyel yağı ile üretilen kompozit filmlerin bileşimi

Filmin Adı	Nişasta (Patates, mısır, buğday, tapyoka, pirinç)	Sodyum Aljinat (g)	Gliserol (g)	Sorbitol (g)	Su (ml)	Limon yağı esansı
N-1	3	0,5	1	0	100	0,5
N-2	3	0,5	0	1	100	0,5
N-3	3	0,5	0,5	0,5	100	0,5
N-5	3	0,5	0,35	0,65	100	0,5
N-5	3	0,5	0,65	0,35	100	0,5

3.1.4.1 Yenilebilir film hazırlanması

Ohaus Pioneer marka hassas terazi yardımıyla tüm tartımlar yapıldıktan sonra yenilebilir film çözeltileri, Wisester MSH-20D marka manyetik karıştırıcıda 500 rpm karıştırma hızı ve 60 °C’ de sıcaklıkta 1 saat boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra Bandelin Sonopuls HD 2070 marka ultrasonik prob kullanılarak her bir çözelti 10’ar dakika homojenize edilmiştir. Karışımlar ağızları parafilm ile kapatılarak 10 dakika 50 °C sıcaklıktaki Isolab marka su banyosunda bekletilmiş ve hazırlanan çözelti filmleri her biri ayrı ayrı petri kaplarına dökülmüştür. 24 saat 40 °C’ de etüvde kurutulmuştur.

3.1.5 Yenilebilir filmlere uygulanan analizler

3.1.5.1 Film kalınlığı analizi

Film kalınlığı mikrometre yardımıyla ölçülür**.** Bu Ölçümler filmlerin en az 5 farklı yerinden ölçülüp, her film için ortalama bir değer hesaplanmıştır.

3.1.5.2 Nem içeriği tayini

Nem içeriği analizi Dash vd. (2019) tarafından kullanılan yönteme benzer şekilde gerçekleştirilmiştir. Nem içeriği ağırlık kaybı tayini ile belirlenir. Filmler eşit parçalara ayrılır (2cm x 2cm) ve tartım alınır. Tartılan numuneler 24 saat boyunca 105 °C'de kurutulur ve kurutulan numuneler tekrar tartılır [50].

$$\text{Nem içeriği}\,(\%) = \frac{(M1-M2)}{M1} \times 100 \qquad 3.1$$

3.1.5.3 Film çözünürlüğü analizi

Suda çözünürlük analizi için film numuneleri etüvde 105 °C ‘de 24 saat kurutulur. Kullanılacak numune tartımı alınır (M_1). Beher de 10 ml saf su hazırlanarak tartımları yapılan film numuneleri saf suyun içine bırakılır. 6 saat boyunca oda sıcaklığında 100 rpm karıştırma hızında karıştırılır. Çözünmeyen film numuneleri kaba filtre kâğıdı kullanılarak süzülür. Filtre kâğıdı 24 saat 100 ° C ‘de tekrar etüvde kurutulur. Tartımı yapılır ve aradaki fark hesaplanmıştır [50].

$$\text{Suda Çözünürlük}\,(\%) = \frac{(M1-M2)}{M1} \times 100 \qquad 3.2$$

M_1 =İlk Tartım, M_2 =Son Tartım

3.1.5.4 Şişme indeksi analizi

Şişme indeksi analizi Susmitha vd. (2021) tarafından kullanılan yöntem modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Filmler eşit küçük parçalara (2 cm x 2 cm) kesilir ve 105℃’de 24 saat kurutulur. Kurutulan filmlerin tartımı alınır (M_1). Kurutulan filmler 1 dakika süreyle 15 mL saf su içeren bir plakaya daldırılır. Süre sonunda filmlerin ıslaklığı filtre kağıdı ile alınır ve tartılır (M_2) [53].

$$\text{Şişme İndeksi (\%)} = \frac{(M1-M2)}{M1} \times 100 \quad 3.3$$

3.1.5.5 Su buharı geçirgenliği analizi

Su buharı geçirgenliği analizi Shafie vd. (2020) tarafından kullanılan yöntem modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Analiz öncesinde filmler sabit tartıma gelinmesi için 24 saat boyunca $105℃'de$ etüvde kurutulur. Daha sonra test tüpleri için 5 gram silika jel tartımları alınır ve doldurulur. Bu tüplerin ağızlarına etüvde kurutulan filmler para film yardımı ile açık bir alan kalmayacak şekilde sarılır ve desikatörde 24 saat boyunca beklemeye alınır. Hazırlanan numunelerin tartımı 5 gün boyunca 24 saatte bir (her gün aynı saatte) alınır ve aşağıdaki formüle göre su buharı geçirgenliği hızı hesaplanır [52].

$$\text{Su Buharı Geçirgenliği Oranı} = \frac{\frac{\Delta w}{\Delta t}}{A} \quad 3.4$$

Δw: Filmin zamana bağlı ağırlık değişimi (g)

Δt: Değişen zaman (s)

A: Maruz kalan film alanı (m^2)

3.1.5.6 Antibakteriyel aktivite testi

Bu deneysel analizde hazırlanan film çözeltilerine agar well difüzyon yöntemi kullanılmıştır. Staphylococus aureus (Gram-pozitif bakteri), Esherichia coli (Gram-negatif bakteri)' e karşı gösterdikleri antibakteriyel özellikler gözlemlenmiştir.

Bakteri ekimleri uygulanmadan bir gün öncesinden -80 $°C$ 'de muhafaza edilen bakteriler 20 ml buyyon sıvı içerisine bırakılmıştır. İki tür bakteriye karşı agar ortamda 37 °C 24 saat kültürlendirilmiştir. Bakterilerin yoğunlukları UV spektrofotometresi kullanılarak 560 nm'de ölçümlendirilmiştir. Bakteri yoğunluğu 0,3-0,5 Å arasında olmasına dikkat edilmelidir. Bakteri ekimi yapılarak kuyular açılır. Film çözeltileri kuyulara doldurulur. Hazır hale getirilen besiyerler yeniden 37 $°C$ 24 saat inkübe edilir. 24 saatin sonunda bakteri kültürlerin de filmlerin meydana getirdiği inhibisyon çapları ölçülür. Bakteriyel büyümeyi inhibe etme becerisi incelenmiştir [55].

4
DENEYSEL SONUÇLAR

4.1 Kontrol Filmleri Deneysel Sonuçları

4.1.1 Nişastadan Elde Edilen Kontrol Filmleri ve Kompozit Filmler



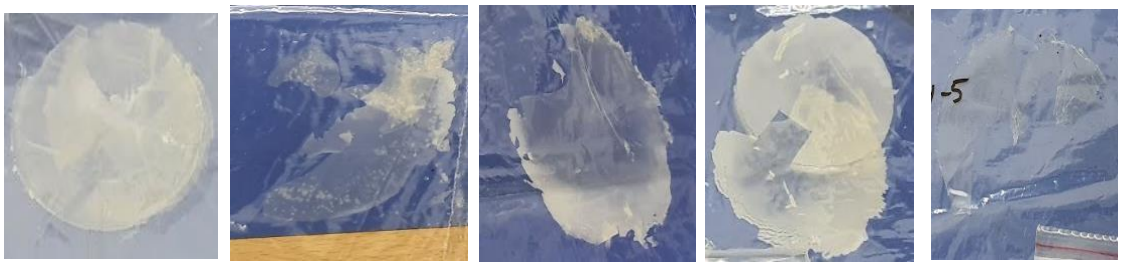
BN-1 BN-2 BN-3. BN-4. BN-5

Şekil 4.1 Buğday nişastası ile hazırlanan filmler



MN-1 MN-2 MN-3 MN-4. MN-5

Şekil 4.2 Mısır nişastası ile hazırlanan filmler



TN-1 TN-2 TN-3 TN-4 TN-5

Şekil 4.3 Tapyoka nişastası ile hazırlanan filmler



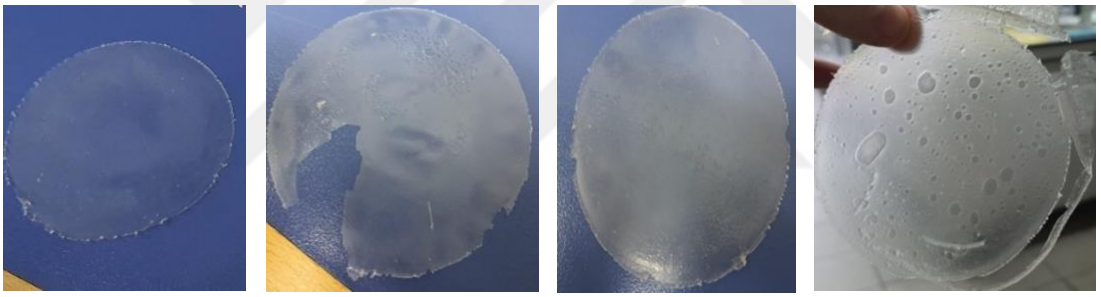
Pİ-1 Pİ-2. Pİ-3 Pİ-4. Pİ-5

Şekil 4.4 Pirinç Nişastası İle Hazırlanan Filmler



PN-1. PN-2 PN-3 PN-4 PN-5

Şekil 4.5 Patates Nişastası İle Hazırlanan Filmler



PN-LE-1 PN-LE-2 PN-LE-3 PN-LE-4

Şekil 4.6 Nişasta ve esansiyel yağ kullanılarak elde edilen kompozit yapılı film örnekleri



TN-LE-1 TN-LE-3. TN-LE-5

Şekil 4.7 Nişasta ve esansiyel yağ kullanılarak elde edilen kompozit yapılı film örnekleri



TN-VÇ-3. BN-LE-1. BN-LE-5

Şekil 4.8 Nişasta ve esansiyel yağ kullanılarak elde edilen kompozit yapılı film örnekleri

4.1.2 Film kalınlıkları

Üretilen filmlerin milimetrik kalınlıkları mikrometre yardımıyla 5 farklı yerden okunmuş, ve Tablo 4.1'e ortalama sonuçları belirtilmiştir.

Tablo 4.1 Patates nişastası kontrol filmleri kalınlıkları

Film Numunesi	Film Kalınlığı (mm)
PN-1	0,24
PN-2	0,20
PN-3	0,075
PN-4	0,24
PN-5	0,16
MN-1	0,016
MN-2	0,07
MN-3	0,08
MN-4	0,06
MN-5	0,1
BN-1	0,01
BN-2	0,1
BN-3	0,04
BN-4	0,08
BN-5	0,01
TN-1	0,06
TN-2	0,16
TN-3	0,02
TN-4	0,06

TN-5	0,035
Pİ-1	0,12
Pİ-2	0,14
Pİ-3	0,11
Pİ-4	0,12
Pİ-5	0,15

Sonuçlar incelendiğinde film kalınlıkları 0,01- 0,24 mm arasında değişkenlik göstermektedir. Patates nişastası ile hazırlanan film kalınlıkları 0,24-0,075 arasında değişmektedir. Mısır nişastası ile hazırlanan film kalınlıkları 0,016-0,07 arasında değişmektedir. Film kalınlıkları oldukça birbirlerine yakın değer göstermektedir. Buğday nişastası ile hazırlanan film kalınlıkları 0,01-0,1 arasında değişmektedir. Tapyoka nişastası ile hazırlanan film kalınlıkları 0,02-0,11 arasında değişmektedir. Pirinç nişastası ile hazırlanan filmlerin kalınlıkları 0,1-0,15 arasında değişmektedir. Film kalınlıkları arasında çok büyük farklar görülmemektedir. Sonuçlara göre sorbitol ile hazırlanan filmler diğerlerine göre daha kalın olduğu tespit edilmiştir.

4.1.3 Nem içeriği tayini testi

Filmler reçetede belirlenen prosedüre göre hazırlandıktan sonra nem testi için 2cm- 2cm boyutlarında kesilen filmlerin ilk tartımları alınmıştır. Tartımı alınan numuneler 105 °C'de etüvde 24 saat bekletilmiş ve nem içeriği tayini için tekrar tartımları alınmıştır. Tartım sonuçları tablo 4.2'de belirtilmiştir. Yenilebilir filmler yapılarında nem içermektedir. Filmin yapısına ve içeriğine göre bu oran değişebilmektedir. Nem oranı, gıda ömrünü ve işlevini etkilemektedir. Bu yüzden yenilebilir filmlerin % nem içeriğinin belirlenmesi gerekmektedir.

Tablo 4.1 Nişasta kontrol filmleri nem içeriği

Film Numunesi	W_1	W_2	Nem İçeriği (%)
PN-1	0,0921	0,0822	10,7
PN-2	0,1125	0,1041	7,5
PN-3	0,0482	0,0437	9,3
PN-4	0,01732	0,1612	6,9
PN-5	0,0553	0,0512	7,4
MN-1	0,0456	0,0412	9,6
MN-2	0,0447	0,0413	7,6
MN-3	0,0356	0,0320	10,1
MN-4	0,0325	0,0296	8,9
MN-5	0,0367	0,0332	9,5
BN-1	0,0416	0,0370	11,1
BN-2	0,0553	0,0514	3,3
BN-3	0,0563	0,0476	15,5
BN-4	0,0484	0,0446	7,8
BN-5	0,0440	0,0384	12,7
TN-1	0,0373	0,0246	3,4
TN-2	0,0556	0,0515	7,4
TN-3	0,0277	0,0245	11,6
TN-4	0,0595	0,0550	7,6
TN-5	0,0434	0,0404	6,9
Pİ-1	0,0438	0,0382	12,7
Pİ-2	0,0532	0,0520	2,3
Pİ-3	0,0587	0,0513	12,6
Pİ-4	0,0626	0,0581	7,1
Pİ-5	0,0315	0,0292	7,3

Hazırlanan Kontrol filmleri değerlendirildiğin de nem oranları gliserolle hazırlanan filmler de biraz daha fazla görülmüştür. En düşük nem oranı miktarı tapyoka nişastasında olduğu görülmüştür. 5 nişasta içinde hem gliserol hem sorbitol içeren filmlerde gliserol ve sorbitol oranının değişmesi sonucu nem içeriğinde büyük bir farklılık meydana gelmediği görülmüştür.

4.1.4 Film çözünürlüğü analizi

Yenilebilir filmin çözünürlüğü, sulu bir ortamda filmlerin bütünlüklerini gösterir ve daha yüksek çözünürlük, daha düşük su direncine işaret eder. Yüksek çözünürlük, ağızda yumuşak bir şekilde erirken hızlı bir şekilde çözülmesi gereken yenilebilir film (şeker paketlemesi gibi) uygulamaları için bir avantaj olabileceği gibi, bazı durumlarda da dezavantaj olabilmektedir (51). Ürün bütünlüğünü ve su direncini arttırmak için suda çözünmezliğe ihtiyaç duyabilmektedir (50). Başlık 3.1.5.3'de belirtilen yöntem doğrultusunda analizler gerçekleştirilmiş ve sodyum aljinat bazlı yenilebilir filmlerin suda çözünürlük analiz sonuçları aşağıda görülmektedir. Sudaki film çözünürlüğü, plastikleştirici konsantrasyonunun artmasıyla artar. Plastikleştirilmiş filmlerde, plastikleştiriciler biyopolimer molekülleri arasındaki etkileşimleri azaltabilir ve hidrofilik doğası nedeniyle çözünürlüğü artırabilir, polimer moleküllerine suyu bağlamak için daha yüksek bir afinite verebilir. Ghasemlou vd.'nin çalışmasında en yüksek çözünürlük, en yüksek konsantrasyonda plastikleştiriciler kullanıldığında elde edilmiştir. Filmlerin suda dağıldıklarında bütünlüklerini koruyamadıkları tespit edilmiştir. Bu etki, plastikleştiricinin tipine ve konsantrasyonuna bağlıdır. Her bir plastikleştirici için, konsantrasyonun artmasıyla birlikte filmin çözünürlüğünün arttığı bulunmuştur. Plastikleştirici'nin eklenmesi hidrofilik içeriği arttırır, böylece filmlerin çözünürlüğünü de arttırır. Ayrıca, polimerin çözünmesini artırabilecek polimer zincirleri arasındaki etkileşimi de değiştirir (52).

Tablo 4.3 Nişasta kontrol filmlerinin çözünürlüğü

Film Numunesi	W_1	W_2	Çözünürlük (%)
PN-1	0,0594	0,023	61,3
PN-2	0,0220	0,0047	78,6
PN-3	0,0179	0,0005	97,2
PN-4	0,0432	0,0159	63,2
PN-5	0,0417	0,042	89,9
MN-1	0,0115	0,0009	92,2
MN-2	0,0108	0,0008	92,6
MN-3	0,0132	0,0015	88,6
MN-4	0,097	0,00027	99,7
MN-5	0,095	0,0017	82,1
BN-1	0,0172	0,0127	26,2
BN-2	0,0242	0,0188	22,3
BN-3	0,0231	0,0138	40,3
BN-4	0,0211	0,0055	73,4
BN-5	0,0205	0,0136	33,7
TN-1	0,0147	0,0123	16,3
TN-2	0,0295	0,0162	45,1
TN-3	0,0099	0,0021	78,8
TN-4	0,0226	0,0078	65,6
TN-5	0,0188	0,0021	88,8
Pİ-1	0,0212	0,0039	81,6
Pİ-2	0,0262	0,0046	82,4
Pİ-3	0,0297	0,008	73,1
Pİ-4	0,0304	0,0067	77,9
Pİ-5	0,0117	0,0013	88,0

5 ayrı nişasta ile yapılan analizler de çözünürlüklerin mısır nişastası ile hazırlanan filmlerin çözünürlükleri diğer hazırlanan filmlere göre yüksek olduğu görülmüştür. Buğday nişastası ile hazırlanan filmlerin daha düşük çözünürlüğe sahip olduğu görülmüştür. En yüksek çözünürlüğe sahip MN-4 oranların da hazırlanan kontrol filmi olmuştur. En düşük çözünürlüğe sahip film ise TN-1'dir. Sonuçlardan görülüyor ki hiçbir numune bütünlük sağlayamamıştır.

4.1.5 Şişme indeksi analizi

Tablo 4.4 Nişasta kontrol filmleri şişme indeksi

Film Numunesi	W_1	W_2	Şişme İndeksi (%)
PN-1	0,0632	0,1635	158,7
PN-2	0,0260	0,0605	132,7
PN-3	0,0240	0,0903	276,3
PN-4	0,0327	0,0865	164,5
PN-5	0,0272	0,0742	172,8
MN-1	0,0234	0,0511	54,2
MN-2	0,0285	0,0450	57,8
MN-3	0,0192	0,0635	230,7
MN-4	0,0188	0,0331	76,1
MN-5	0,0229	0,0257	12,2
BN-1	0,0184	0,0572	210,9
BN-2	0,0247	0,0912	269,2
BN-3	0,0240	0,0833	247,1
BN-4	0,0218	0,0848	289,0
BN-5	0,0172	0,0641	271,1
TN-1	0,0107	0,0448	318,7
TN-2	0,0146	0,0404	176,7
TN-3	0,010	0,0249	149,0
TN-4	0,0304	0,1050	245,4
TN-5	0,0200	0,0623	211,5
Pİ-1	0,0155	0,0380	145,2
Pİ-2	0,0242	0,0537	121,9
Pİ-3	0,0210	0,0700	121,9
Pİ-4	0,0283	0,0525	85,5
Pİ-5	0,0161	0,0595	269,6

Yenilebilir filmlerde şişme indeksi, gıda ürünlerinin biyolojik olarak parçalanması ve depolanma sırasında kalitesinin korunması için önemli bir göstergedir.5 ayrı nişasta ile hazırlanan kontrol filmleri sonuçlarına tablo 4.4 ‘ya bakıldığında şişme oranının en yüksek patates ve buğday nişastasında olduğu görülmüştür. En düşük şişme oranları ise mısır nişastasında çıkmıştır. Yüzde

olarak da gliserol ile hazırlanan TN-1'de görülmüştür. En düşük şişme oranı sorbitol ile hazırlanan MN-2'de görülmüştür.

4.1.6 Su buharı geçirgenliği analizi

Ambalaj materyali su buharı bariyerine sahip değilse üründen normal solunum, mikrobiyolojik aktivite ya da fiziksel aktivite sonucunda buharlaşan su, ambalaj materyalinden geçerek su kayıplarına neden olabilmektedir. Dolayısıyla buhar geçirgenliği analizi sonucu filmin bariyer özelliğini tespit etmek önem taşımaktadır. Dondurulmuş ve taze gıdaların, özellikle etlerin depolama süresince nem kaybetmeleri üründe aroma, tekstür ve renk değişikliklerine sebep olduğu gibi, aynı zamanda satış ağırlığında da düşüşe yol açmaktadır.

Tablo 4.5 Nişasta kontrol filmleri su buharı geçirgenliği oranı

Film Numunesi	W1	W5	m=W2-W1 (g)	D=çap (cm)	A=(π.(D^2)/4) (cm^2)	WVTR=m/t.A (g/(s.cm^2))
PN-1	14,6406	14,7015	0,0609	1,3	1,32665	$10{,}6 \times 10^{-8}$
PN-2	14,6747	14,7260	0,0513	1,3	1,32665	$8{,}9\times 10^{-8}$
PN-3	14,9025	14,9421	0,0496	1,3	1,32665	$8{,}6\times 10^{-8}$
PN-4	14,8524	14,8823	0,0499	1,3	1,32665	$8{,}7\times 10^{-8}$
PN-5	14,9713	14,9814	0,0405	1,3	1,32665	$7{,}0\times 10^{-8}$
Pİ-1	13,979	14,012	0,033	1,3	1,32665	$5{,}7\times 10^{-8}$
Pİ-2	14,715	14,745	0,03	1,3	1,32665	$5{,}2\times 10^{-8}$
Pİ-3	14,771	14,792	0,021	1,3	1,32665	$3{,}6\times 10^{-8}$
Pİ-4	14,228	14,247	0,019	1,3	1,32665	$3{,}3\times 10^{-8}$
Pİ-5	14,523	14,547	0,024	1,3	1,32665	$4{,}1\times 10^{-8}$
BN-1	14,257	14,292	0,035	1,3	1,32665	$6{,}1\times 10^{-8}$
BN-2	14,005	14,043	0,038	1,3	1,32665	$6{,}6\times 10^{-8}$
BN-3	13,821	13,864	0,043	1,3	1,32665	$7{,}5\times 10^{-8}$
BN-4	14,327	14,361	0,034	1,3	1,32665	$5{,}9\times 10^{-8}$
BN-5	14,348	14,370	0,022	1,3	1,32665	$3{,}8\times 10^{-8}$
MN-1	14,6918	14,7517	0,059	1,3	1,32665	$10{,}4\times 10^{-8}$
MN-2	15,1433	15,2043	0,061	1,3	1,32665	$10{,}6\times 10^{-8}$
MN-3	14,9916	15,0362	0,0402	1,3	1,32665	$7{,}0\times 10^{-8}$
MN-4	14,8917	14,9514	0,0597	1,3	1,32665	$10{,}4\times 10^{-8}$
MN-5	15,0615	15,1252	0,0637	1,3	1,32665	$11{,}1\times 10^{-8}$
TN-1	13,979	14,012	0,033	1,3	1,32665	$5{,}7\times 10^{-8}$
TN-2	14,715	14,758	0,043	1,3	1,32665	$7{,}5\times 10^{-8}$
TN-3	14,771	14,825	0,0541	1,3	1,32665	$9{,}4\times 10^{-8}$
TN-4	14,228	14,287	0,0592	1,3	1,32665	$10{,}3\times 10^{-8}$
TN-5	14,523	14,570	0,0474	1,3	1,32665	$8{,}2\times 10^{-8}$

Patates, mısır, buğday, tapyoka ve pirinç nişastaları ile hazırlanan filmlerin su buharı geçirgenliği oranları karşılaştırıldığında pirinç, buğday nişastası filmleri diğer mısır, patates ve tapyoka nişastası filmlerine göre daha düşük su buharı geçirgenliği gösterdi. Tapyoka, patates ve mısır nişastasından yapılan filmlerin su buharı geçirgenliğine daha duyarlı olduğu görülmüştür. Hazırlanan nişasta filmlerinde pirinç nişastasının en düşük olduğu tespit edilmiştir. Gliserol ve sorbitol ün yarı yarıya kullanıldığı filmin su buharı geçirgenliği en düşüktür.

Gliserol ve sorbitol plastikleştiricileri ayrı kullanıldığında su buharına karşı daha duyarlı olduğu birlikte kullanıldığında su buharına daha çok direnç gösterdiği tespit edilmiştir. Değerler arasında çok büyük farklar olmamakla birlikte en düşük su buharı geçirgenliği oranı gliserol ve sorbitol ile hazırlanan Pİ-4 filmi sahiptir.

Filmlerin su buharı geçirgenliği (WVP) ürünün raf ömrünü tahmin etmek için çok önemli bir faktördür. Çünkü su, iç veya dış ortamdan film yoluyla transfer olabilir ve bu da ürün kalitesinin ve raf ömrünün bozulmasına neden olur. ($p<0,01$) WVP plastikleştiricinin konsantrasyonuyla orantılıdır. WVP genellikle filmin hidrofilik kısmında meydana gelir. Filmin bileşenlerinin hidrofilik/hidrofobik oranına bağlıdır. Gliserol molekülünün hidrofilik karakterinden dolayı en yüksek WVP' yi gösterdi (56).

4.2 Vişne Çekirdeği Esaslı Kompozit Filmleri Deneysel Sonuçları

4.2.1 Film kalınlıkları analiz sonuçları

Tablo 4.6 Nişasta-Vişne Çekirdeği Kompozit Esaslı Film Kalınlıkları

Film Numunesi	Film Kalınlığı(mm)
PN-VÇ-1	0,026
PN-VÇ-3	0,07
PN-VÇ-4	0,13
PN-VÇ-5	0,06
MN-VÇ-1	0,02
MN-VÇ-4	0,07
BN-VÇ-1	0,01
BN-VÇ-2	0,13
BN-VÇ-3	0,09

TN-VÇ-1	0,08
TN-VÇ-3	0,13
TN-VÇ-5	0,09
Pİ-VÇ-1	0,13
Pİ-VÇ-5	0,10

Vişne çekirdeği yağı kullanarak hazırlanan filmlerin kalınlıkları, kontrol filmlerine göre daha ince olduğu görülmüştür. Film kalınlıkları 0,014 - 0,13 arasında değişmektedir. En ince oluşan film mısır nişastasında görülmektedir. Kalınlıklar karşılaştırıldığında aralarında büyük farklılıkların olmadığı görülmüştür.

4.2.2 Nem içeriği analiz sonuçları

Tablo 4.7 Nişasta-Vişne Çekirdeği Kompozit Esaslı Film Kalınlıkları

Film Numunesi	**W_1**	**W_2**	**Nem İçeriği (%)**
PN-VÇ-1	0,0449	0,0425	5,3
PN-VÇ-3	0,0428	0,0403	5,8
PN-VÇ-4	0,078	0,0749	3,9
PN-VÇ-5	0,0406	0,0348	14,3
MN-VÇ-1	0,0432	0,0355	17,8
MN-VÇ-4	0,0694	0,0591	14,8
BN-VÇ-1	0,0778	0,0728	6,4
BN-VÇ-2	0,0769	0,0647	15,9
BN-VÇ-3	0,048	0,0439	8,5
TN-VÇ-1	0,0589	0,0507	13,9
TN-VÇ-3	0,0535	0,0513	4,1
TN-VÇ-5	0,0408	0,0393	3,7
Pİ-VÇ-1	0,0758	0,0713	5,9
Pİ-VÇ-5	0,0502	0,0488	2,8

Nişastalara 0,5 gr vişne çekirdeği yağı eklenerek oluşturulan filmlerin nem içeriği hesaplanmıştır. Tablo 4.7 gösterilmektedir. Esansiyel yağ kullanarak oluşturulan filmlerden bazıları bütünlük sağlayamamış filmlerde parçalanmalar gözlemlenmiştir. Oluşan filmlerin nem içeriğine

bakıldığında nem içeriği yüzdesi en çok mısır nişastasında görülmüştür. Nem içeriği oranı en düşük pirinç nişastası ile hazırlanan filmde görülmüştür.

Genellikle gliserol oranı yüksek filmlerde nem içeriği fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Nem oranlarında büyük farklar görülmemektedir. Patates, buğday ve tapyoka nişastasından elde edilen filmlerde nem içeriği birbirine oranları oldukça yakındır. BN-VÇ-2 sorbitol ile hazırlanan film de nem oranın yüksek olması göze çarpmıştır. Vişne çekirdeği yağı kullanılarak hazırlanan filmler kontrol filmlere göre daha çok nem içerdiği görülmüştür.

Vişne çekirdeği yağı ile hazırlanan kompozit yenilebilir filmlerin analiz sonuçları Tablo 4.8 ‘ de gösterilmiştir.

4.2.3 Film çözünürlüğü analiz sonuçları

Tablo 4.8 Nişasta - Vişne Çekirdeği Kompozit Yapılı Film Çözünürlüğü

Film Numunesi	**W_1**	**W_2**	**Çözünürlük (%)**
PN-VÇ-1	0,0449	0,0313	30,3
PN-VÇ-3	0,0721	0,0242	66,4
PN-VÇ-4	0,078	0,0315	59,6
PN-VÇ-5	0,0406	0,0204	50,0
MN-VÇ-1	0,0432	0,007	83,8
MN-VÇ-4	0,0694	0,0332	52,3
BN-VÇ-1	0,0778	0,011	85,9
BN-VÇ-2	0,0758	0,0357	29,1
BN-VÇ-3	0,048	0,0232	51,6
TN-VÇ-1	0,0589	0,0293	50,3
TN-VÇ-3	0,0546	0,0294	46,3
TN-VÇ-5	0,0408	0,024	41,2
Pİ-VÇ-1	0,0758	0,0357	52,9
Pİ-VÇ-5	0,0769	0,0272	64,6

Nişasta ve vişne çekirdeği yağı ile elde edilen filmlere bakıldığında her bir nişastadan belli oranlarda filmler oluştuğu görülmüştür. Film çözünürlükleri en yüksek mısır nişastasında görülürken, en düşük çözünürlük tapyoka nişastasında görülmüştür. Gliserolle hazırlanan ve gliserol oranı fazla olan filmler sorbitol ile hazırlanan ve sorbitol kullanılan filmlerin çözünürlüklerine göre biraz daha fazla olduğu belirlenmiştir.

4.2.4 Şişme indeksi analiz deney sonuçları

Tablo 4.9 Nişasta- Vişne Çekirdeği Kompozit Yapılı Film Şişme İndeksi

Film Numunesi	W_1	W_2	Şişme İndeksi (%)
PN-VÇ-1	0,1463	0,3643	149
PN-VÇ-3	0,0844	0,2538	200,7
PN-VÇ-4	0,1370	0,3880	183,2
PN-VÇ-5	0,1047	0,3282	213,5
MN-VÇ-1	0,0548	0,1149	109,7
MN-VÇ-4	0,0577	0,1255	117,5
BN-VÇ-1	0,0509	0,2186	329
BN-VÇ-2	0,0312	0,0660	111,5
BN-VÇ-3	0,0518	0,1756	238,9
TN-VÇ-1	0,0755	0,2382	215,5
TN-VÇ-3	0,0646	0,2452	279,6
TN-VÇ-5	0,0472	0,2307	388,8
Pİ-VÇ-1	0,0634	0,1221	92,5
Pİ-VÇ-5	0,0632	0,1181	86,9

Nişasta bazlı vişne çekirdeği yağı filmlerin şişme indeksine bakıldığında tapyoka nişastasının şişme oranı en yüksek görülürken, pirinç nişastası ile elde edilen filmlerin şişme oranı en düşük görülmektedir. En düşük şişme oranı Pİ-VÇ-5, en yüksek şişme indeksi TN-VÇ-5 de görülmektedir. Tablo 4.9'da pirinç nişastası ve mısır nişastalarının suya karşı duyarlılıkları oldukça yüksektir.

4.2.5 Su buharı geçirgenliği oranı

Tablo 4.10 Nişasta-Vişne Çekirdeği Kompozit Yapılı Film Su Buharı Geçirgenliği

Film Numunesi	W1	W2	m= W2-W1 (g)	D =çap (cm)	A= (π.(D^2)/4) (cm^2)	WVTR= m/t.A ($g/(s.cm^2)$)
PN-VÇ-1	15,4315	15,5018	0,0703	1,3	1,32665	12,2
PN-VÇ-3	15,5256	15,5628	0,0372	1,3	1,32665	6,4
PN-VÇ-4	15,7631	15,8757	0,1126	1,3	1,32665	19,6
PN-VÇ-5	14,9013	14,9776	0,0763	1,3	1,32665	13,3
MN-VÇ-1	15,3451	15,3490	0,0039	1,3	1,32665	0,6
MN-VÇ-4	15,1235	15,1265	0,003	1,3	1,32665	0,7
TN-VÇ-1	15,6918	15,7517	0,0604	1,3	1,32665	10,5
TN-VÇ-2	15,3699	15,4190	0,0491	1,3	1,32665	8,5
TN-VÇ-3	15,9803	16,0212	0,0409	1,3	1,32665	7,1
BN-VÇ-1	15,2345	15,3367	0,1022	1,3	1,32665	9,9
BN-VÇ-2	15,5283	15,5684	0,0401	1,3	1,32665	6,9
BN-VÇ-3	15,0347	15,1314	0,0967	1,3	1,32665	16,8
Pİ-VÇ-1	16,4566	16,5233	0,0667	1,3	1,32665	11,6
Pİ-VÇ-5	15,7866	15,8432	0,0566	1,3	1,32665	9,8

Vişne çekirdeği yağı kullanılarak oluşan filmlerin su buharı geçirgenliği sonuçları karşılaştırıldığında MN-VÇ-1 filminin daha düşük olduğu**,** PN-VÇ-4 'nin yüksek olduğu görülmüştür. Gliserol ve sorbitol plastikleştiricilerin yalnız başına kullanıldığında su buharına karşı daha hassas olduğu sonucuna varılmıştır. Hazırlanan kontrol filmlerinin geçirgenliği esansiyel yağ eklenerek hazırlanan filmlerin, daha düşük geçirgenliğe sahip olduğu görülmüştür.

4.3 Limon Esansı Kompozit Yapılı Film Analiz Sonuçları

4.3.1 Film kalınlıkları sonuçları

Tablo 4.11 Nişasta-Limon Esansı Kompozit Yapılı Film Kalınlıkları

Film Numunesi	Film Kalınlığı
PN-LE-1	0,07
PN-LE-2	0,04
PN-LE-3	0,07
PN-LE-4	0,06
PN-LE-5	0,07
MN-LE-1	0,12
MN-LE-3	0,08
MN-LE-4	0,08
BN-LE-1	0,07
BN-LE-2	0,08
BN-LE-3	0,13
BN-LE-4	0,06
BN-LE-5	0,08
TN-LE-1	0,17
TN-LE-2	0,08
TN-LE-3	0,15
TN-LE-5	0,10
Pİ-LE-5	0,06
Pİ-LE-1	0,01

Limon esansiyel yağı kullanarak hazırlanan filmlerin kalınlıkları kontrol filmlerine göre daha ince olduğu görülmüştür. Hazırlanan film kalınlıkları 0,04 – 0,17 arasındadır. Kalınlık değerleri birbirlerine oldukça yakın değerler çıkmıştır. Tapyoka nişastası ile hazırlanan filmlerin diğerlerine göre biraz daha fazla yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bazı filmlerin kalınlıkları döküm esnasında kalın çıktığı, nişastanın cinsinden ve kullanılan plastikleştiricilerin etkisinden kaynaklandığının söyleyebiliriz.

4.3.2 Filmlerin nem içeriği tayini sonuçları

Tablo 4.12 Nişasta- Limon Esansı Kompozit Yapılı Nem İçeriği

Film Numunesi	W_1	W_2	Nem İçeriği (%)
PN-LE-1	0,0896	0,0812	9,3
PN-LE-2	0,1042	0,0967	7,2
PN-LE-3	0,1878	0,1713	8,8
PN-LE-4	0,0887	0,0823	7,2
PN-LE-5	0,0804	0,0711	11,6
MN-LE-1	0,0862	0,0721	16,4
MN-LE-3	0,0620	0,0560	9,7
MN-LE-4	0,0728	0,0670	7,9
BN-LE-1	0,0525	0,0469	10,7
BN-LE-2	0,0665	0,0613	7,8
BN-LE-3	0,0829	0,0746	10,0
BN-LE-4	0,1009	0,0924	8,4
BN-LE-5	0,0687	0,0625	9,0
TN-LE-1	0,1396	0,1207	13,5
TN-LE-2	0,1015	0,0948	6,6
TN-LE-3	0,0904	0,0843	6,7
TN-LE-5	0,0771	0,0704	8,7
Pİ-LE-5	0,0781	0,0643	17,7
Pİ-LE-1	0,0654	0,0581	11,2

Limon esansı ile hazırlanan filmlerde en yüksek nem içeriği MN-LE-1 iken en düşük nem içeriği TN-LE-2 de görülmektedir. Film çözeltilere esansiyel yağın eklenmesiyle nem miktarı kontrol filmlere göre biraz daha yüksek oranda olduğu görülmüştür. Kontrol filmlerinde tapyoka nişastasında en düşük nem içeriği görülürken TN-LE-2,TN-LE-3 ve TN-LE-5 de düşük nem içeriği oluşmuştur.

4.3.3 Filmlerin suda çözünürlük sonuçları

Tablo 4.13 Nişasta - Limon Esansı Kompozit Yapılı Film Çözünürlüğü

Film Numunesi	W_1	W_2	Çözünürlük (%)
PN-LE-1	0,0797	0,0106	86,7
PN-LE-2	0,0942	0,0212	77,5
PN-LE-3	0,0909	0,0525	42,2
PN-LE-4	0,0564	0,0317	43,8
PN-LE-5	0,0314	0,0106	66,2
MN-LE-1	0,0726	0,0618	16,4
MN-LE-3	0,0347	0,0316	8,9
MN-LE-4	0,0666	0,0536	19,5
BN-LE-1	0,0468	0,0106	77,4
BN-LE-2	0,0632	0,0175	72,3
BN-LE-3	0,0544	0,0481	11,6
BN-LE-4	0,0917	0,0658	28,2
BN-LE-5	0,0386	0,0241	37,6
TN-LE-1	0,0548	0,0283	48,4
TN-LE-2	0,0348	0,0177	49,0
TN-LE-3	0,0637	0,0317	50,2
TN-LE-5	0,0660	0,0455	31,0
Pİ-LE-1	0,0645	0,0392	39,2
Pİ-LE-5	0,0657	0,0426	35,2

4.3.4 Filmleri şişme indeksi sonuçları

Tablo 4.14 Nişasta- Limon Esansı Kompozit Yapılı Film Şişme İndeksi

Film Numunesi	W_1	W_2	Şişme İndeksi (%)
PN-LE-1	0,0532	0,2170	307,9
PN-LE-2	0,0595	0,2578	333,3
PN-LE-3	0,0667	0,1946	191,7
PN-LE-4	0,0398	0,1912	380,4
PN-LE-5	0,0443	0,2362	433.2
MN-LE-1	0,0365	0,1720	371,2
MN-LE-3	0,0415	0,1279	208,2
MN-LE-4	0,0290	0,1521	424,4
BN-LE-1	0,0371	0,1619	336,4
BN-LE-2	0,0289	0,0992	243,3
BN-LE-3	0,0458	0,1219	166,2
BN-LE-4	0,0764	0,3069	301,7
BN-LE-5	0,0371	0,0924	149,1
TN-LE-1	0,0735	0,2688	265,7
TN-LE-2	0,0979	0,3716	279,6
TN-LE-3	0,0583	0,1721	95,2
TN-LE-5	0,0730	0,2455	236,3
Pİ-LE-1	0,0186	0,0652	250,5
Pİ-LE-5	0,0175	0,0558	218,8

Sonuçlar Tablo4.14’ de verilmiştir. Limon esansı ile hazırlanan filmlerin şişme indeksine en yüksek PN-LE-5 iken en düşük şişme indeksi BN-LE-5’ dir. Kontrol filmleri ve vişne çekirdeği yağı esansı kullanarak hazırlanan filmlerin şişme indeksi limon yağı esansı kullanılarak elde edilen filmlerin şişme indeksi daha düşük çıkmıştır. Değerler arasında büyük farklar görülmüştür. Limon esansiyel yağın şişme indeksini etkilediği görülmüştür.

4.3.5 Filmlerin su buharı geçirgenliği deneyi sonuçları

Tablo 4.15 Nişasta - Limon Esansı Kompozit Yapılı Film Su Buharı Geçirgenliği Oranı

Film Numunesi	**W1**	**W2**	**m= W2-W1 (g)**	**D = çap (cm)**	**A= (π.(D^2)/4) (cm^2)**	**WVTR= m/t.A (g/(s.cm^2))**
PN-LE-1	15,5124	15,5980	0,0856	1,3	1,32665	14,9
PN-LE-5	15,7453	15,8947	0,1494	1,3	1,32665	26
MN-LE-1	15,7952	15,9106	0,1154	1,3	1,32665	20,1
MN-LE-3	14,7373	14,7895	0,0522	1,3	1,32665	9,1
MN-LE-4	15,3309	15,3959	0,065	1,3	1,32665	11,3
BN-LE-1	15,4435	15,5212	0,077	1,3	1,32665	13,4
BN-LE-3	15,3902	15,4579	0,0677	1,3	1,32665	11,8
BN-LE-5	15,6038	15,7064	0,1026	1,3	1,32665	17,9
TN-LE-1	16,1106	16,1993	0,08864	1,3	1,32665	15,4
TN-LE-5	15,1411	15,1944	0,0533	1,3	1,32665	9,2
Pİ-LE-5	15,3331	15,3759	0,0449	1,3	1,32665	7,8
Pİ-LE-1	15,890	15,9440	0,0540	1,3	1,32665	4,7

Limon esansı yağı kullanılarak oluşan filmlerin su buharı geçirgenliği sonuçları karşılaştırıldığında MN-LE-3 filminin daha düşük olduğu**,** MN-LE-1 ‘nin yüksek olduğu görülmüştür olduğu sonucuna varılmıştır.

Hazırlanan kontrol filmlerinin geçirgenliği esansiyel yağ eklenerek hazırlanan filmlerinden, daha düşük geçirgenliğe sahip olduğu görülmüştür.

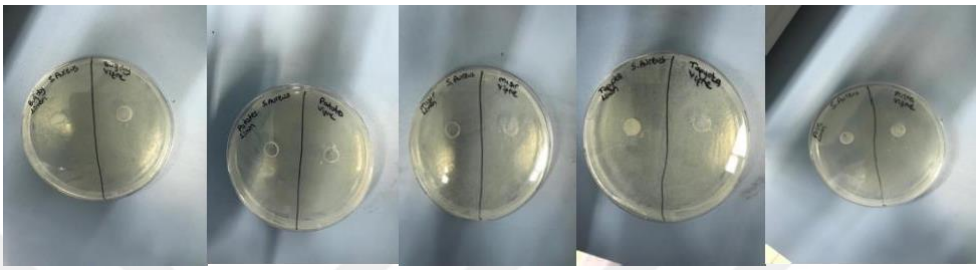
Gliserol ve sorbitol plastikleştiricilerin yalnız başına kullanıldığında su buharına karşı daha hassas olduğu görülmüştür.

4.4 Antibakteriyel Test Sonuçları

Yenilebilir kaplamalar, raf ömrünü uzatmak için gıda yüzeyindeki mikrobiyal büyümeyi engellemelidir. E. coli (Gram negatif bakteri) ve S. aureus (Gram-pozitif bakteri) ile agar kuyucuk difüzyonu yöntemi kullanılarak antibakteriyellik testleri yapılmıştır ancak filmlerde antibakteriyel özellik görülmemiştir.

Öncelikle hazırlanan film çözeltileri katı besiyerlere ekilmiştir. Daha sonra 37°C'de 24 saat bekletilmiş ve sonuçlar gözlemlenmiştir. Şekil 4.14'de antibakteriyellik testi sonuçları gösterilmektedir.

Şekil'de görüldüğü gibi kontrol olarak antibiyotik ile kıyaslandığında herhangi bir antibakteriyellik etki görülmemektedir. Oluşturulan filmlere başka esansiyel yağlar kullanılarak antibakteriyellik özellikler araştırılabilir.



BN – LE. **PN-LE.** **MN-LE.** **TN-LE** **Pİ-LE**

BN- VÇ **PN-VÇ** **MN-VÇ.** **TN-VÇ** **Pİ-VÇ**

Şekil 4.9 S. Aureus bakterisi.



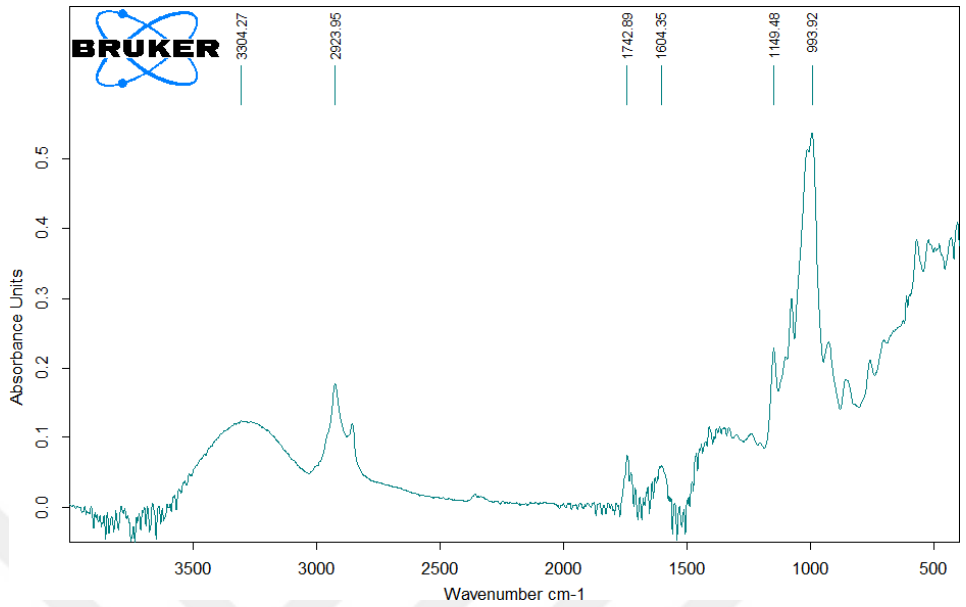
PN-LE **MN-LE.** **Pİ-LE.** **BN-LE** **TN-LE**

PN-VÇ **MN-VÇ.** **Pİ-VÇ.** **BN-VÇ.** **TN-VÇ**

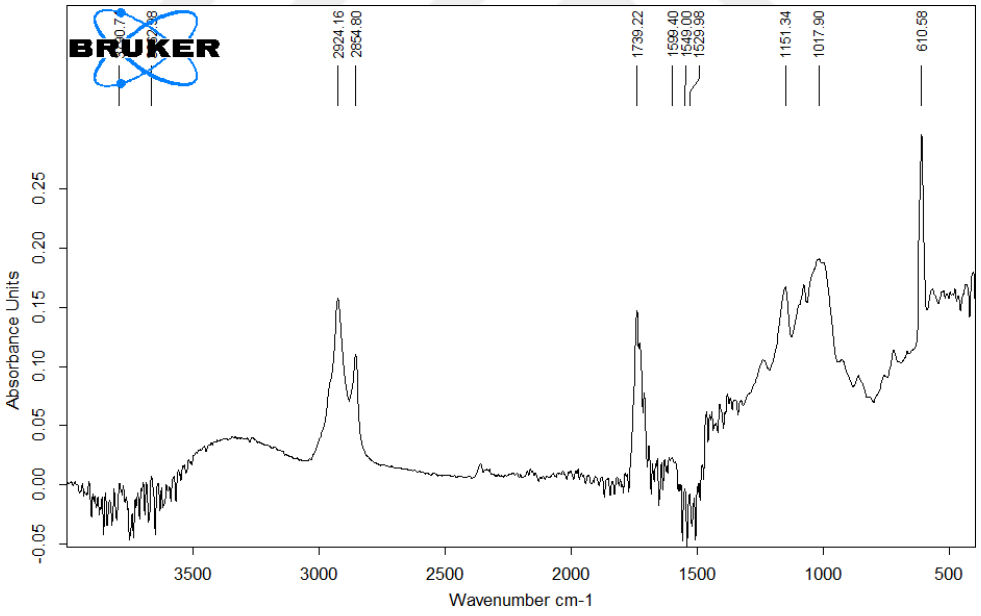
Şekil 4.10 E. coli bakterisi.

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11 Agar kuyucuk yöntemi ile yapılan antimikrobiyallik testi sonucu görülmektedir. Şekil 4.10 S. Aureus bakterisi üzerinde film çözeltilerinin etkisi, Şekil 4.11 E. coli bakterisi üzerinde film çözeltilerinin etkisi sonuçları görülmektedir.

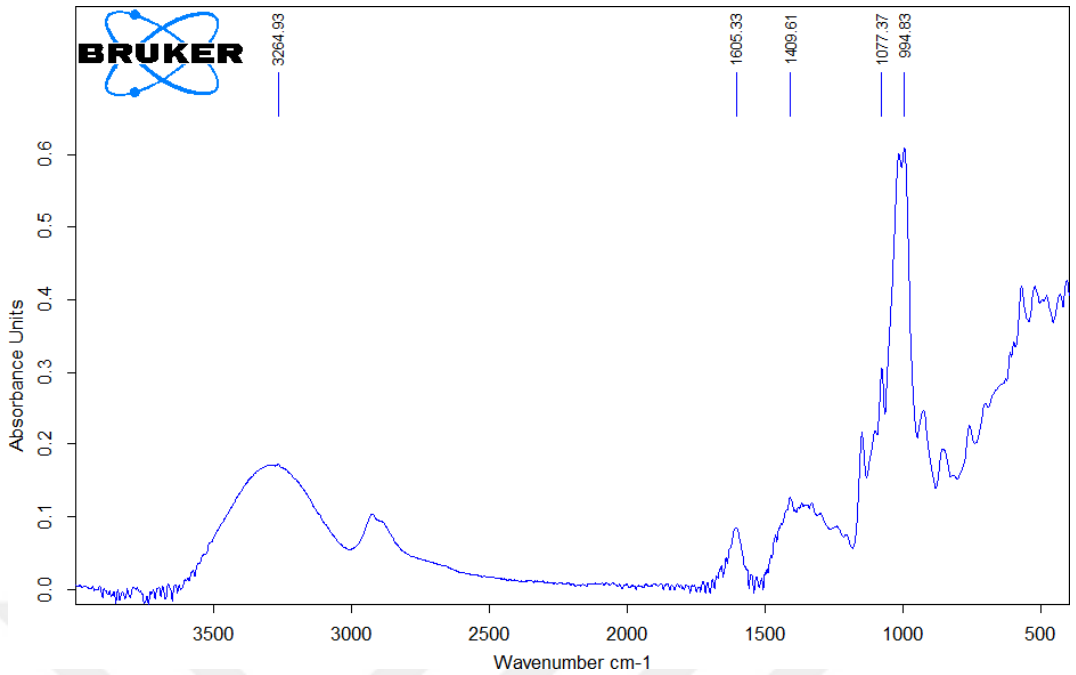
4.5 FTIR Analiz Sonuçları



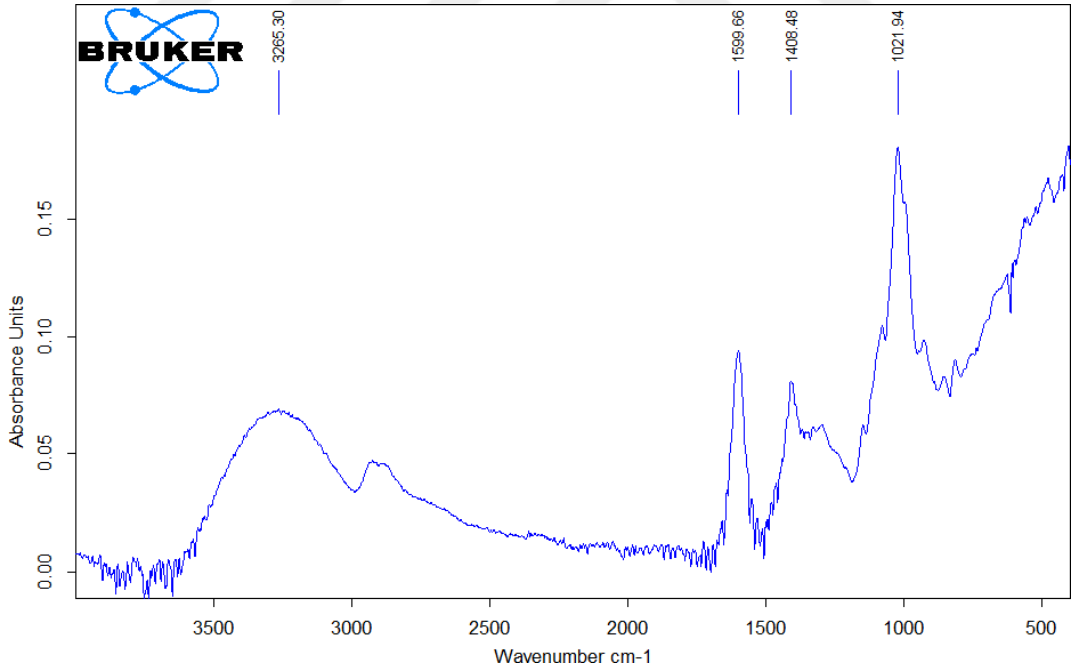
Şekil 4.11 BN-LE-1 filmi FTIR spektrumu



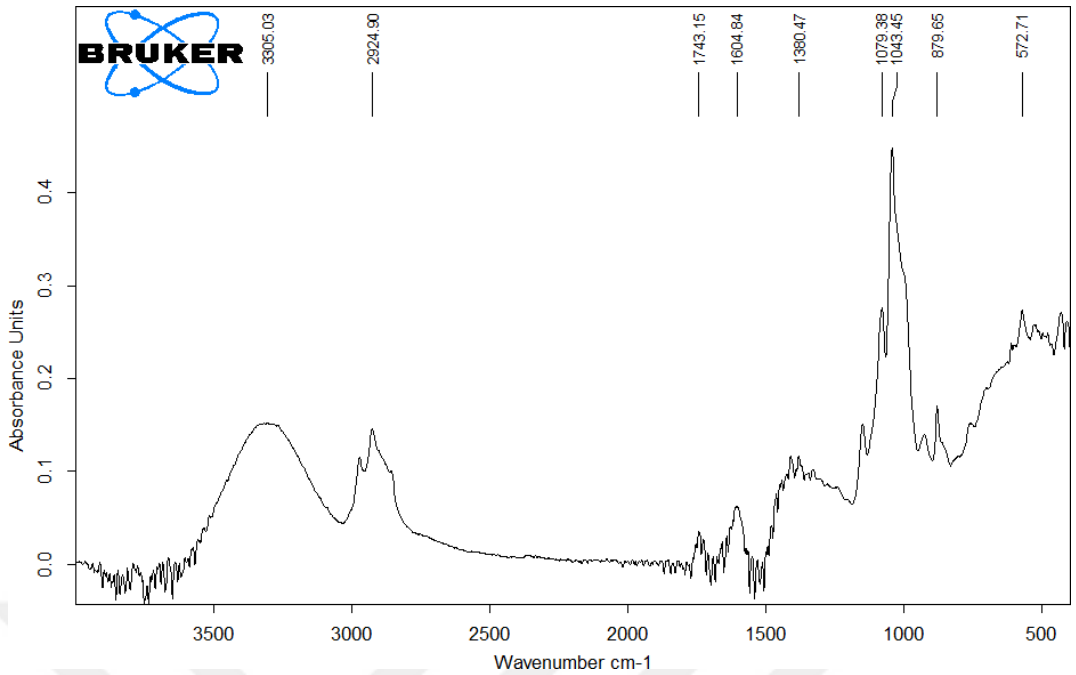
Şekil 4.12 BN -VÇ-1 filmi FTIr spektrumu



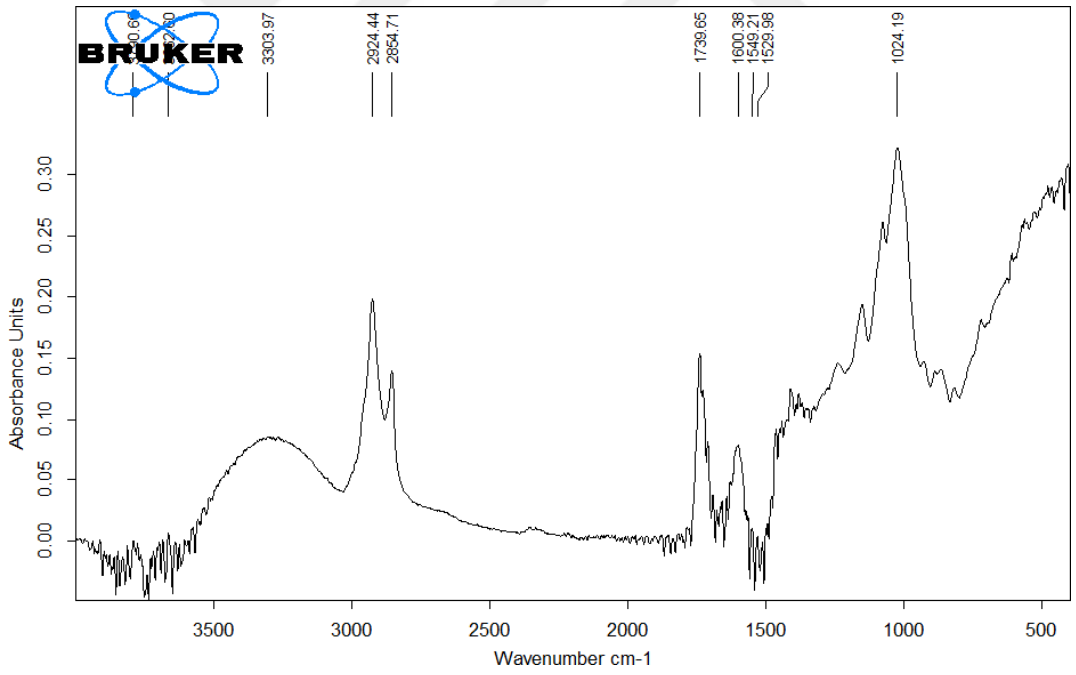
Şekil 4.13 BN-1 filmi FTIR spektrumu



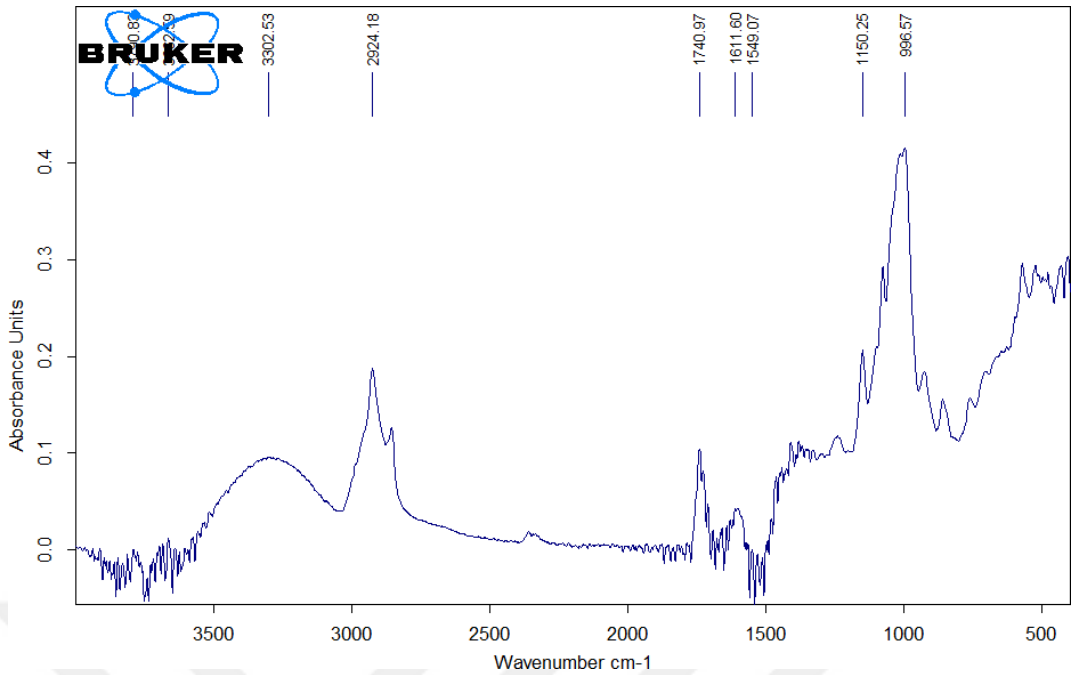
Şekil 4.14 MN-1 filmi FTIR spektrumu



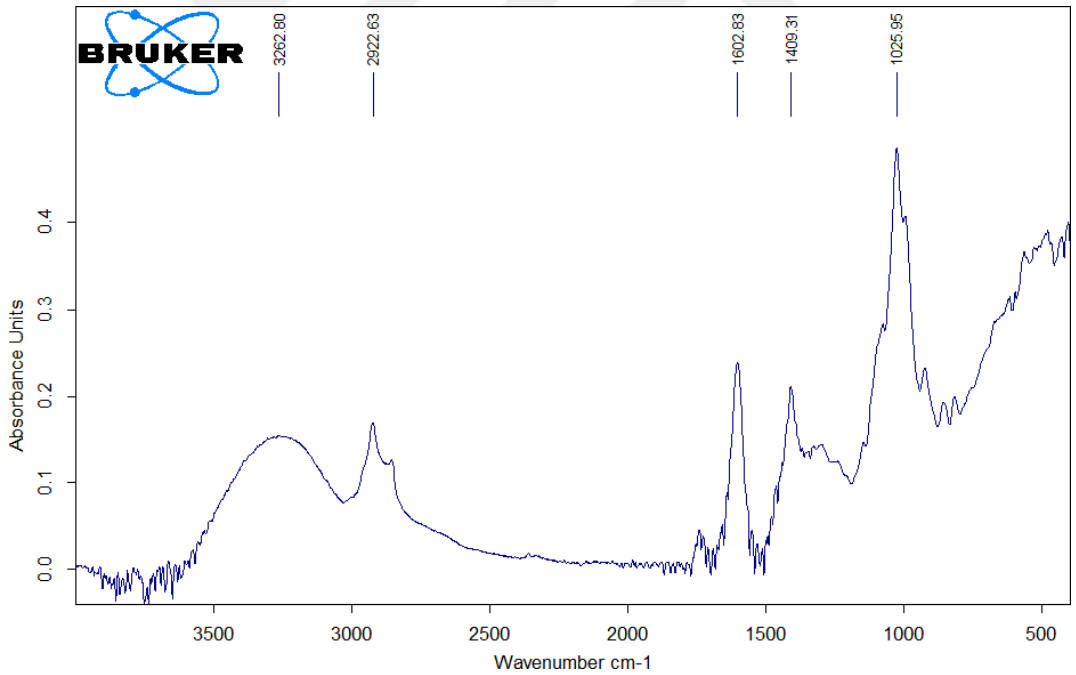
Şekil 3.15 MN-LE-1 filmi FTIR spektrumu



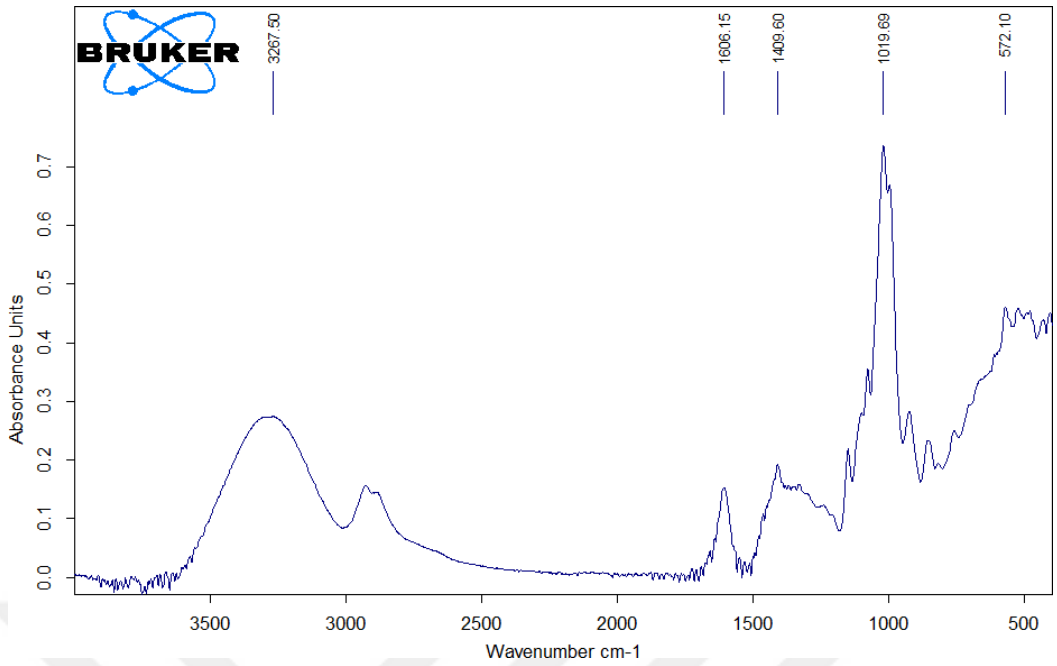
Şekil 3.16 MN-VÇ-1 filmi FTIR spektrumu



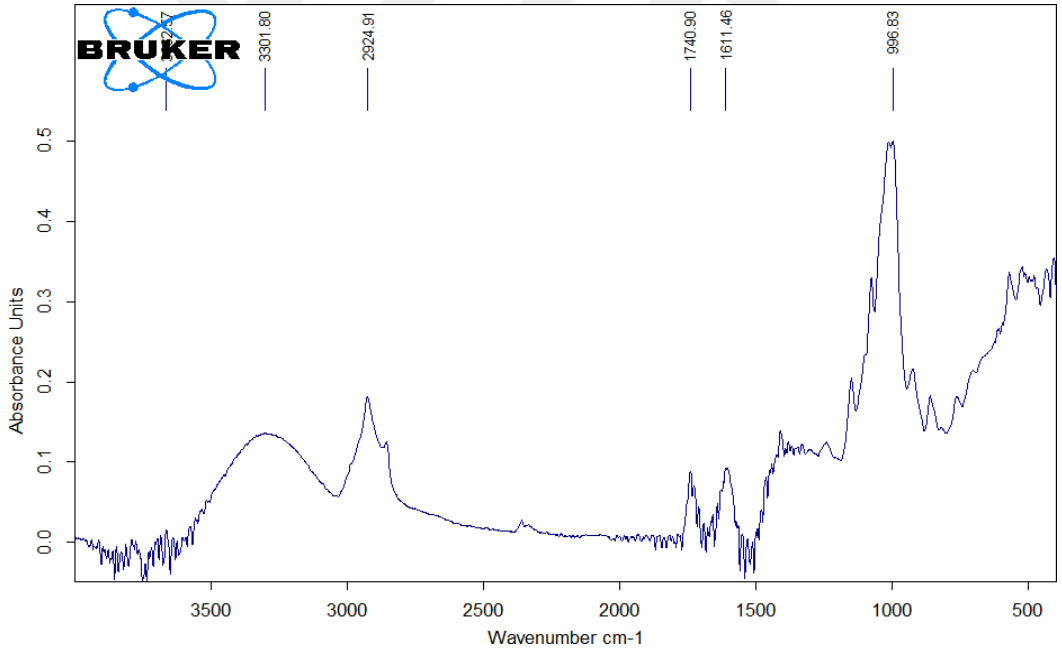
Şekil 3.17 PN-LE-1 filmi FTIR spektrumu



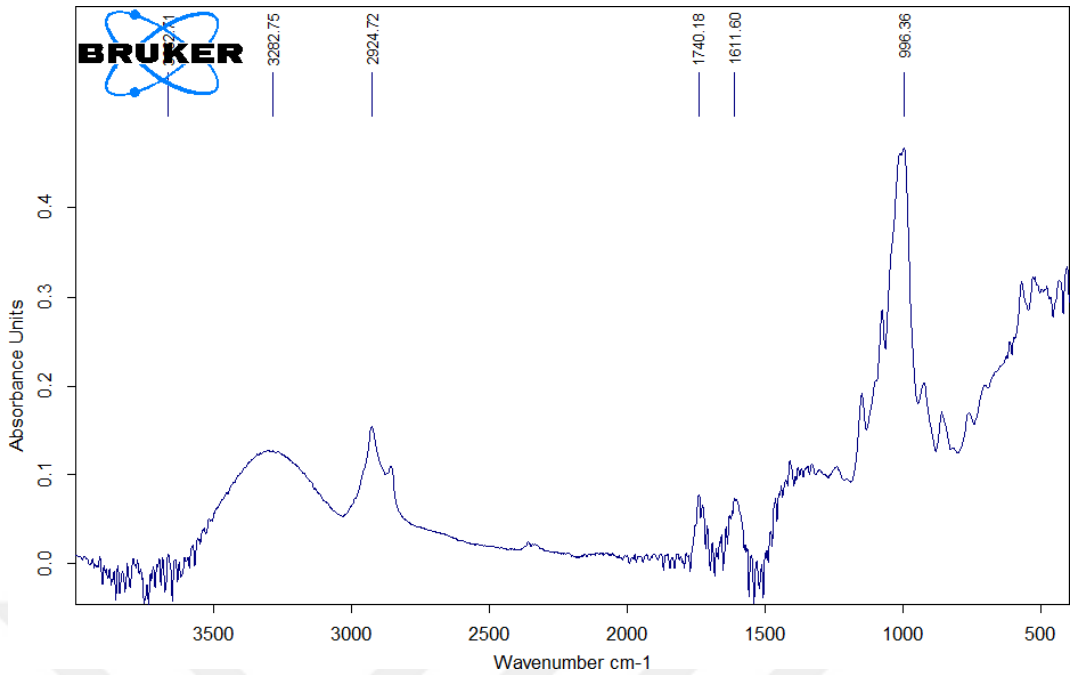
Şekil 3.18 PN-VÇ-1 filmi FTIR spektrumu



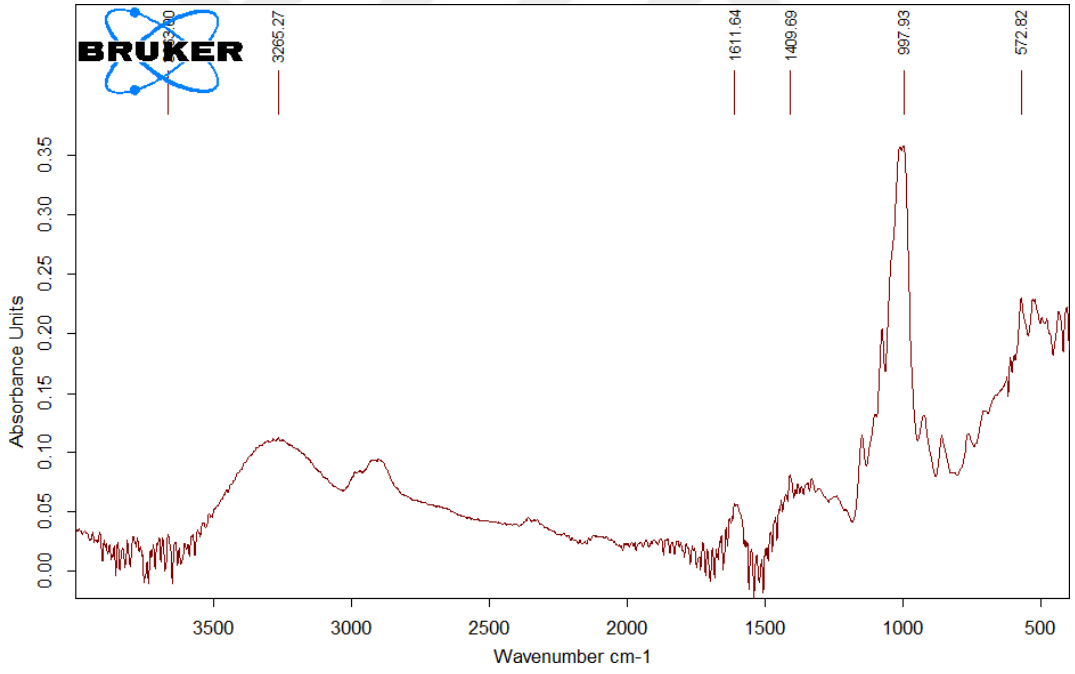
Şekil 3.19 PN-1 filmi FTIR spektrumu



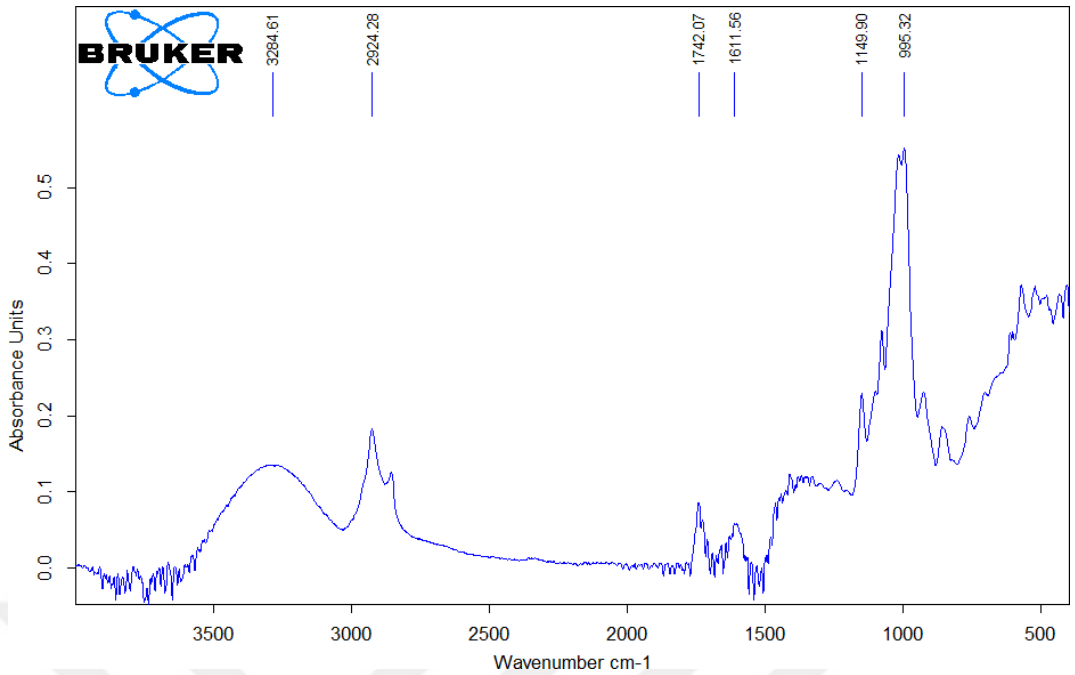
Şekil 3.20 Pİ-LE-1filmi FTIR spektrumu



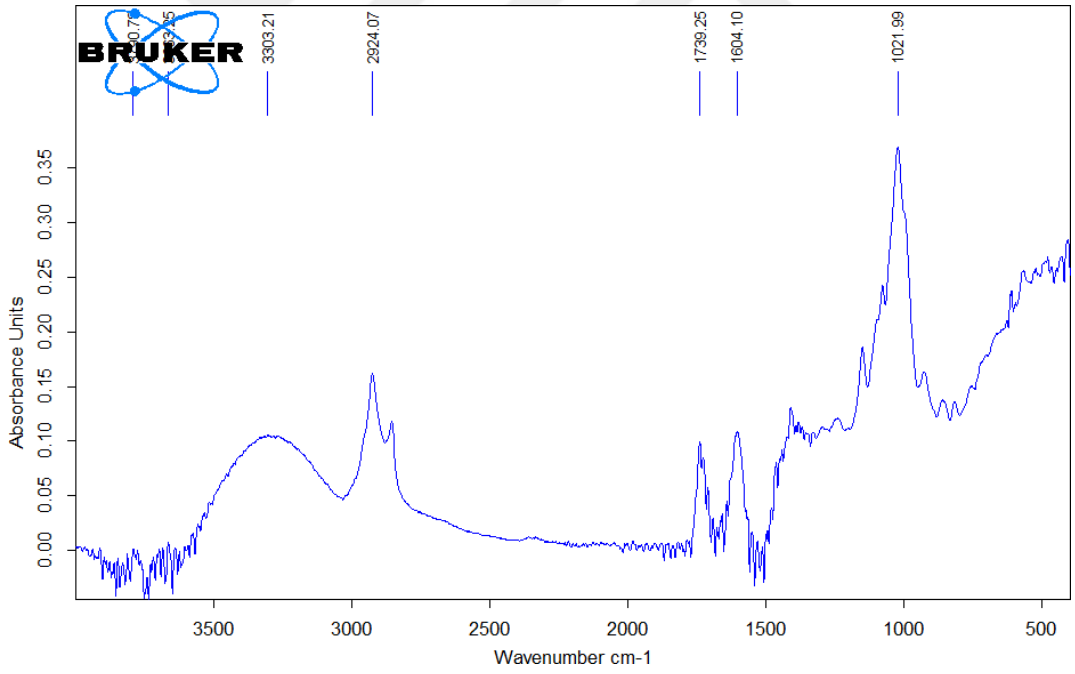
Şekil 3.21 Pİ-VÇ-1 filmi FTIR spektrumu



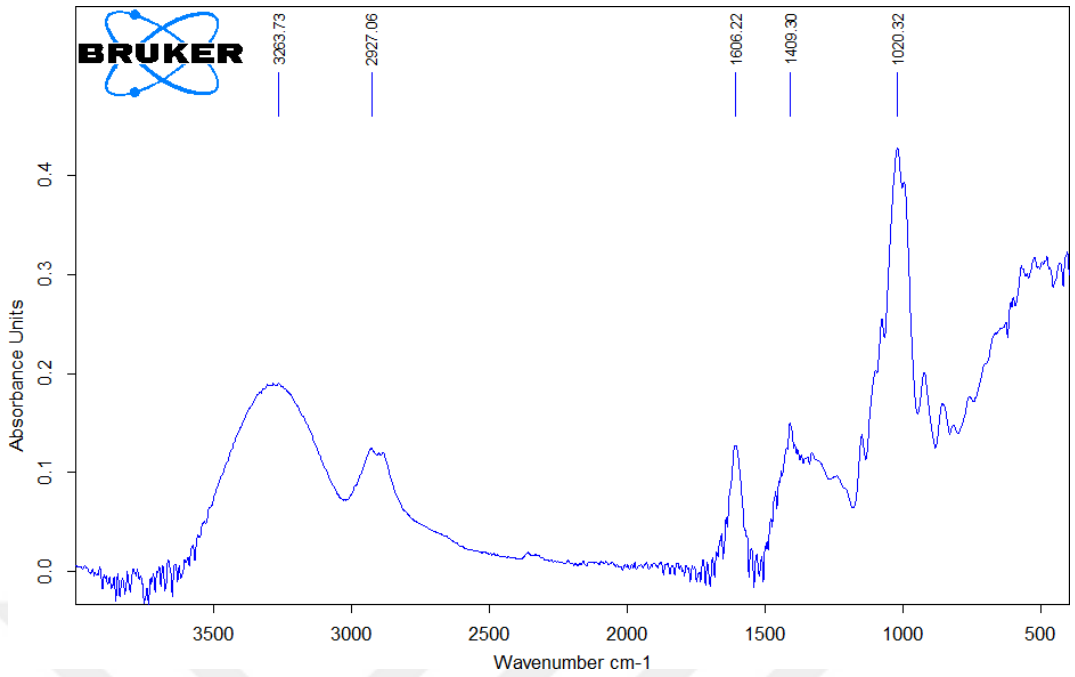
Şekil 3.22 Pİ-1 filmi FTIR spektrumu



Şekil 3.23 TN-LE-1 filmi FTIR spektrumu



Şekil 3.24 TN-VÇ-1 filmi FTIR spektrumu



Şekil 3.25 TN-1 filmi FTIR spektrumu

5 farklı nişastadan farklı formülasyonlarla üretilmiş olan nişasta kontrol ve kompozit (limon ve vişne esansiyel yağı ilave edilmiş) yenilebilir filmlerin FTIR spektrumları incelendiğinde; 3000–3600 cm-1 bant aralığında O-H gerilme titreşimleri, 2800–3000 cm-1 bant aralığında C-H bağ gerilim titreşimleri, 1750 cm-1 civarında C-O gerilmeleri, 1600 cm-1 bant aralığında C-C gerilmeleri, 1000–1200 cm-1 aralığında C–O-C gerilme titreşimleri görülmektedir. 450–900 cm-1 ve 1200–1500 cm-1 bant aralıklarında görülen tipik C–H ve C–OH absorpsiyon bantları ise karakteristik nişasta yapısını doğrulamaktadır. Kompozit filmlerin FTIR spektrumları incelendiğinde farklı bileşimlerde hazırlanan filmlerin spektrumlarının birbirleriyle örtüştüğü ve istenen yapıda film üretildiği görülmektedir. Ayrıca, limon ve vişne esansiyel yağı ilavesinin yenilebilir filmlerin yapısal özelliklerini etkilemediği görülmüştür.

4.6 Kontrol Filmleri Genel Özellikleri

5 farklı nişastadan elde edilen filmlerin deney sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Tablo 4.16 Nişasta filmleri genel özellikleri

Nişasta Tipi	Plastikleştirici /Esansiyel Yağ	Film Karakterizasyonu
Patates Nişastası	Gliserol	Kalınlık 0,24 mm, şeffaf, yumuşak doku, kırılgan değil, nemli, suda çözünür, şişmesi düşük.
Patates Nişastası	Sorbitol	Kalınlık 0,20 mm, şeffaf, sert doku, hafif kırılgan, nemli, suda çözünür, şişmesi düşük.
Patates Nişastası	Gliserol +Sorbitol	Kalınlık ince, şeffaf, yumuşak doku, nemli, suda çözünür, şişmesi yüksek.
Patates Nişastası	Gliserol+Limon Esansı Yağı	İnce doku, şeffaf, nemli, kırılgan değil, yumuşak doku, çözünürlük yüksek, şişmesi yüksek.
Patates Nişastası	Sorbitol+Limon Esansı Yağı	İnce doku, nemli, hafif kırılgan, şişmesi yüksek
Mısır Nişastası	Gliserol	Film kalınlığı 0,016 mm, çok ince yumuşak doku, beyaz renk, nemli, çözünürlük yüksek, şişmesi düşük
Mısır Nişastası	Sorbitol	Film kalınlığı 0,04 mm çok ince, beyaz renk, sert doku, düşük nem, çözünürlük yüksek, şişmesi düşük
Mısır Nişastası	Gliserol+ Sorbitol	Film kalınlığı 0,07 mm ince, beyaz renk, sert doku, nemli, suda çözünür, şişmesi yüksek
Mısır Nişastası	Gliserol+Limon Esansı Yağı	Film kalınlığı 0,12 mm, kalın, beyaz renk esnek doku, çözünürlük çok düşük, şişme yüksek.
Mısır Nişastası	Sorbitol+Limon Esansı Yağı	Film oluşumu gerçekleşmedi. Kırılganlık çok yüksek.
Buğday Nişastası	Gliserol	Film kalınlığı 0,01mm, şeffaf, ince, nemli, düşük çözünürlük, şişme yüksek.
Buğday Nişastası	Sorbitol	Film kalınlığı 0,1 mm, şeffaf, kalın, düşük nem, düşük çözünürlük, şişme yüksek.
Buğday Nişastası	Gliserol+Sorbitol	Film kalınlığı 0,04 mm, şeffaf, ince, nemli, düşük çözünürlük, şişme yüksek.
Buğday Nişastası	Gliserol+Limon Esansı Yağı	Film kalınlığı 0,07 mm, ince, şeffaf, nemli, çözünürlük yüksek, şişme yüksek,
Buğday Nişastası	Sorbitol+Limon Esansı Yağı	Film kalınlığı 0,08 mm, ince, şeffaf, nemli, çözünürlük yüksek, şişme yüksek,
Tapyoka Nişastası	Gliserol	Film kalınlığı 0,06mm ince, şeffaf, düşük nem, düşük çözünürlük, şişmesi yüksek,

Tapyoka Nişastası	Sorbitol	Film kalınlığı 0,11 mm, kalın, şeffaf, düşük nem, düşük çözünürlük, şişmesi düşük,
Tapyoka Nişastası	Gliserol+Sorbitol	Film kalınlığı 0,02, ince, şeffaf, nemli, çözünürlüğü yüksek, şişmesi düşük,
Tapyoka Nişastası	Gliserol+Limon Esansı Yağı	Film kalınlığı 0,17 mm, çok kalın, şeffaf, esnek, yumuşak doku, nem içeriği yüksek, suda çözünür, şişmesi yüksek,
Tapyoka Nişastası	Sorbitol+Limon Esansı Yağı	Film kalınlığı 0,08 mm, ince, az nemli, suda çözünür, şişmesi yüksek,
Pirinç Nişastası	Gliserol	Film kalınlığı 0,12 mm, kalın, beyaz renk, yumuşak doku, esnek,
Pirinç Nişastası	Sorbitol	Film kalınlığı 0,14 mm, kalın, beyaz renk, kırılgan,
Pirinç Nişastası	Gliserol+Sorbitol	Film kalınlığı 0,11 mm, kalın, beyaz renk yumuşak doku, esnek,
Pirinç Nişastası	Gliserol+Limon Esansı Yağı	Film kalınlığı 0,065 mm, ince beyaz renk, nemli, düşük çözünürlük, şişmesi yüksek.
Pirinç Nişastası	Sorbitol+Limon Esansı Yağı	Sert doku, kırılgan yapı, beyaz renk,

5
SONUÇ

5.1 Sonuç

Gıdalar tüketiciye ulaşana kadar oluşabilecek hasar ve bozulmanın önüne geçebilmek için ambalajlama yöntemleri büyük önem taşımaktadır.

Yenilebilir filmler ve kaplamalar, doğal kaynaklardan elde edildiklerinden, biyobozunur özellikleri ile ambalaj sektöründe gelecek vaat etmektedirler. Yenilebilir ambalaj malzemesinin istenen seviyede sıvı ve gaz bariyer özelliği göstermesi, insan sağlığına zararlı olmaması, gıdanın raf ömrünü uzatması ve çevre dostu olması beklenmektedir. Ana malzemenin yapısı ve eklenen katkı maddeleri, film ve kaplamaların mekanik ve bariyer özelliğini etkilemektedir.

Nişasta düşük maliyetli olmasının yanı sıra, kolay işlenebilir, renksiz, kokusuz, film oluşturma yeteneği yüksek ve güçlü bariyer özelliklerine sahip olmasıyla en çok tercih edilen polimer konumundadır. Nişastanın türü, kullanılan plastikleştirici türü ve esansiyel yağ ilavesi filmin performansını etkilemektedir.

Kullanılan nişastanın türü, plastikleştiricisi ve eklenen esansiyel yağı filmin özelliklerini, yapısını ve performansını etkilemektedir.

Bu çalışmada patates, mısır, buğday, pirinç ve tapyoka nişastası kullanarak yenilebilir film elde edilmiştir. Çeşitli oranlarda nişastalara plastikleştirici olarak gliserol ve sorbitol kullanılmıştır. Filmlerde plastikleştiricilerin etkisi görülmüştür. Anti bakteriyel özellik sağlayabilmek adına kullanılan vişne çekirdeği yağı ve limon esansı yağı 0,5 gr eklenerek antibakteriyellik özellik araştırılmıştır. Esansiyel yağ eklenerek filmin performansında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Elde edilen yenilebilir filmlerin film kalınlıkları, nem içeriği tayini, suda çözünürlük testi, su buharı geçirgenliği hızı testi ve şişme indeksi analizleri uygulanmıştır. 1 gr gliserol kullanarak elde edilen filmlere FTIR cihazı ile karakterizasyon analizleri yapılmıştır.

Görsel olarak bakıldığında tapyoka, buğday, pirinç nişastalarının patates, mısır nişastası ile oluşan filmlere göre daha bütünlük sağladığı ve film özellikleri gösterdiği gözlemlenmiştir.

Mısır ve pirinç nişastaların suda çözünürlükleri yüksek çıkarken buğday nişastası filmlerin çözünürlükleri düşük çıkmıştır. Film kalınlıkları patates, pirinç nişastası filmleri mısır, buğday tapyoka nişastası filmleri daha ince ölçülmüştür. Nem içeriği değerleri filmlerin birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir. Tapyoka nişastası filminin nem içeriği düşük çıkarken buğday nişastası biraz daha yüksek çıkmıştır. Şişme indeksin mısır nişastasında düşük çıkarken patates ve buğday nişastası filmleri biraz daha yüksek çıkmıştır. Su buharı geçirgenliği değerlerinde büyük değişimlerin olmadığı görülmüştür. Tapyoka, patates ve mısır nişastalarının daha duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Kontrol filmleri 5 ayrı nişasta türünde film oluşumu sağlamıştır. Yalnızca sorbitol kullanılan bazı filmler de bütün sağlanamazken, gliserol kullanılan birçok filmlerde bütünlük sağlanarak film oluşumu gözlemlenmiştir.

5 farklı nişasta örneğine vişne çekirdeği ve limon esansı yağı eklenerek yenilebilir film elde edilmiştir. Pirinç ve mısır nişastası da istenen uyum sağlanamamıştır. MN-VÇ-1 / MN-VÇ-4 ve Pİ-VÇ-1 / Pİ-VÇ-5 istenilen formda film oluşmuştur. Gliserolün yalnız kullanıldığı ve fazla kullanıldığı karışımlarda film oluşumu daha iyidir. Vişne çekirdeği ve limon esansiyel yağları kullanarak hazırlanan filmlerinin deneysel sonuçları incelenmiştir. Film kalınlıkları kontrol filmlerine göre daha ince sonuçlar verdiği görülmüştür. Limon esansiyel yağı filmlerinde tapyoka nişastası ile hazırlanan filmlerin diğer filmlere göre daha kalındır. Vişne çekirdeği yağı kullanılan mısır nişastası filminin daha ince olduğu ölçülmüştür.

Vişne çekirdeği yağı ile hazırlanan filmlerin kalınlıkları 0,014-0,13 mm arasında olurken, limon esansı yağı ile elde edilen filmlerin kalınlıkları 0,04-0,17 mm arasındadır.

Esansiyel yağ kullanılan filmlerde kontrol filmlerine göre nem oranın daha yüksek çıkmıştır. Filmlerin suda çözünürlükleri kontrol filmlerine göre azalttığı belirlenmiştir. Gliserol ile oluşturulan filmlerin sorbitol le hazırlanan filmlere esasen çözünürlükleri biraz daha yüksek çıkmıştır.

5 ayrı nişasta ile hazırlanan kontrol filmlerine bakıldığında şişme oranının en yüksek patates ve buğday nişastasında olduğu görülmüştür. En düşük şişme oranları ise mısır nişastasında çıkmıştır. Yüzde olarak da gliserol ile hazırlanan TN-1 ‘de görülmüştür. En düşük şişme oranı sorbitol ile hazırlanan MN-2 ‘de görülmüştür.

Nişasta bazlı vişne çekirdeği yağı filmlerin şişme indeksine bakıldığında tapyoka nişastasının şişme oranı en yüksek görülürken, pirinç nişastası ile elde edilen filmlerin

şişme oranı en düşük görülmektedir. En düşük şişme oranı Pİ-VÇ-5, en yüksek şişme indeksi TN-VÇ-5 de görülmektedir. Pirinç nişastası ve mısır nişastalarının suya karşı duyarlılıkları oldukça yüksektir.

Limon esansiyel yağı kullanılarak elde edilen filmlerin şişme oranları diğerlerine göre oldukça yüksek çıkmıştır. Limon esansı ile hazırlanan filmlerin şişme indeksine en yüksek PN-LE-5 iken en düşük şişme indeksi BN-LE-5' dir. Kontrol filmleri ve vişne çekirdeği yağı esansı kullanarak hazırlanan filmlerin şişme indeksi limon yağı esansı kullanılarak elde edilen filmlerin şişme indeksi daha düşük çıkmıştır.

Sonuç olarak 5 ayrı nişasta kullanılarak yenilebilir filmler elde edilmiştir. Bu filmlere esansiyel yağlar eklenerek antibakteriyellik özellikleri araştırılmıştır. Esansiyel yağ eklenen filmlerde bazı filmlere kırırlganlıklarından dolayı analizleri yapılamamıştır. Yapılan tüm çalışmalar ve analiz sonuçlarında üretilen filmlerin film formu oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmaların devamı olarak nişastalar belli oranlarda birlikte kullanılarak ve antibakteriyel özellikler katılarak daha özellikli film üretimi gerçekleştirilebilir.

KAYNAKÇA

1. KUMAR, Ajesh, et al. Trends in edible packaging films and its prospective future in food: a review. Applied Food Research, 2022, 2.1: 100118.
2. CERQUEIRA, Miquel Angelo Parente Ribeiro, et al. (ed.). Edible food packaging: materials and processing technologies. 2017.
3. PELTZER, Mercedes A., et al. Use of edible films and coatings for functional foods developments: A review. *Functional foods sources, health effects and future perspectives*, 2017, 1-26.
4. WILFER, P. Brain, et al. Effect of starch type on the film properties of native starch based edible films. *Materials Today: Proceedings*, 2021, 44: 3903-3907.
5. AL-HASSAN, Ahmed A.; NORZIAH, M. H. Starch–gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food hydrocolloids*, 2012, 26.1: 108-117.
6. AZEREDO, HENRİETTE mc; OTONI, Caio G.; MATTOSO,Luiz Henrique C. Research in Food *Edible films and coatings-not just packaging materials.Current Science,*2022.
7. REJAK, Andrzej, et al. Evaluation of water vapor permeability of biodegradable starch-based films. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, 2014, 14.3.
8. PAVLATH, Attila E.; ORTS, William. Edible films and coatings: why, what, and how?. *Edible films and coatings for food applications*, 2009, 1-23.
9. GOMES, Rodrigo José, et al. Acetic acid bacteria in the food industry: systematics, characteristics and applications. *Food technology and biotechnology*, 2018, 56.2: 139.
10. SADEGHIZADEH-YAZDI, Jalal, et al. Application of edible and biodegradable starch-based films in food packaging: A systematic review and meta-analysis. *Current research in nutrition and food science journal*, 2019, 7.3: 624-637.
11. CAGRI, Arzu; USTUNOL, Zeynep; RYSER, Elliot T. Antimicrobial edible films and coatings. *Journal of food protection*, 2004, 67.4: 833-848.
12. HAMMAM, Ahmed RA. Technological, applications, and characteristics of edible films and coatings: A review. *SN Applied Sciences*, 2019, 1: 1-11
13. SENTURK PARREIDT, Tugce, et al. Effect of presence and concentration of plasticizers, vegetable oils, and surfactants on the properties of sodium-alginate-based edible coatings. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19.3: 742.
14. SALGADO, Pablo R., et al. Edible films and coatings containing bioactives. Current Opinion in Food Science, 2015, 5: 86-92.
15. MOHAMED, Salah AA; EL-SAKHAWY, Mohamed; EL-SAKHAWY, Mohamed Abdel-Monem. Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review. *Carbohydrate polymers*, 2020, 238: 116178.

16. UYAR, TAHSİN. Organik Kimya. *Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü*, 1992, 483-484.
17. MOSTAFAVI, Fatemeh Sadat; ZAEIM, Davood. Polymer coatings for food applications. *Polymer Coatings: Technology and Applications*, 2020, 189-232.
18. THARANATHAN, R. N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in food science & technology*, 2003, 14.3: 71-78.
19. TURAL, Serpil; SARICAOĞLU, Furkan Türker; TURHAN, Sadettin. Yenilebilir film ve kaplamalar: Üretimleri, uygulama yöntemleri, fonksiyonları ve kaslı gıdalarda kullanımları. *Akademik Gıda*, 2017, 15.1: 84-94.
20. MESCİ, Esra; NEVZAT, E. S. İ. M. Gıdaların raf ömürleri için yeni bir yaklaşım: arı ürünleri ile yenilebilir kaplamalar. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 2020, 9.2: 211-220.
21. YAMAN, Tayfun. *Quality evaluation of pomegranate arils with chickpea starch based edible film*. 2013. PhD Thesis. M. Sc. Thesis. Istanbul Technical University Graduate School Of Science Engineering and Technology, Istanbul.
22. ENDER, Erdik; YÜKSEL, Sarıkaya. Temel Üniversite Kimyası. *Ankara, Gazi Kitabevi*, 2002.
23. SNOEIJER, J. H., et al. Thick films of viscous fluid coating a plate withdrawn from a liquid reservoir. *Physical review letters*, 2008, 100.24: 244502.
24. www.asrkimya.com
25. SONG, Dong-Heon, et al. Edible Films on Meat and Meat Products. *Coatings*, 2021, 11.11: 1344.
26. BOURTOOM, Thawie. Edible films and coatings: characteristics and properties. *International food research journal*, 2008, 15.3: 237-248.
27. THAKUR, Rahul, et al. Starch-based films: Major factors affecting their properties. *International journal of biological macromolecules*, 2019, 132: 1079-1089.
28. AGUIRRE-JOYA, Jorge A., et al. Basic and applied concepts of edible packaging for foods. In: *Food packaging and preservation*. Academic Press, 2018. p. 1-61.
29. GRUJIC, Radoslav; VUKIC, Milan; GOJKOVIC, Vesna. Application of biopolymers in the food industry. *Advances in applications of industrial biomaterials*, 2017, 103-119.
30. SOTHORNVIT, Rungsinee; KROCHTA, John M. Plasticizers in edible films and coatings. In: Innovations in food packaging. Academic Press, 2005. p. 403-433.
31. MESHRAM, Bhushan Devidas, et al. Application of Edible Packaging in Dairy and Food Industry. 2022.
32. GUIMARÃES, Maria Clara, et al. Edible coatings used for conservation of minimally processed vegetables: A review. Research, Society and Development, 2020.
33. EMBUSCADO, Milda E.; HUBER, Kerry C. Edible films and coatings for food applications. New York: Springer, 2009.

34. SENTURK PARREIDT, Tugce, et al. Effect of presence and concentration of plasticizers, vegetable oils, and surfactants on the properties of sodium-alginate-based edible coatings. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19.3: 742.

35. BALDWIN, E. A.; NISPEROS-CARRIEDO, M. O.; BAKER, R. A. Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. *HortScience*, 1995, 30.1: 35-37.

36. FDA, U. S., et al. CFR-code of federal regulations Title 21. *US Food and Drug Administration: Washington, DC, USA*, 2022.

37. SHAHIDI, Fereidoon. Antioxidants in food and food antioxidants. Food/nahrung, 2000, 44.3: 158-163.

38. JANJARASSKUL, Theeranun; KROCHTA, John M. Edible packaging materials. Annual review of food science and technology, 2010, 1: 415-448.

39. OĞUZHAN, Pınar; YANGILAR, Filiz. Yenilebilir film ve kaplamaların gıda endüstrisinde kullanımı. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2016, 5.1.

40. CANER, Cengiz; KÜÇÜK, Mehmet. Yenilebilir film ve kaplamalar: Gıdalara uygulanabilirliği. Akademik Gıda, 2004, 2.2: 30-35.

41. HASSAN, Bilal, et al. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. International journal of biological macromolecules, 2018, 109: 1095-1107.

42. BOZKURT, Semra, et al. Gıda Sistemlerinde Yenilebilir Filmler ve Kaplamalar. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 2023, 11.1: 1-9.

43. ZUHAL, O. K. C. U.; YAVUZ, Yasemin; KERSE, Sevgi. Edible film and coating applications in fruits and vegetables. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 2018, 33.2: 221-226.

44. CAMPOS, Carmen A.; GERSCHENSON, Lía N.; FLORES, Silvia K. Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. Food and bioprocess technology, 2011, 4: 849-875.

45. CHAWLA, Rekha; SIVAKUMAR, S.; KAUR, Harsimran. Antimicrobial edible films in food packaging: Current scenario and recent nanotechnological advancements-a review. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 2021, 2: 100024.

46. KOÇ, Mehmet; SAKIN, Melike; KAYMAK-ERTEKİN, Figen. Mikroenkapsülasyon ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 2010, 16.1.

47. BERTUZZI, Maria A.; SLAVUTSKY, Anibal M. Standard and new processing techniques used in the preparation of films and coatings at the lab level and scale-up. In: Edible Films and Coatings. CRC Press, 2016. p. 21-42.

48. ÖLÇER, Hülya; BETÜL, A. K. I. N. Starch: Biosynthesis, granule structure and genetic modifications. Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, 2008, 016: 1-12.

49. MOLAVI, Hooman, et al. A review on biodegradable starch based film. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 2021, 2021: 456-461.

50. DASH, Kshirod K., et al. Thorough evaluation of sweet potato starch and lemon-waste pectin based-edible films with nano-titania inclusions for food packaging applications. International journal of biological macromolecules, 2019, 139: 449-458.

51. KIM, K. W.; KO, C. J.; PARK, H. J. Mechanical properties, water vapor permeabilities and solubilities of highly carboxymethylated starch-based edible films. Journal of food science, 2002, 67.1: 218-222.

52. EDHIREJ, Ahmed, et al. Effect of various plasticizers and concentration on the physical, thermal, mechanical, and structural properties of cassava-starch-based films. Starch-Stärke, 2017, 69.1-2: 1500366.

53. SUSMITHA, M.; SHARAN, P.; JYOTHI, P. N. Influence of non-edible vegetable based oil as cutting fluid on chip, surface roughness and cutting force during drilling operation of Mild Steel. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2016. p. 012037.

54. SHAFIE, Muhammad Hakimin, et al. Averrhoa bilimbi pectin-based edible films: Effects of the linearity and branching of the pectin on the physicochemical, mechanical, and barrier properties of the films. International journal of biological macromolecules, 2020, 163: 1276-1282.

55. ABDOLLAHZADEH, Esmail; NEMATOLLAHI, Amene; HOSSEINI, Hedayat. Composition of antimicrobial edible films and methods for assessing their antimicrobial activity: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 110: 291-303.

56. SALAMA, Hend E.; AZIZ, Mohamed S. Abdel. Optimized alginate and Aloe vera gel edible coating reinforced with nTiO2 for the shelf-life extension of tomatoes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 165: 2693-2701.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Basut, Kazak M. Tuğrul, N. (2023). "Starch Based Edible Film Production with the Combined Method".